

**PROGRESSO GENÉTICO E POTENCIAL DE RISCO DA
CULTURA DO SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor*
(L.) Moench) NO BRASIL**

JOSÉ AVELINO SANTOS RODRIGUES

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Maio - 1990

PROGRESSO GENÉTICO E POTENCIAL DE RISCO DA CULTURA DO SORGO
GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) NO BRASIL

Progresso genético e potencial
1990 TS - T.02/90



3067-1

José Avelino Santos Rodrigues
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Roland Vencovsky

Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, Área de
concentração: Genética e
Melhoramento de Plantas.

Piracicaba

Estado de São Paulo - Brasil

Maio, 1990

7
02/90

EMBRAPA/DOT

Valor Aquisição Cr\$

Data Aquisição

N.º de Fiscal Federal

Comprovante

N.º de Registro

Origem

N.º do Tombo T. 20120

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

R696p Rodrigues, José Avelino Santos
Progresso genético e potencial de risco da cultura
do sorgo grânifero (Sorghum bicolor (L.) Moench) no
Brasil. Piracicaba, 1990.
171p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Sorgo grânifero - Ganho genético 2. Sorgo grânif-
fero - Melhoramento 3. Sorgo grânifero - Potencial de
risco I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Quei-
roz, Piracicaba

CDD 633.174

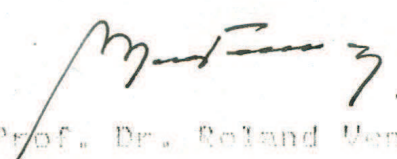
PROGRESSO GENÉTICO E POTENCIAL DE RISCO DA CULTURA DO SORGO
GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) NO BRASIL

JOSÉ AVELINO SANTOS RODRIGUES

Aprovada em: 26.06.1990

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Roland Vencovsky	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Branco de Miranda Filho	ESALQ/USP
Profa. Dra. Maria Cristina Stolf Nogueira	ESALQ/USP
Dr. Gilson Villaga Exel Pitta	CNPMS/EMBRAPA
Dr. Ricardo Magnavacca	CNPMS/EMBRAPA


Prof. Dr. Roland Vencovsky
Orientador

Às

Tias Eta e São

MINHA GRATIDÃO

Ao Sr. Moacyr

À Dona Santinha

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela oportunidade fornecida para a realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa de estudo oferecida.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo pelo fornecimento dos dados experimentais.

À Sementes Agrocere S/A, em nome do Dr. Paulo Motta Ribas, pelo fornecimento dos dados experimentais, referentes aos ensaios de época de plantio em sucessão.

Ao Professor Dr. Roland Vencovsky pela decisiva orientação, estímulo e amizade.

Aos colegas Cosme Damião Cruz e José Sebastião Cunha Fernandes pela prestiosa colaboração na parte de computação dos dados.

Aos colegas Drs. Domingo Haroldo E.C. Reinhardt, Chefe Técnico do CNPMF/EMBRAPA e José Carlos Cruz, Chefe Técnico do CNPMS/EMBRAPA pelo valioso apoio.

Aos colegas, docentes e amigos do curso de pós graduação pelos ensinamentos, convívio e amizade.

À Nilce T. Puga e Terezinha de Jesus L. Barrete pela revisão nas citações bibliográficas.

À Soraya Martins da Costa, Roberto Renato Pontelo e Dilermando Lúcio de Oliveira pelos primorosos trabalhos de datilografia e revisão do texto.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a viabilização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	Página VIII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	XIV
SUMMARY	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Ganho genético	5
2.2. Heterose	16
2.3. Resistência do sorgo à seca	28
2.4. Interação genótipos x ambientes	52
2.5. Perfil da produção e pesquisa de sorgo no Brasil	62
3. MATERIAL E MÉTODOS	80
3.1. Estimativa do progresso genético	80
3.2. Estimativa do potencial de risco	87
3.3. Taxa de substituição de tratamentos	92
3.4. Transformação dos dados de produção	92
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
4.1. Taxa de substituição de tratamentos de sorgo granífero	94
4.2. Ganho genético	97

	Página
4.3. Potencial de risco	125
5. CONCLUSÕES	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
APÊNDICE	163

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Área colhida e quantidade produzida de sorgo granífero no Brasil, no período 1973 a 1988	65
2	Participação percentual de cada Região na área colhida, com a cultura de sorgo granífero, no Brasil	66
3	Participação percentual de cada Região na quantidade produzida, com a cultura de sorgo granífero, no Brasil	67
4	Rendimento de grãos (t/ha) obtidos nos Ensaios Nacionais de Sorgo Granífero, no período 1974/75 a 1987/88, e os alcançados com a cultura no Brasil, considerando-se a época de plantio normal (nov/dez)	79

LISTA DE TABELAS

Tabela	Pág.
1 Sumário de sete estimativas de ganho total de rendimento e de seu componente genético na produtividade de milho híbrido no Estado de Iowa, EUA (DUVICK, 1984)	14
2 Utilização de variedades híbridas comerciais em culturas alimentícias, segundo Wittwer citado por SINHA & KHANNA (1975)	17
3 Estimativas das taxas de substituição de cultivares nos diversos ensaios de sorgo granífero conduzidos em vários locais	95
4 Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Santa Cruz do Sul-RS	98
5 Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Pelotas-RS	99
6 Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Londrina-PR	100
7 Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Ponta Grossa-PR	101

8	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Guarapuava-PR	102
9	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Cravinhos-SP	103
10	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Matão-SP	104
11	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Birigui-SP	105
12	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Cachoeira Dourada-MG	106
13	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Sete Lagoas-MG	107
14	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Capinópolis-MG	108
15	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Felixlândia-MG	109
16	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Inhumas-GO	110

17	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Colândia-GO	111
18	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Goiânia-GO	112
19	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Linhares-ES	113
20	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Garuaru-PE	114
21	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Serra Talhada-PE	115
22	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Jacarezinho-PR	116
23	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Capinópolis-MG	117
24	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Santa Helena de Goiás-GO	118
25	Sumário das estimativas do ganho genético de sorgo granífero em diversas localidades do Brasil	120

Tabelas

Pág.

26	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Guarapuava-PR	127
27	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Londrina-PR	127
28	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Jacarezinho-PR	128
29	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Birigui-SP	128
30	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Cravinhos-SP	129
31	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Matão-SP	129
32	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Sete Lagoas-MG	130
33	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Capinópolis-MG	130
34	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Santa Helena de Goiás-GO	131
35	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Goiandésia-GO	131
36	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura do milho; produtividade de grãos em t/ha; em Goiânia-GO	132

Tabelas

Pág.

37	Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Inhomas-GO	132
38	Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho em Linhares-ES	133
39	Sumário das estimativas do potencial de risco da produtividade de grãos de sorgo granífero (plantio em época normal e em sucessão) e milho em época normal, em diversas localidades	133

PROGRESSO GENÉTICO E POTENCIAL DE RISCO DA CULTURA DO SORGO
GRANÍFERO (Sorghum bicolor (L.) Moench) NO
BRASIL

Autor: José Avelino Santos Rodrigues
Orientador: Prof. Dr. Roland Vencovsky

RESUMO

Neste trabalho, foi feita uma avaliação da dinâmica das pesquisas genéticas com o sorgo granífero no Brasil. Para tanto, estimaram-se os aumentos de produtividade de grãos, devidos ao melhoramento genético destecereal, expressos nos cultivares avaliados nos ensaios nacionais, nos últimos anos. Quantificou-se também a taxa de substituição de cultivares novos, nestes ensaios. Paralelamente, avaliou-se o potencial de risco a que estão sujeitos os agricultores explorando esta cultura, em dois sistemas de cultivo e em confronto com o risco verificado com a cultura do milho.

Foram utilizados dados dos Ensaios Nacionais de Sorgo Granífero em "Época de plantio normal" (SEPN), e de Milho, com plantas de ciclo e porte normais (MPCN), conduzidos sob a coordenação do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS/EMBRAPA, e resultados experimentais de ensaios de híbridos de sorgo granífero comerciais em "época de plantio em sucessão" (EPS), da Empresa de Sementes Agroceres S.A.

Partindo de um modelo linear e por meio do método dos quadrados mínimos ponderados, foram obtidos, em cada localidade, estimativas a) do aumento de rendimento de grãos devido à superioridade genotípica dos novos cultivares,

avaliados em cada ano; b) da flutuação de rendimento, de um ano para outro, devida a fatores ambientais.

O potencial de risco foi medido através do erro padrão dos desvios ambientais no rendimento observado entre anos, em porcentagem da média dos ensaios.

Estes progressos genéticos, na média dos anos, variaram de um local para outro, tendo-se os extremos de $-0,29$ t/ha/ano, em Capinópolis (SEPS) a $0,50$ t/ha/ano de grãos em Cachoeira Dourada (SEPN). Na média geral sobre todos os locais obteve-se, durante o período de 1974/75 a 1987/88 o progresso de $0,0557 \pm 0,0056$ t/ha/ano ou $1,10 \pm 0,12$ %/ano, em relação à média dos rendimentos dos ensaios. Este valor foi significativo, mas inferior aos estimados para a espécie em algumas regiões dos EUA e ligeiramente inferior ao obtido para o milho no Brasil. Foi, por outro lado, superior aos progressos genéticos calculados para o algodão, o trigo e a soja nos EUA.

A velocidade de substituição de novos cultivares de sorgo nos ensaios foi de 42,8%, em média, por ano, indicando razoável dinamismo dos programas de melhoramento deste cereal entre nós.

As estimativas foram diferentes, conforme a localidade, podendo destacar os extremos de 59,9% em Pelotas a 178,4% em Londrina (SEPN); 65,8% em Santa Helena de Goiás a 126,4% em Capinópolis (SEPS). Estas medidas de risco não diferiram das obtidas com o milho, em condições comparáveis, em que os extremos foram: de 44,7% em Guarapuava a 158,6% em Santa Helena de Goiás.

GENETIC GAIN AND RISK POTENTIAL OF GRAIN
SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) IN BRAZIL

Author: José Avelino Santos Rodrigues
Adviser: Prof. Dr. Roland Vencovsky

SUMMARY

An evaluation of the genetic research dynamics of grain sorghum in Brazil was made. Progress in grain yield due to breeding of this crop, as expressed by cultivars evaluated in national trials over the last years, was estimated. The rate of cultivar substitution in these trials was also measured in addition to the risk potential to which farmers may be exposed growing this crop. Two cropping systems were considered and results were compared with corresponding values obtained for corn.

Data were taken from the national grain sorghum trials relative to the regular season (GSNS) and from corresponding corn trials involving cultivars with regular plant type and productive cycle (CNPC). These trials are coordinated by the National Corn and Sorghum Research Center CNPMS/EMBRAPA. Data on sorghum hybrids sown in succession (SSC) were provided by The Agroceres S.A. seed company.

The following estimates were obtained through weighted least squares: a) progress in grain yield due to breeding and the genotypic superiority of new cultivars tested every year; b) year to year yield fluctuations in grain yield due to environmental effects.

Risk potential estimates were calculated as the standard deviation of the year environmental effects, expressed as percentage of the average yield of trials, cultivars common to consecutive trials were taken to measure these effects.

The genetic progress, as an average over years, varied among locations, with a range of -0.29 t/ha/year in Capinópolis (SCS) to 0.50 t/ha/year in Cachoeira Dourada (GSNS). The overall mean of progress, for all locations and a period from 1974/75 to 1987/88, was of 0.0557 ± 0.0056 t/ha/year, corresponding to 1.18 ± 0.12 %/year, in relation to the average yield of all trials. This average progress was significant, but smaller than corresponding estimates obtained for sorghum in specific regions of the USA and also for corn in Brazil. It is larger, however, than progresses measured for cotton, wheat and soybeans in the USA.

The rate of substitution of new cultivars in these trials was equal to 42.8% per year, on the average. This indicates a reasonable dynamics of Brazilian sorghum breeding programs.

Estimates of the risk potential varied from location to location with the following range: 59.9% in Pelotas to 178.4% in Londrina (SEPN); 45.8% in Santa Helena de Goiás to 126.4% in Capinópolis (SCS). These values did not differ from the corresponding estimates obtained for corn, which ranged from 44.7% in Guarapuava to 150.0% in Santa Helena de Goiás, under similar conditions.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo tem a África e parte da Ásia como centro de origem. Apesar de ser uma cultura muito antiga, somente a partir do final do século passado é que alcançou um grande desenvolvimento em diversas regiões agrícolas do mundo. Ocupa atualmente o quinto lugar mundial em área cultivada com cereais, sendo precedido pelo trigo, arroz, cevada e milho.

No Brasil, a cultura do sorgo granífero se desenvolveu consideravelmente nas últimas duas décadas, sendo utilizado como componente fornecedor de energia na formulação de rações e diretamente, como forragem, na alimentação animal.

A cultura do sorgo granífero concentra-se, principalmente, nos Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo. Recentemente, vem aumentando a produção comercial no Nordeste do País, onde é grande o seu potencial, devido à sua resistência ao estresse hídrico.

Na região Sul, especialmente o Estado do Rio Grande do Sul, ou maior e mais tradicional produtor de sorgo do País, a cultura tem sido utilizada em substituição gradual da área plantada com soja, no binômio soja-trigo, e mais recentemente em sistemas de rotação com a cultura do arroz.

Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, o sorgo é cultivado em monocultivo ou em sucessão às culturas de verão, destacando-se a a soja, desenvolvendo-se bem nos meses de menor disponibilidade de chuvas.

A farinha de sorgo, pelas suas características, pode ser misturada à farinha de trigo na proporção de 20%, mostrando o seu potencial de utilização na indústria de alimento humano.

Além disso, o grão de sorgo, pode ser utilizado como substituto do milho em porcentagens variáveis nas rações para bovinos, suínos e aves, aumentando a oferta de milho como produto de consumo interno ou exportação, e contribuindo para a estabilização do custo de produção, através do fornecimento contínuo de rações a preços baixos.

SCHAFFERT & TREVISAN (1977) mostram as seguintes vantagens dos diversos tipos de sorgo para as diferentes áreas brasileiras: 1) em áreas onde a produção do milho é problemática, o sorgo granífero pode substituir os grãos de milho para alimentação humana e animal; 2) o sorgo forrageiro pode ser usado como pastoreio direto, como forragem verde ou como silagem; 3) apresenta-se como ótima alternativa para a produção de grãos e forragem na região semi-árida do Nordeste brasileiro e mesmo no Centro-Sul, onde ocorrem veranicos frequentes; 4) é cultura inteiramente mecanizável, desde o plantio até a colheita; 5) o sorgo forrageiro produz forragem de alta qualidade; 6) possui grande amplitude de época de plantio; 7) permite melhor aproveitamento de área, por

possibilitar a utilização do solo durante um período maior do ano agrícola do que culturas convencionais; 8) possibilita a diversificação da exploração agrícola, evitando a monocultura; 9) possibilita melhor aproveitamento do maquinário agrícola, principalmente colhedoras, que são as mesmas utilizadas para colher soja, arroz e trigo; 10) a palhada, após a colheita dos grãos, pode ser aproveitada para pastoreio direto e 11) pode ser usado na produção de açúcar e álcool.

Apesar de ser conhecido o seu potencial, o sorgo granífero enfrenta problemas, tanto na absorção da produção, como na sua fixação como exploração agrícola. A possibilidade de substituição do milho pelo sorgo na indústria de rações é dependente da relação de preços entre esses grãos. Caso o milho apresente baixos preços, a aquisição do sorgo pelas indústrias não será interessante. A adoção de uma cultura, como uma das opções agrícolas de uma região está vinculada à sua capacidade de atender aos objetivos dos agricultores no que diz respeito à renda, risco e utilização dos recursos disponíveis em concorrência com culturas tradicionalmente exploradas.

A quantificação dos avanços tecnológicos conseguidos para a cultura do sorgo é de grande importância, embora estudos dessa natureza sejam escassos. É através desses estudos que se pode avaliar o retorno das atividades de pesquisa e geração de tecnologia e, assim, encontrar subsídios que permitam traçar estratégias necessárias para resolver os problemas existentes.

A identificação de regiões em função de suas flutuações em produtividade de grãos de uma determinada cultura ao longo dos anos é de fundamental interesse, uma vez que fornece subsídios ao agricultor para avaliar o risco com outras culturas. Esse aspecto pode ser avaliado para as culturas de milho e sorgo. VENCovsky et alii (1988) mostraram que cerca de 40% das cultivares de milho avaliadas nos Ensaios Nacionais permaneceram comuns de um ano para o outro. Dessa forma, tais materiais comuns podem servir para estimar as variações ambientais ocorridas, que têm como causa principal as flutuações climáticas pertinentes a cada região em estudo.

Este trabalho consistiu em estimar o progresso genético da produtividade de grãos, expresso nos cultivares de sorgo granífero em diversas regiões do Brasil, no período de 1974 a 1988. A pesquisa também objetivou avaliar o potencial de risco dos agricultores em relação ao cultivo de sorgo plantado em épocas "normal" e "em sucessão" com o milho plantado em época "normal", estimado em condições ecológicas semelhantes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ganho genético

O aumento da produção de alimentos depende da manipulação das características genéticas das diferentes espécies vegetais. A seleção natural é um processo antigo, mas o melhoramento vegetal, através de técnicas científicas, é relativamente recente. O desenvolvimento de novos cultivares, pelo melhoramento de plantas, tem sido a base de sustentação da agricultura moderna.

A produtividade agrícola envolve muitos fatores e os pesquisadores deverão estar aptos para separar melhoramento genético daqueles devidos a mudanças favoráveis no ambiente natural ou manipulado pelo homem. O papel do melhoramento genético no aumento da produção agrícola é de suma importância.

Muitos fatores interagem na produção de uma cultura, como clima, solo, práticas agrícolas e escolha do cultivar. Alguns desses fatores podem ser modificados pelo homem e outros não. É de extrema importância a escolha do

cultivar sobre a produção de uma cultura. O potencial produtivo dos cultivares de algumas espécies tem aumentado ao longo dos tempos. Outros fatores que afetam a produção também são alterados, tais como o uso de fertilizantes e pesticidas, melhores máquinas de plantio e colheita e mudanças, a longo prazo, no clima. Pode-se conhecer a importância relativa do aumento do potencial produtivo dos cultivares, comparando-se com o aprimoramento de outros fatores de produção.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem sido cultivado nas diversas partes do globo terrestre por centenas de anos. Agricultores e pesquisadores têm encontrado, utilizado e mantido mutações que alteraram as espécies de porte alto, adaptadas às condições tropicais e sensíveis ao fotoperíodo, para tipos de porte baixo, adaptadas às condições temperadas e de alta produtividade (DOGGETT, 1970).

O sorgo é uma espécie autógama, normalmente com flores completas, mas tem auto-esterilidade e apresenta pequena depressão endogâmica quando autofecundada. Nesse aspecto, é muito parecida com soja ou outras espécies. Entretanto, naturalmente ocorrem fecundações cruzadas em pequeno grau, que variam com o genótipo e ambiente, e esses materiais frequentemente mostram vigor híbrido (ROSS, 1973).

A característica autógama do sorgo foi a base para o desenvolvimento do programa de melhoramento varietal que estabeleceu a cultura em escala comercial economicamente viável, nos EUA, antes da era do híbrido. Hoje é a base para o desenvolvimento de linhagens endogâmicas para utilização nos

programas de híbridos. A possibilidade de fecundação cruzada em sorgo é de extrema importância, porque devido a ela foi possível desenvolver o programa de híbrido. Este fato ilustra claramente a natureza bivalente do sorgo e oferece, aos melhoristas de plantas, uma oportunidade para manipular germoplasma como em poucas outras culturas (ROOS, 1973).

O melhoramento de sorgo nos EUA começou há cerca de 100 anos, com maior ênfase a partir da década de 30. Os cultivares antigos eram de porte alto e de difícil colheita mecânica, mas eram conhecidos pela resistência à seca e estabilidade de produção. Esses cultivares foram substituídos por materiais melhorados, que se tornaram amplamente cultivados, não pela alta produtividade e sim pela facilidade de colheita mecânica. Os melhoristas de sorgo tiveram pouco sucesso no aumento do potencial produtivo até que o método de produção de semente híbrida fosse descoberto. Depois dessa descoberta, foram obtidos substanciais aumentos da produtividade dessa cultura (MILLER & KEBEDE, 1984).

STEPHENS (1937) propôs o uso da macho-esterilidade para produção de sementes híbridas; entretanto, somente cerca de vinte anos depois a macho-esterilidade foi realmente colocada em prática nos EUA (STEPHENS & HOLLAND, 1954). O sistema foi possível porque os sorgos da raça Milo possuíam esterilidade citoplasmática e da raça Kafir possuíam os genes nucleares necessários à restauração. Após 1952, quando a macho-esterilidade genético-citoplasmática foi, primeiramente, usada em sorgo, genitores femininos foram

identificados e convertidos em linhagens macho-estéreis. Pais masculinos, possuindo o fator de restauração da fertilidade foram identificados e híbridos apropriados foram desenvolvidos, testados e distribuídos para uso comercial nos EUA.

Em 1957, 15% dos plantios comerciais de sorgo nos EUA utilizavam semente híbrida. Nos anos sessenta, os plantios já utilizavam 80 a 95% de semente híbrida. Esses híbridos produziram pelo menos 20% a mais do que as linhagens puras, quando eram utilizadas práticas culturais mais adequadas. Maior ênfase foi dada em pesquisas no uso de fertilizantes, controle de pragas e doenças e irrigação, fornecendo aos agricultores informações para uma maior eficiência produtiva da cultura (MILLER & KEBEDE, 1984; QUINBY, 1974).

O sucesso nos programas de melhoramento de sorgo pode ser diretamente correlacionado com as informações derivadas das pesquisas genéticas. Uma vez que é conhecida a herança de caracteres tais como maturação, altura, coloração de grãos, resistência a doenças e pragas, macho esterilidade e outros genes controlando caracteres de importância econômica, há possibilidade de fazer melhor escolha dos progenitores dos híbridos com considerável segurança.

Vários pesquisadores têm atentado para elucidar a resposta heterótica do sorgo à produção e caracteres correlacionados, em termos de atributos morfológicos e ação gênica responsável. Caracteres heteróticos positivos

observados em híbridos incluem plantas mais altas, panículas mais pesadas e compactas, maior área foliar, maior peso de planta e sistema radicular mais volumoso e desenvolvido.

O número de grãos por panícula e o peso de grãos são os principais componentes nas análises de produção de sorgo granífero, indicando que o aumento do número de grãos é o principal fator para a produção de híbridos de sorgo. Sabe-se que o grão mais pesado é principalmente um resultado de maior acúmulo de matéria seca do que de um aumento na duração do período de enchimento de grãos. A associação entre tamanho e número de grãos com produção tem sugerido que a seleção seja feita com base no número de grãos. Esses dois componentes de panícula são os determinantes primários da produção e estão correlacionados negativamente ($r = -0,92$) em híbridos (KIRBY & ATKINS, 1968; MILLER, 1976). MILLER (1976) propôs que híbridos superiores poderão ser o resultado do cruzamento entre pais que produzem grãos grandes com um número máximo de grãos por panícula. Híbridos intermediários em relação a essas características, que são negativamente correlacionadas, poderão produzir heterose máxima.

A produção de grãos de sorgo nos EUA aumentou paralelamente com a adoção da semente híbrida e melhores práticas culturais. Durante os 15 anos após a introdução do híbrido comercial de sorgo, a produção aumentou substancialmente, a uma taxa correspondente a 5 vezes mais do que as produções de milho, cevada e aveia no mesmo período (MAUNDER, 1972). A produtividade norte-americana de sorgo

aumentou de cerca de 1.200 kg/ha em 1950 para 3.000 kg/ha em 1980, com uma taxa média de 7% ao ano, apesar de que os aumentos não foram lineares (MILLER & KEBEDE, 1984).

O melhorista de plantas, frequentemente está interessado em saber sobre o ganho real obtido na espécie com que ele está trabalhando. O progresso para alguns caracteres, tais como a resistência a pragas e doenças, a qualidade de grãos, a resistência ao acamamento e a maturação podem ser óbvio ou fácil de avaliar, mas para outros caracteres, tal como a produtividade de grãos, o progresso é mais difícil de determinar. Ganhos de produção, observados em um certo período, são devidos à interação do melhoramento varietal, com as mudanças nas práticas culturais e climáticas.

Baseados em retornos de várias tecnologias, Wellman & Hassler*, citados por MILLER & KEBEDE (1984), estimaram a contribuição genética para o aumento de produção de sorgo em cerca de 28% no período de 1950 a 1965, no Estado de Nebraska, EUA.

MILLER & KEBEDE (1984) fizeram a análise do crescimento e da produção para obter informações sobre as características que tinham mudado no sorgo híbrido cultivado entre 1954 e 1959, em relação aos cultivados em 1980 e 1981. Comparações foram feitas, usando três híbridos originalmente

WELLMAN, A.C.; HASSLER, J.B. How technological change affects Nebraska crops. *Quarterly Canning Farm, Ranch, and Home*, Lincoln, 14:23-5. 1969.

produzidos de 1956 a 1959, três híbridos em 1980 e 1981 e dois híbridos com um pai antigo e outro novo. Observaram um aumento de 48% na produção dos grãos, refletindo substancial aumento no número de grãos por panícula, com pouca diferença no tamanho do grão. Os híbridos resultantes do cruzamento de linhagens novas e antigas mostraram resposta intermediária com dominância a aumento de produção. Os novos pais endogâmicos apresentaram maior altura de plantas em relação aos antigos. Os quatro pais endogâmicos novos produziram, em média, 300 grãos a mais por panícula em relação aos antigos, sendo que o peso de 300 sementes não foi, significativamente, diferente entre eles. Em geral, os pais endogâmicos foram mais tardios do que os híbridos, sendo que os novos foram mais tardios do que os antigos, mas as diferentes combinações de híbridos não diferiram umas das outras. A altura da planta foi superior nos novos híbridos, o que poderá ser um indicador do aumento de potencial produtivo. O peso total da planta e a produção de grãos por planta, dos novos híbridos foram significativamente maiores do que a dos antigos. Entretanto, o índice de colheita não mudou significativamente, indicando que o aumento de produtividade foi devido ao maior acréscimo da biomassa total. Baseado nos resultados desse trabalho, MILLER & KEBEDE (1984) estimaram em cerca de 39% o ganho genético para o sorgo no período de 24 anos (1956 a 1980), correspondendo a 1,63%/ano nas condições norte-americanas.

Com o propósito de estimar os ganhos em vários caracteres da planta, espiga e grãos de milho, RUSSELL (1985)

avaliou 4 variedades de polinização aberta, representativas do período anterior a 1930, nas condições norte-americanas, mais 4 híbridos simples, representativos de cada década, de 1930 a 1980. O autor observou um aumento de 57,5% na produtividade de grãos, comparando as variedades de polinização livre e híbridos da década de 1970. Os híbridos da década de 1930 produziram 24,5% a mais do que as variedades de polinização livre. Houve diferenças altamente significativas entre os cultivares em 18 caracteres de espiga, planta e grãos, com exceção do número de espigas por plantas, que não foi diferente.

Observação interessante foi feita por RUSSELL (1984), quando avaliou o ganho genético no milho em dois ambientes diferentes: estressante e não estressante. Quando os ambientes foram divididos em dois grupos e as comparações foram feitas com base na densidade ótima, os cultivares representativos da década de 1980, em relação aos de polinização aberta, apresentaram um ganho genético de 62% nos ambientes não estressantes e de 69,6% nos ambientes estressantes. Consequentemente, o ganho genético parece ser maior em ambiente de estresse. Isso, segundo o autor, provavelmente, ocorreu porque os híbridos da década de 1980 eram mais resistentes a doenças do que os cultivares de polinização aberta.

CACCO et alii (1983), avaliando um grupo de híbridos de milho representativos de ciclos de seleção, durante o período 1930 a 1975, nas condições norte-americanas,

quanto ao melhoramento da capacidade de absorção do sulfato e do nitrato, atividade da ATP sulfurilase (ATPS) e nitrato redutase (NR), observaram que o ganho em produtividade obtido através dos ciclos de seleção foi acompanhado pelo aumento de todos os caracteres metabólicos testados. A taxa anual de ganho, expressa como uma percentagem do nível de 1930, foi de 0,84%, 0,64%, 0,32% e 0,86%, respectivamente.

DUVICK (1984) apresenta sete estimativas da porcentagem de ganho genético em híbridos de milho, no Estado de Iowa, EUA, conforme a Tabela 1. Elas variaram de 33 a 89%. A maior estimativa (89%) é de um experimento com maior proporção de híbridos simples, de recente lançamento, e mais produtivos do que os mais recentes híbridos duplos. As maiores estimativas, de RUSSELL (1974), DUVICK (1977) e DUVICK (1984), que variaram de 57 a 89%, foram obtidas em experimentos usando altas densidades, típicas dos plantios modernos, onde os novos híbridos expressaram todo o potencial produtivo. Melhoramento genético e aprimoramento das técnicas de cultivo de milho têm sido feitos concomitante ao longo dos anos e podem ser um bom exemplo da co-evolução dirigida pelo homem e são suscetíveis de estudo e análise pelos biólogos, sociólogos e economistas.

Durante os trinta primeiros anos deste século, os sojicultores norte-americanos cultivavam introduções oriundas do oriente ou linhagens puras selecionadas dessas introduções. A partir do início do programa de melhoramento de soja, em 1930, foram lançadas nos EUA, cultivares de melhor performance do que os progenitores. Com o objetivo de avaliar

Tabela 1. Sumário de sete estimativas de ganho total de rendimento e de seu componente genético na produtividade de milho híbrido no Estado de Iowa, EUA (DUVICK, 1984).

Autor	Tempo considerado	Anos de exp.	Ganho total kg/ha	Ganho genético kg/ha	Ganho genético (%)
DARRAH (1973)	1930-70	1930-70	99	33	33
RUSSELL (1974)	1930-70	1971-73	78	63	79
RUSSELL (1974)	1930-70	1971-73	78	49	63
DUVICK (1977)	1935-71	1972-73	88	50	57
DUVICK (1977)	1935-72	1972-73	88	53	60
DUVICK (1984)	1930-80	1978-80	103	92	89
DUVICK (1984)	1930-80	1977-79	103	73	71

as mudanças genéticas na produção de grãos, altura de planta, acamamento, teor protéico e de óleo do grão e estabilidade de produção, WILCOX et alii (1979) avaliaram cinco cultivares de soja do grupo II e cinco do grupo III, representativos dos últimos 50 anos, nas condições dos EUA. O ganho genético no período foi estimado em 25% para produtividade nos dois grupos, embora nas outras características não tenha havido ganho consistente. Encontraram, também, que os diferentes cultivares mostraram igual estabilidade de produção de grãos.

Para determinar a contribuição do melhoramento genético no aumento de produção de grãos de soja nos EUA, BOERMA (1979) avaliou 18 cultivares do grupo VI, VII e VIII, representativos do período de 1914 a 1973. Os resultados desse

estudo indicam que significantes ganhos genéticos na produtividade de grãos foram consequências da hibridação e seleção durante os últimos trinta anos; nos grupos VI, VII e VIII este aumento foi de 0,7% por ano.

SPECHT & WILLIAMS (1984), durante 3 anos, avaliaram 240 cultivares de soja dos grupos de maturação 00 a IV; representativos do período de 1902 a 1977, em Nebraska, EUA. Mostraram uma taxa média anual do ganho genético de 18,8 kg/ha nos 75 anos considerados, variando de 14 a 29 kg/ha anualmente, dentro de cada um dos seis grupos de maturação. A taxa média anual do aumento da produção, em 19 Estados norte-americanos, onde um ou mais desses cultivares eram utilizados, foi de 23,7 kg/ha, portanto, cerca de 79,3% do aumento da produção de grãos foram devidos ao melhoramento genético dos cultivares.

A produção de fibra de algodão por hectare, nos EUA, segundo MEREDITH Jr. & BRIDGE (1984) não aumentou no período de 1866 a 1935. Durante o período de 1936 a 1960, essa produção teve um aumento de 10,4 kg/ha/ano e de 1961 a 1980 teve um decréscimo de 0,92 kg/ha/ano. Com o propósito de avaliar a contribuição genética nos ganhos de produção de fibra de algodão, durante o período de 1910 a 1980, MEREDITH Jr. & BRIDGE (1984) analisaram testes de produção de várias instituições americanas, estaduais e privadas. Os resultados foram obtidos de 63 locais, onde uma ou duas cultivares eram comuns a todos os testes, dentro de uma mesma região. A regressão de dados de produção ajustadas em anos de testes

indicou um acréscimo médio de 7 kg/ha/ano, ou cerca de 0,74%/ano. Os autores mostraram que embora a produção anual pareça ter atingido um platô, o ganho genético de produção de fibra foi contínuo, de 1940 a 1980.

Utilizando dados de ensaios regionais de trigo em diferentes regiões dos EUA, durante os anos de 1958 a 1980, SCHMIDT (1984) observou que houve 32% de aumento da produtividade de grãos para o período, ou seja, de 1.688 kg/ha aumentou para 2.226 kg/ha. Segundo ele, 17% do ganho em produção durante esse período, pode ser creditado ao melhoramento ou uma taxa anual de ganho de cerca de 0,74%.

2.2. Heterose

A heterose é, geralmente, medida como a diferença entre a média da geração F_1 e a média dos pais. Outra maneira de avaliar a heterose é comparar a média de F_1 com a média do pai superior, nesse caso a heterose tem sido chamada de heterobeltilose.

Os melhoristas vêem a heterose como um fenômeno através do qual se pode aumentar a produtividade das culturas. A lista de culturas em que esse fenômeno é utilizado, para obter ganhos econômicos, tem aumentado nas últimas décadas, conforme mostra a Tabela 2.

A vantagem dos híbridos não é simplesmente uma função da heterose. Três fatores afetam o resultado final: 1)

Tabela 2. Utilização de variedades híbridas comerciais em culturas alimentícias, segundo Wittwer* citado por SINHA & KHANNA (1975).

Antes de 1955	Entre 1955 e 1975	Após 1975
Milho 1921	Sorgo granífero 1955	Aspargo 1975
Milho doce 1933	Beterraba açucareira 1957	Aipo 1975
Beringela 1939	Brocoli 1961	Aveia 1975
Abóbora verão 1941	Espinafre 1961	Centeio 1975
Tomate 1943	Beterraba vermelha 1962	Batata 1980
Pepino 1945	Couve de bruxelas 1963	Soja 1980
Cebola 1948	Cenoura 1964	Ervilha 1985
Melancia 1949	Milheto 1965	Feijão
		(snapbeans) 1985
Abóbora inverno 1950	Coqueiro 1965	Feijão
		(Fieldbeans) 1985
Pimenta 1950	Couve-flor 1966	Alface 1980
Melão 1954	Alfafa 1968	
Pepino conserva 1964	Cevada 1968	
Repolho 1954	Trigo 1969	
	Arroz 1972	
	Girassol 1972	

eficiência do método de melhoramento (um fator da taxa do progresso), 2) o efeito negativo ou positivo do sistema de restauração da fertilidade usado para produzir o híbrido, e 3) a base genética da heterose. (VIRMANI & EDWARDS, 1983).

Na maioria dos países, o aumento da produtividade de sorgo está relacionada à utilização de cultivares híbridos. Apesar de ser uma espécie autogama, o vigor híbrido é largamente explorado nos programas de melhoramento, justificando uma revisão sobre o assunto.

WITTWER, S.H. BioScience, 24:216-24, 1974.

Manifestações de vigor híbrido em sorgo foram descritas pela primeira vez por Conner & Karper* em 1927, segundo QUINBY (1974).

Os principais componentes da produção de sorgo granífero são números de grãos por panícula e o peso de 1000 grãos, embora alguns autores também consideram o número de ramificações por panícula como um terceiro componente (DESAI et alii, 1985).

BLUM (1970) e SINHA & KHANNA (1975) observaram que o número de grãos foi o principal componente contribuindo para o aumento da produção de híbridos de sorgo. RAO (1972) concluiu que isto era devido à ação genica aditiva x aditiva ou aditiva x dominante.

Nove híbridos de sorgo granífero foram comparados com seus pais por BLUM (1970) em relação à manifestação de heterose na produção de grãos por panícula e em cada um dos componentes de peso de panícula, ou seja, o número de ramificações primárias por panícula, o número de ramificações secundárias por ramificação primária, o número de grãos por ramificação secundária e o peso de grão individual. De todos componentes estudados, observou um significativo e consistente efeito de heterose (superioridade sobre o melhor pai) somente no número de grãos por ramificação secundária. Os

CONNER, A.B.; KARPER, R.E. Hybrid vigor in sorghum. Texas Agri. Exp. Sta. Bul. 359. 1927.

efeitos fenotípicos de heterose no peso de grãos individuais e no número de grãos por panícula estão negativamente associados e a magnitude da associação depende da magnitude de cada um dos caracteres.

LAOSUWAN & ATKINS (1977) encontraram valores de heterose e heterobeltiose médios na produção de grãos, de 49% e 37% respectivamente. A maioria dos valores de percentagem encontrados pelos autores acima são relativamente altos, bem acima dos relatados por outros autores. Entretanto, grandes valores de heterose são esperados quando pais geográfica e geneticamente diversos são cruzados, pois adversidade genética é o ingrediente básico para a expressão da heterose.

KAMBAL & WEBSTER (1966), em Nebraska, compararam 190 híbridos com os respectivos pais. Os híbridos produziram 20% a mais, tiveram o maior peso de grãos, apresentaram plantas mais altas e foram mais precoces. As vantagens dos híbridos em produzir mais grãos foi em consequência do aumento do número de grãos por panícula, e em menor extensão, do aumento do peso das sementes. Não houve heterose em relação ao perfilhamento. O aumento da produtividade foi resultado de maior heterose no peso de grãos do que no volume. Os híbridos foram mais altos por apresentarem maiores colmos, pedúnculos e panículas. A heterose foi maior para o comprimento do caule do que o número de entrenós. Parece que os fatores que controlam o número e o comprimento dos entrenós diferem daqueles que controlam o comprimento do pedúnculo e da panícula. A porcentagem de proteína foi menor nos híbridos.

Na pesquisa de PATANOTHAI & ATKINS (1971) os híbridos apresentaram um maior desenvolvimento vegetativo (peso e altura das plantas) e um maior número de folhas aos 30 dias após o plantio. A vantagem vegetativa do híbrido continuou a aumentar durante os primeiros estágios da iniciação floral. Os híbridos excederam os pais na taxa e na extensão do desenvolvimento da frutificação em todas as fases do crescimento da planta, sugerindo que, a superioridade do peso da planta, mostrado pelos híbridos é o resultado da magnitude da vantagem inicial, detectada aos 30 dias após o plantio. Aos 90 e 100 dias após o plantio, houve redução do peso vegetativo dos híbridos. Estas observações sugerem uma superioridade dos híbridos na capacidade de translocação de fotossintetizados dos tecidos vegetativos para o grão. Os resultados também indicam que os híbridos foram superiores na taxa e extensão do desenvolvimento da frutificação resultando em maior produtividade.

Dados apresentados por QUINBY (1970 e 1974) mostram que o peso da panícula (excluindo os grãos) é maior nos híbridos e que a panícula destes leva menos tempo para se desenvolver. LIANG et alii (1972) observaram que as panículas dos híbridos foram maiores (largura x comprimento) do que o do progenitor superior.

A maioria dos estudos de heterose tem-se concentrado em componentes da produção de grãos. Estes estudos têm mostrado que maiores produções dos híbridos são geralmente devido ao maior número de grãos por planta, algumas vezes ao

maior peso dos grãos, ou ambos.

GIBSON & SCHERTZ (1977) avaliaram as taxas de crescimento, o índice de área foliar, a taxa de assimilação líquida e a distribuição de matéria seca durante o ciclo do híbrido grânífero RS 610 e seus pais. Os autores observaram que o híbrido apresentou maior transferência de assimilados armazenados para a produção da panícula e com maior precocidade. A taxa de crescimento das folhas e caule do híbrido começou a declinar vários dias mais cedo. A completa transferência de assimilados para a produção de grãos, mais lenta após antese no híbrido, foi evidente em relação aos pais, que continuaram a desenvolver vegetativamente. RS 610 produziu 16% mais grãos do que Tx 7078 e 28% mais do que Tx B3197, assim como excedeu ambos os pais em peso de grãos.

Dois dos principais componentes da produção de matéria seca são a área foliar e a taxa fotossintética líquida por unidade de área. KHANNA-CHOPRA (1982) analisou híbridos heteróticos de sorgo e seus pais em relação à área foliar, à taxa fotossintética e à atividade de enzimas fotossintéticas (Ru BP carboxilase e PEP carboxilase), durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, com o objetivo de associar a maior produção de matéria seca com estas características. Os híbridos heteróticos mantiveram maior área foliar durante o crescimento e desenvolvimento. Não observou heterose na atividade fotossintética e na atividade das enzimas fotossintéticas. Entretanto, a interação multiplicativa da área foliar e da taxa fotossintética, segundo o autor, parece

estar associada com maior produção de matéria seca. A habilidade de os híbridos heteróticos utilizarem eficientemente os fotossintetizados disponíveis, para desenvolver maior área foliar acoplada com uma taxa fotossintética similar aos pais, assegura a heterose em produção de matéria seca.

QUINBY (1970) estudou as diferenças morfológicas entre linhagens de sorgo e seus híbridos e o período de crescimento dessas plantas. Os híbridos apresentaram menor área foliar na maturidade do que os progenitores femininos. Também, diferenças na área foliar pareceram não influenciar no comportamento dos híbridos. As panículas dos híbridos foram mais pesadas e foram produzidas em menos tempo. Importante diferença entre os pais e os híbridos está em que a taxa de crescimento destes foi maior e esta começou desde o o estágio de plântula, resultando em maiores panículas. O autor também observou que os híbridos possuem meristemas maiores e que estes desenvolvem-se muito mais rapidamente em relação aos progenitores.

A quantidade de perfilhamento em sorgo é determinado pela efetividade da dominância apical. A influência da dominância apical no desenvolvimento das gemas axilares é função hormonal. QUINBY (1974) e QUINBY (1963) concluíram que o maior perfilhamento é uma manifestação do vigor híbrido em sorgo. Entretanto, KAMBAL & WEBSTER (1966) e BEIL & ATKINS (1967) encontraram pouca diferença na quantidade de perfilhos entre híbridos e seus pais, enquanto CHIANG &

SMITH (1967) verificaram que, em média, os híbridos tinham menos perfilhos.

Os dados de QUINBY (1963), comparando três híbridos, mostram que, na ausência de perfilhamento, a produção de grãos dos híbridos foi 69%, 80% e 39% acima da média dos pais. Quando compararam-se os dados em que se considerava o perfilhamento, a produção de grãos foi 92%, 106% e 43% acima, mostrando que o perfilhamento é uma característica marcante para a produção dos híbridos. O número de grãos por panícula de híbridos, na ausência de perfilhamento foi 77%, 68% e 24% acima. Aparentemente, o aumento do número de grãos por panícula contribuiu mais para o aumento da produção dos híbridos do que qualquer outra característica.

Os aumentos na produção de grãos dos híbridos, em relação aos seus pais encontrados por QUINBY (1963) atribuídos à heterose em sorgo são maiores do que os encontrados por outros autores. Respostas diferenciais dos híbridos e variedades, a competição de plantas e o espaçamento usado podem ter contribuído para os maiores incrementos obtidos.

Híbridos graníferos são normalmente mais altos do que a média dos seus pais; assim a altura de planta tem sido relatada como uma manifestação do vigor híbrido. A altura de planta é função do comprimento dos entrenós, do pedúnculo e da panícula. KANDAL & WEBSTER (1966) estudaram cada componente e verificaram que todos foram maiores nos híbridos. O

comprimento do colmo depende da quantidade de alongação celular bem como do número de entrenós e o vigor híbrido parece aumentar esta alongação celular.

A altura de planta é um caráter importante em muitas culturas, uma vez que está ligada à significância econômica direta ou tem relação com a produção da planta. Se a heterose, na altura da planta é o produto do número de nós e comprimento de entrenós, é possível selecionar progenitores com base nestes caracteres. Aparentemente um progenitor deverá ter um grande número de nós e o outro um comprimento maior dos entrenós, quando se pretende obter híbridos com alta heterose para altura de planta (SINHA & KHANNA, 1975).

Uma planta de sorgo continua a produzir folhas no meristema mesmo quando já ocorreu a iniciação floral. QUINBY (1967) mostrou que os híbridos floresceram, em média, 3 ou 4 dias antes do que os pais. QUINBY & LIANG (1969) apresentaram dados que mostram o mesmo número de folhas nos pais e nos híbridos mas estes floresceram mais precocemente.

NIEHAUS & PICKETT (1969) e CHIANG & SMITH (1967) mostraram que houve heterose negativa na precocidade de florescimento; entretanto em seus estudos foram incluídos progenitor que produziram híbridos tardios devido à ação complementar dos genes.

Híbridos F_1 exibindo heterose, mesmo sendo maiores em forma e aparência, também são mais pesados do que seus parentais. Os dois maiores componentes de produção de matéria seca são a área foliar e a taxa fotossintética líquida

por unidade de área. Entretanto, segundo SINHA & KHANNA (1975) não há nenhum mecanismo especial que explique o acúmulo de matéria seca em híbridos heteróticos. Os híbridos são semelhantes a um dos pais, ou são normalmente intermediários.

↓ KAMBAL & WEBSTER (1966) e LIANG (1967) encontraram que os grãos dos híbridos apresentavam menor teor de proteína. Segundo QUINBY (1974) os híbridos normalmente têm grãos com menor teor protéico, percentualmente, e que o vigor híbrido não aumenta a percentagem de proteína do grão de sorgo. WILSON et alii (1978), analisando seis cruzamentos e seis pais em um dialelo, observaram considerável heterose positiva na produção de grãos e proteína, enquanto a porcentagem de proteína foi sugerida como tendo heterose negativa.

No sorgo, o embrião tem 3 a 4 primórdios foliares. CLARK (1970) observou que os híbridos apresentaram o mesmo número de primórdios foliares do que um dos pais. Entretanto, uma mobilização mais rápida da reserva da semente, devido a maior absorção de água e à maior atividade enzimática, obtida do melhor progenitor, pode induzir uma emergência precoce das folhas. As folhas emergindo mais cedo e tendo herdado o maior comprimento e largura das folhas do melhor progenitor mostram vantagem sobre o potencial fotossintético dos híbridos.

↓ A manifestação de maior área foliar é uma das importantes características dos híbridos heteróticos. A importância deste fator na acumulação de matéria seca na

produção de grãos é por demais conhecida. SINHA & KHANNA (1975) analisando resultados de vários autores, observaram sobredominância e heterose para área foliar em híbridos F₁ de feijão, milho e sorgo. Em determinadas plantas, tais como milho, sorgo e trigo o número de folhas é limitado, mas o tamanho da folha torna-se o principal componente determinante da área foliar.

A bainha das folhas dos híbridos é maior, considerando as folhas embrionárias até a maior folha da planta. Acima desta folha, os híbridos apresentam folhas com menor bainha (QUINBY 1970). Isto, segundo QUINBY (1974), é devido à inibição provocada pelo desenvolvimento da inflorescência terminal no tamanho do meristema, do qual as folhas superiores se originam, ser maior nos híbridos. As folhas superiores nos híbridos não somente podem ser menores, assim como a inibição inicia-se mais precocemente. Aparentemente, a maior área da bainha das folhas de híbridos não é causa de maior produção de grãos.

QUINBY (1970) fez um detalhado estudo do desenvolvimento da área foliar em sorgo. Os híbridos foram semelhantes ao pai inferior quanto ao número de folhas, entretanto na fase de plântula os híbridos apresentaram heterose quanto à largura das folhas, apesar de que um progenitor apresentou largura de folha semelhante quando em fase adulta.

Khanna & Sinha* citados por SINHA & KHANNA (1975), determinaram a relação entre o comprimento e a largura de folhas em linhagens endogâmicas de sorgo e seus híbridos. Os dados mostraram que os híbridos foram intermediários ou próximos de um dos pais.

Analisando a área foliar das quatro folhas do topo da planta, após antese, QUINBY (1970) encontrou dominância para este caráter, indicando que a heterose em área foliar pode ser analisada fisiologicamente da mesma maneira como os componentes que têm dominância mendeliana simples.

+ ARGIKAR & CHAVAN (1957) não encontraram diferenças consistentes, e NIEHAUS & PICKETT (1966), LIANG (1967) e QUINBY & LIANG (1969) encontraram pouca diferença entre pais e os híbridos, no número de folhas. Aparentemente, vigor híbrido não aumenta o número de folhas.

+ BLUM et alii (1977b) avaliaram a manifestação da heterose no crescimento e morfologia radicular de três híbridos e seus pais. Heterose foi significativa em todos híbridos para comprimento da raiz seminal, taxa de crescimento de raízes adventícias e volume radicular. Entretanto não encontraram heterose consistente em número de raízes adventícias por planta, matéria seca de raízes seminais e adventícias. Considerando somente os efeitos heteróticos que foram consistentes em todos híbridos, pôde-se verificar que

KHANNA, R.; SINHA, S.K. Indian J. Agr. Sci., 1975.

heterose em raízes de sorgo resultaram principalmente de altas taxas de crescimento radicular. Isto concorda com QUINBY (1970) que observou que a heterose em sorgo é uma consequência de maior crescimento de órgãos da planta.

Segundo QUINBY (1963), menor número de genes estão envolvidos em heterose em sorgo do que em milho. Maior altura, perfilhamento, colmos mais largos e folhas mais longas em híbridos de sorgo são resultado da heterose e não causa desta. Trabalhos com milho indicam que o vigor híbrido é um resultado da divisão celular mais rápida do meristema apical. Há razão, segundo QUINBY (1963), para pensar que a mesma relação existe em sorgo. Maiores colmos, panículas e folhas de sorgo híbrido são devidos a mais rápida divisão celular nos meristemas apicais dos híbridos. Por outro lado, panículas maiores de híbridos indicam que a heterose foi particularmente efetiva em aumentar o número de células durante o período seguinte à iniciação floral quando as sementes e as espiguetas estavam sendo formadas.

A causa da mais rápida divisão celular em híbridos não é conhecida, mas uma diferença em concentração de giberelina é conhecida como influenciando a taxa de divisão celular (QUINBY, 1963).

2.3. Resistência do sorgo à seca

A agricultura de sequeiro, no Brasil, representa

um investimento de alto risco. As irregulares e baixas precipitações, principalmente nas áreas de Cerrado e no Nordeste brasileiro, causam frustrações de safras, com graves consequências sociais, impedindo a expansão da agricultura e o aumento da renda dos agricultores.

A região dos Cerrados, apesar de possuir condições climáticas ótimas (CAMARGO, 1966), apresenta solos com baixa capacidade de retenção de água (REICHARDT, 1976) e, devido à falta de precipitação em períodos definidos, apresenta uma séria limitação para o cultivo de cereais. A região abrange 2 milhões de km², cerca de 25% da área total do território brasileiro (ALVIN & ARAUJO, 1952).

Além desses fatores, a distribuição das chuvas é muito diferente a cada ano agrícola e períodos sem precipitação comumente ocorrem. Assim, mesmo em locais que possuem condições hídricas ótimas, a ocorrência de períodos de seca, que irá prejudicar a produção, não pode ser descartada.

Existem alternativas viáveis e disponíveis aos agricultores que possibilitam melhor aproveitamento do potencial agrícola existente no País. Dentre as alternativas, a irrigação constitui uma prática que viabiliza a utilização de maior extensão de áreas agricultáveis, incrementando a produção e elevando a produtividade.

Por outro lado, a utilização de culturas com tolerância à deficiência hídrica poderá permitir ao produtor diversificar sua atividade agrícola, alcançando produções compensadoras com menor investimento. Considerando-se esse

aspecto e com base nos resultados obtidos no País, e principalmente no exterior, com a cultura de sorgo verifica-se que a mesma tem apresentado alta capacidade de adaptação, evidenciada pelos elevados níveis de produtividade.

Somente algumas espécies são adaptadas às condições de falta de água, por períodos prolongados e possuem mecanismos especiais de resistência, como é o caso das xerófitas (cactos). As espécies cultivadas, em geral, são muito sensíveis à falta de água e, em especial os cereais (LEVITT, 1972).

As plantas podem ser classificadas, pela sua adaptação ao estresse hídrico, de acordo com o suprimento de água necessário para completar, normalmente, o seu ciclo de vida. Assim, segundo LEVITT (1972), as "Hidrófitas" são as plantas adaptadas às condições de excesso de água; aquelas adaptadas a suprimentos moderados são denominadas "Mesófitas" e "Xerófitas" são as plantas adaptadas às condições de falta de água em zonas áridas. De acordo com o mesmo autor, o sorgo, assim como as principais espécies cultivadas, como o milho, o arroz, o trigo e a soja, são classificados como Mesófitas.

A resistência à seca, segundo LEVITT (1972), é um termo geral, que se refere à capacidade da planta de permanecer viva em condições não favoráveis de umidade, em qualquer fase de seu ciclo. A resistência à seca inclui os mecanismos de tolerância e fuga. Assim, a tolerância à seca se dá através da capacidade de a planta sobreviver à redução em sua pressão de vapor e a fuga inclui qualquer meio de manter o

tecido vegetal com um nível hídrico elevado.

Outro termo relacionado é "escape à seca" que se refere à utilização de genótipos precoces, que são capazes de se desenvolver e produzir em um menor período e que, devido a isso, "escapam" de certos períodos definidos de seca (SNEEP & HENDRIKSEN, 1979).

As perdas de água das plantas se dão através da transpiração estomatal e cuticular e, desde que as perdas de água pela transpiração suplantem a absorção pelas raízes, o potencial de água da planta diminui e entra em estado de déficit hídrico ou em estresse de água. Assim, a planta em estado de estresse de água é aquela que se encontra com uma quantidade menor do que uma que está completamente saturada. Tal situação pode ser encontrada frequentemente nas horas mais quentes do dia, em que ocorre uma murcha temporária devido à diminuição da água no solo (SLATYER, 1969).

BOYER & MC PHERSON (1975) mostram que os cereais comportam-se genericamente de duas maneiras: máximas produções são alcançadas quando não ocorrem déficits de água e estes ocasionam danos quando ocorrem em certos estádios específicos de cada espécie.

As plantas são constituídas por grandes quantidades de água, e esta desempenha um papel fundamental, uma vez que os processos bioquímicos se realizam em meio aquoso. Assim sendo, a falta de água disponível para as plantas deverá acarretar efeitos deletérios nos processos fisiológicos (SLATYER, 1969).

O sorgo é, segundo ECK & MUSICK (1979), reconhecidamente resistente à seca e altamente responsivo em cultivos irrigados; sendo adaptado as condições, irrigada e semi-árida. Segundo estes autores, a redução na produção, em sorgo, em função do déficit hídrico, depende da intensidade do déficit e do estágio de desenvolvimento da planta. LEWIS et alii (1974) verificaram reduções de 1% na produção quando o déficit hídrico ocorreu no estágio vegetativo até o início do botão floral, reduções de 34% quando o estresse hídrico ocorreu durante o período após o início do botão floral e até a emissão da panícula e 10% após a emissão da panícula até o completo enchimento do grão.

BLUM (1974 e 1973) observaram que genótipos de sorgo, resistentes à seca sob estresse hídrico, produziram maior número de grãos por panícula, em relação aos suscetíveis; os outros componentes do peso da panícula não variaram entre os diversos materiais e existem diferenças genotípicas nesse tipo de resistência.

Segundo BLUM (1974), a produção e a resistência à seca são caracteres controlados por entidades genéticas separadas e individuais. Segundo SEETHARAMA et alii (1983), os genes da produção, adaptabilidade e resistência à seca são separados em pelo menos alguns dos locos. Assim o melhoramento para resistência pode ser feito sem sacrificar a produção ou a adaptabilidade.

Segundo ROSENOW & CLARK (1981), em híbridos F₁ a tolerância à seca, no período de pré-florescimento, parece ser

dominante, enquanto que a tolerância à seca no pós-florescimento é caráter recessivo. Os híbridos tendem a ser mais resistentes à seca, no pré-florescimento, do que as linhagens. Já os genótipos de alto potencial produtivo são mais sensíveis à seca durante o período de enchimento de grãos, do que os materiais de baixo potencial produtivo.

ROSENOW & CLARK (1981) propõem a utilização de "screening" no campo, em mais de um local, com diferentes ambientes de estresse, datas de plantio e regimes de umidade, para assegurar o estresse em diferentes estágios de desenvolvimento. Propõem ainda que sistemas de irrigação controlada podem efetivamente complementar o "screening" de campo. A manifestação do estresse hídrico em diferentes estágios de crescimento é essencial, no melhoramento do sorgo para a resistência à seca.

Segundo TURNER (1979), as plantas de sorgo possuem três mecanismos de "escape" à seca: precocidade de maturação, plasticidade de desenvolvimento e remobilização das reservas armazenadas no caule para o grão, antes da antese. A substituição de cultivares tardios (130-180 dias) por precoces (100-110 dias) tem aumentado a produção de grãos de sorgo, na Índia. Em regiões onde ocorre estresse hídrico, no final da estação de produção, materiais precoces escapam à seca. Nessas situações, certos materiais tardios produzem igual quantidade de grãos, mas menor quantidade de matéria seca do que os precoces. Os cultivares tardios também extraem maior quantidade de água do solo. Segundo SEETHARAMA et alii (1983),

isso é uma consequência da capacidade de retranslocar as reservas existentes no caule para os grãos.

A vantagem produtiva associada com a precocidade da maturação de sorgo, cultivado em regiões de clima mediterrâneo onde ocorre déficit hídrico, foi mostrada por BLUM (1970). A precocidade de maturação tem um grande potencial em locais onde o crescimento da planta ocorre somente com a utilização de água armazenada no solo. Uma vez que a manifestação e a seleção para precocidade são relativamente simples (QUINBY, 1972), o potencial dessa característica pode ser explorado.

A maioria dos cultivares de sorgo granífero não perfilham; eles perdem a vantagem de ajustar o número de perfilho em resposta à seca. Muitas linhagens de sorgo paralisam o seu desenvolvimento durante o estresse hídrico e retomam seu crescimento com o começo da chuva. Esse tipo de plasticidade é útil, onde há probabilidade de ocorrência de períodos com déficit de água durante o ciclo da cultura. Muitas vezes, a produção dos perfilhos, durante a recuperação da planta, contribui para um significativo aumento da produção (SEETHARAMA et alii, 1983).

A possibilidade de ocorrência de períodos longos de estiagem ou mesmo de veranicos é muito comum nas áreas tropicais. Embora os cultivares modernos possam escapar da seca, as plantas podem evitar o baixo potencial hídrico dos tecidos por vários mecanismos, tais como, o ajustamento da área foliar ou do sistema radicular, chamados de mecanismo de

fuga à seca.

A fuga à seca, pelo acréscimo do desenvolvimento do sistema radicular, tem recebido atenção dos pesquisadores, uma vez que essa característica é pouco relacionada aos processos produtivos, se comparada a outras características, como a redução de área foliar e o fechamento dos estômatos. Diferenças genotípicas têm sido observadas no sistema radicular de sorgo e há métodos disponíveis para seleção (BLUM et alii, 1977a, b; JORDAN et alii, 1979). Essas técnicas são úteis para selecionar progenitores em um programa de melhoramento. Entretanto a seleção, em condições de campo, em solos profundos e sob estresse hídrico, é indispensável.

BLUM (1979) mostrou que a precocidade no sorgo, além de ser um mecanismo de "escape", é também de fuga à seca, uma vez que isso reduz a demanda de transpiração da planta, como resultado do decréscimo da área foliar e da alta relação entre o comprimento de raízes e a área foliar.

Apesar dos mecanismos de fuga e "escape" conhecidos, em condições tropicais, onde as chances de ocorrência de períodos prolongados de seca são grandes, há necessidade de mecanismos que aumentem a tolerância à seca. Esses mecanismos possibilitam a sobrevivência do protoplasma ou torna possível a recuperação da planta, após um período de déficit hídrico. Permite ainda a adaptação da planta a baixo nível de potencial de água do tecido, fazendo com que a planta continue a crescer e se desenvolver em taxas razoáveis (TURNER, 1979).

A regulação osmótica das células, através da síntese e acúmulo de solutos, em resposta ao déficit de água, tem sido denominada osmorregulação. Solutos acumulados são frequentemente uma mistura complexa de ácidos orgânicos, aminoácidos e açúcares. A osmorregulação serve como um mecanismo para manter a turgidez e o potencial hídrico dos tecidos. Segundo JORDAN & SULLIVAN (1982), a osmorregulação tem sido identificada em outras culturas, mas não em sorgo. BLUM & EBERCON (1976) observaram diferenças genéticas na capacidade de acumular prolina em resposta ao estresse hídrico, sem saber se esse acúmulo de prolina é devido à osmorregulação.

O acúmulo de prolina em folhas de sorgo cultivado sob condições de estresse, segundo LEVITT (1972), é uma característica de resistência à seca. Segundo BHASKARAN et alii (1985), o papel da prolina como osmorregulador, é questionável. Uma correlação entre o aumento de estresse e o acúmulo de solutos não é suficiente, uma vez que a prolina pode ser acumulada por várias razões a saber: síntese estimulada pelos seus precursores; baixas taxas de oxidação de prolina; a incorporação lenta na cadeia protéica ou uma avaria na cadeia protéica. Uma síntese estimulada pode indicar um papel útil da prolina como osmorregulador. A baixa taxa de oxidação de prolina pode indicar um efeito secundário do estresse. A diminuição do crescimento pode causar acúmulo de prolina. O estresse hídrico pode também causar hidrólise de proteínas.

BLUM & EBERCON (1976) e BLUM (1979), investigando essa associação, não encontraram correlação significativa entre a resistência à seca e o acúmulo de prolina. Segundo BLUM & EBERCON (1976) e BHASKARAN et alii (1985), o acúmulo de prolina livre em folhas estressadas de sorgo está positivamente associado com a recuperação da planta após um período de estresse hídrico, uma vez que o aminoácido pode servir como fonte de energia respiratória.

Como a osmorregulação não é bem conhecida em sorgo, JORDAN & SULLIVAN (1982) sugerem que poderá ser feito um estudo da resposta dos estômatos ao déficit hídrico, consequência específica da osmorregulação. Quando expostas a déficit hídrico, plantas de sorgo reagem de várias maneiras. Uma forma de adaptação é pela queda do potencial de água da folha, ocorrendo fechamento dos estômatos. Esse fenômeno é uma consequência da osmorregulação. HENZEL et alii (1975) encontraram diferenças entre genótipos de sorgo quanto ao grau de sensibilidade dos estômatos. ACKERSON et alii (1980) também encontraram diferenças no ajustamento osmótico de linhagens e híbridos de sorgo sujeitos a déficit hídrico, em condições de campo.

Ajustamentos osmóticos diurnos e estacionais ao estresse hídrico foram observados em sorgo, assim como diferenças genotípicas (JONES & TURNER, 1979; STOUT & SIMPSON, 1978). O decréscimo no potencial osmótico contribuiu para a expansão da folha do sorgo durante condições de alta demanda atmosférica por água (ACEVEDO et alii, 1979). Os estômatos de

sorgo tornam-se menos responsivos à seca quando aumentam o número de ciclos ou períodos de seca (SULLIVAN, 1972).

Quando as plantas não conseguem manter a turgidez das folhas através da combinação de fatores, regulando absorção e perda de água, ocorre desidratação celular. SULLIVAN (1972) descreveu um método para avaliar a tolerância ao calor e à dissecação, baseado na perda da integridade da membrana do tecido foliar, em condições controladas de estresse hídrico. A tolerância ao calor, mostrada pelos discos foliares, prediz a tolerância da planta a altas temperaturas, assim como está correlacionada positivamente com alta produção, quando a cultura está exposta a alta temperatura e a estresse hídrico (SULLIVAN & ROSS, 1979).

O desenvolvimento diurno do déficit de água interno é o fenômeno resultante do atraso na absorção de água do solo para compensar a perda pela transpiração. No sorgo, a absorção de água, segundo RITCHIE (1974), ocorre em tempo suficiente para evitar o desenvolvimento de baixo potencial de água da folha, desde que a disponibilidade de água próxima à região do sistema radicular não esteja reduzida a menos de 30%. Modificações do sistema radicular, para extrair grandes quantidades de água ou para regular a taxa de esgotamento, podem constituir importantes mecanismos de fuga à seca.

A existência de variabilidade genética em característica da raiz em sorgo é demonstrada por vários autores. Ela é geralmente expressa em termos da relação de

matéria seca entre colmo e raízes ou da relação do crescimento entre raízes principal e laterais. A alta relação raiz/colmo em plantas jovens está correlacionada com maior resistência à seca (JORDAN & MCNK, 1980; BLUM, 1970). Vanderlip* e Bower*, citados por JORDAN et alii (1979) observaram crescimento do sistema radicular de plantas após o florescimento, continuando até à maturação. Bhan* et alii*, citados por JORDAN et alii (1979), observaram variações genéticas quanto ao desenvolvimento vertical e horizontal de diversas linhagens de sorgo. Observaram também diferenças na profundidade de penetração, no número de raízes secundárias e primárias e nas taxas de raiz/colmo, relacionando estes dados a diferenças na resistência à seca.

As partes aéreas de muitos genótipos de sorgo são cobertas com finas camadas de cera. A presença da cera é controlada por um gene simples e dominante, BmBm. Esta característica está associada a resistência do sorgo à seca.

VANDERLIP, R.L. How a sorghum plant develops. Kansas State Univ. Cooperative Extension Service Bull. C-447. 1972

BOWER, J.T. A comparison of root systems of two isogenic height lines of hybrid grain sorghum. 1972 (M.S. - University of Nebraska).

BHAN, S.; SINGH, H.G.; SINGH, A. Note on root development as an index of drought resistance in sorghum. Indian J. Agric. Sci, 43:828-30, 1973.

Segundo ROSS (1972) e WEBSTER (1977), materiais BmBm possuem acentuada vantagem sobre materiais bmbm em ambientes com limitações de água, sugerindo que a característica BmBm permite maior eficiência na utilização da água do solo. Segundo BLUM (1979), a presença de grandes camadas de cera, associada ao caráter BmBm, caracteriza menores perdas de radiação líquida, retardando a transpiração.

Segundo JORDAN & SULLIVAN (1982), o papel da alta camada de cera epicuticular parece ser mais importante para a sobrevivência da folha do que para manter a alta produtividade, uma vez que o seu principal efeito é retardar a perda de água via cutícula. A camada de cera epicuticular está associada, segundo JORDAN & MONK (1980), à maior reflexibilidade da incidência da radiação e à maior resistência da cutícula. A alta resistência cuticular de sorgo, comparada com a do milho, segundo MARTIN (1930), é um fator que contribui para a diferença em resistência à seca entre as duas espécies. Variações em camadas de cera são mais importantes, somente quando os estômatos estão fechados em decorrência do estresse hídrico. Se a camada de cera age para preservar a folha verde, pela prevenção da dissecação letal, ela deverá ser uma importante característica para um rápido restabelecimento da planta, quando terminar o estresse hídrico. Entretanto, comparações de produtividade de diferentes materiais, com e sem cera epicuticular deverão ser verificadas com cuidado, devido a diferenças em resposta ao pulgão verde (WEIBEL & STARTS, 1977) e a doenças foliares

(POWELL et alii, 1977). Existe variabilidade genética para esta característica e, segundo EBERCON et alii (1977), é facilmente quantificada, apesar de que esse caráter sofre um forte efeito ambiental.

Segundo SEETHARAMA et alii (1983), os materiais genéticos podem ser avaliados quanto à resistência à seca, observando-se a exsurgência da panícula. Em materiais sensíveis, as panículas ficam encobertas pela bainha da folha bandeira. Outro aspecto a ser considerado é que, sob estresse, ocorre acentuado abortamento das espiguetas.

Um decréscimo na absorção da radiação pelo enrolamento da folha ou pela reflexão da luz e um decréscimo da perda de água pela cutícula, normalmente reduz pouco a quantidade de água perdida, mas, sob condições severas de estresse hídrico, os ganhos são substanciais (SEETHARAMA et alii, 1983).

O crescimento de plantas individuais de sorgo, em soluções hidropônicas em tubos de PVC, onde o controle de estresse hídrico e nutrição mineral pode ser feito, é muito útil para avaliar o sistema radicular. A seleção de "seedlings" com resistência à seca e ao calor, também é facilitada pelo cultivo em solução hidropônica, onde se utiliza o Carbowax como agente osmótico (SULLIVAN & ROSS, 1979).

Vários autores (SEETHARAMA et alii, 1983; SULLIVAN & ROSS, 1979) são unânimes em afirmar que a seleção para resistência à seca é mais efetiva, quando realizada sob

condições de alta temperatura e evaporação.

JORDAN & MONK (1980), estudando vários mecanismos de fuga e tolerância à seca em sorgo, concluíram que os mecanismos de fuga propiciaram maiores oportunidades para manutenção da produtividade, uma vez que os mecanismos de tolerância são, frequentemente, associados a substanciais perdas da produção.

Embora seja grande o volume de informações requerido para explicar as bases fisiológicas da resistência à seca, é difícil escolher uma associação importante entre um ou vários caracteres e a resistência, que poderão ter aplicação dentro de um programa de melhoramento (FISCHER & WOOD, 1979). Um procedimento empregado no melhoramento é comparar linhagens isogênicas ou seleções divergentes para o caráter em questão, mas esse processo consome muito tempo (MOSS et alii, 1974), embora possa ajudar a decifrar a complexidade dos mecanismos de resistência à seca. FISCHER et alii (1984) acham interessante comparar o milho com o sorgo, por diferirem significativamente quanto à resistência à seca, embora estejam adaptados a ambientes similares.

Existem alguns estudos nos quais são comparadas as culturas de milho e sorgo sob condições de estresse hídrico. Avaliando as duas culturas, quanto à eficiência na produção de matéria seca produzida por grama de água

utilizada, Kassam*, citado por FISCHER et alii (1984), encontrou valores de 3,9 a 3,7mg/g para milho e sorgo, respectivamente, sob condições tropicais, sem limitações de água, na Nigéria. Ludlow*, citado por FISCHER et alii (1984), encontrou valores de 2,8 e 3,3 mg/g nas duas espécies, respectivamente, apesar de que os dados não são comparáveis para condições de estresse hídrico. NEUMAN et alii (1974) mediram um potencial hídrico crítico nas folhas de milho e sorgo, de -8,1 a -9,6 bars e -11,2 a -13,8, bars, respectivamente, embora em condições de campo as duas espécies tenham apresentado valores de -16 e -21 bars, respectivamente. Isto mostra que o sorgo tolera déficits internos de água mais elevados, antes de fechar os estômatos e pode continuar a fotossíntese em níveis de umidade mais baixos.

O sorgo é mais adaptado para evitar os efeitos da falta de água em um estado crítico de desenvolvimento da planta. Segundo Whiteman & Wilson*, citados por FISCHER et alii (1984), o sorgo pode interromper o desenvolvimento da

LUDLOW, M.M. Ecophysiology of C₄ grasses. Ecological Studies, Analysis and Synthesis, 12:364-36. 1976.

KASSAM, A.M. Crops of the West African semi-arid tropics. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. India. 1976.

WHITEMAN, P.C.; WILSON, G.L. Effects of water stress on the reproductive development of *Sorghum vulgare*. Perc. Univ. Queensland Papers, Dept. Bot., 4:233-9. 1965.

inflorescência, durante a escassez de água e retornar após o fornecimento de água. A falta de água durante vários estádios do desenvolvimento da panícula de sorgo causa uma redução no número de grãos, mas as plantas emitem panículas incompletas mesmo em condições severas. No milho, a falta de água inicialmente reduz não só o tamanho da espiga, mas também o número de plantas com espigas. Essa pode ser uma característica especial de milho em que as flores masculinas são produzidas em inflorescências terminais e as flores femininas em espigas laterais. Além disso, em sorgo, os grãos individuais têm maior capacidade para compensar a redução no número de grãos, e a capacidade do sorgo em perfilhar torna possível a recuperação e produção de grãos, uma vez que não volte a faltar água (FISCHER & WILSON, 1975).

A compreensão dos fatores que controlam o desenvolvimento da espiga e a esterilidade das plantas de milho, cultivadas sob condições de estresse hídrico é relevante. Em milho, o período crítico inclui a floração e coincide com o período de máxima transpiração das plantas (DOWNEY, 1971). O padrão de redução do rendimento devido à seca é semelhante aos efeitos da redução da radiação. A irradiação por planta, no milho, durante a floração, é um fator dominante na determinação do número de grãos. Em consequência, a manutenção da fotossíntese durante esse período é crítica para o rendimento (PRINE, 1971; TOLLENAAR, 1977; ANDRE et alii, 1978).

Segundo FISCHER et alii (1984), no milho, a

influência do acúmulo da matéria seca total, no período crítico, o parcelamento da matéria seca para o desenvolvimento da espiga e os fatores que afetam a fertilidade das espiguetas são importantes na determinação do rendimento, mediante o controle do número de grãos.

Segundo Dow*, citado por FISCHER et alii (1984), a resistência de alguns híbridos de milho esteve também relacionada com menor área foliar e menor intervalo entre a antese e a emissão dos estigmas. Nos genótipos mais folhosos, o desenvolvimento foliar pode se dar em detrimento do crescimento da espiga em desenvolvimento. O intervalo de tempo entre a antese e a emissão dos estigmas aumenta sobre várias condições limitantes, como a seca e a alta densidade de semeadura. Esse atraso no desenvolvimento dos estigmas pode estar relacionado com o decréscimo de nitrato redutase, com redução do suprimento de assimilados ou outros fatores. JENSEN (1971) e DUVICK (1977) têm feito seleções visando reduzir o período entre a antese e a emissão de estigma sob altas densidades como uma maneira de obter materiais mais tolerantes ao estresse hídrico.

Genótipos que mostram tendência à prolificidade de espiga também têm maior tolerância a alta densidade e a

DOW, E.W. Resistance to drought and density stress in Canadian and European maize (*Zea mays* L.) hybrids. Ontario, 1981. (M.S. - University of Guelph).

condições de seca, uma vez que esse caráter contribui para diminuir a interação genótipo x ambiente, mediante a capacidade de ajustar-se melhor às pressões ambientais (HALLAUER & TROYER, 1972).

Segundo RUSSELL (1974), os ganhos de rendimento de milho devido ao melhoramento genético, indicam um aumento do potencial de rendimento. Os híbridos comerciais mais recentes têm um rendimento considerável em ambientes inferiores. Esse melhor comportamento em ambientes desfavoráveis, é devido à melhor qualidade do colmo e do sistema radicular oriundo de seleções iniciais, sob altas densidades de plantas e utilização de germoplasmas com maior estabilidade de rendimento. Uma análise do comportamento de alguns dos híbridos mais recentes demonstrou que as diferenças de rendimento nos ambientes mais limitantes foram em função de outros fatores e não do potencial de rendimento.

Segundo FISCHER et alii (1984), o melhoramento para a resistência à seca é muito mais rápido quando na seleção se utilizam mais caracteres além do rendimento de grãos por al. O uso de um índice de seleção baseado na alongação relativa da folha, no intervalo entre a deiscência do pólen e a emissão dos estigmas, na temperatura da folhagem, na perda de área foliar e no rendimento de grãos, sob condições de irrigação e seca, resultou num ganho máximo de rendimento de 7,5% por ciclo, sob condições de estresse hídrico, numa população de milho Tuxpeño-1.

Comparando características morfológicas e

fisiológicas de milho e sorgo, MARTIN (1930) verificou que: a) as folhas de sorgo possuem maior número de estômatos por unidade de área e estômatos de menor tamanho; b) as folhas e colmo de sorgo possuem epiderme cutinizada e cerosa, que reduz a evaporação; c) as plantas de sorgo têm menor número de folhas e maior número de raízes secundárias; d) a concentração osmótica do suco foliar é menor no sorgo, assim como é maior no suco do colmo e raízes; e) o colmo das plantas de sorgo tem menor conteúdo de água; f) o sorgo tem menor taxa de transpiração em condições de alta evaporação; g) as folhas do sorgo murcham e secam mais lentamente; h) as plantas de sorgo podem perfilhar, o que permite a recuperação da produção após um período de seca.

FISCHER et alii (1984) apresentam uma lista de caracteres que explicariam as diferenças entre as duas culturas a saber: densidade do sistema radicular, área de exploração do sistema radicular, potencial osmótico das raízes, resistência cuticular da folha, resistência dos estômatos, tamanho da folha e enrolamento, plasticidade de desenvolvimento, potencial hídrico sob turgescência zero, regulação osmótica, dissecação e tolerância ao calor. Desses caracteres apresentados, os autores citam como de maior importância para o caso de seca não prolongada as diferenças no potencial crítico de unidade (potencial de turgidez zero quando os estômatos se fecham) e a plasticidade de desenvolvimento.

O papel dos estômatos no controle da troca de

gases em resposta ao déficit hídrico é mostrado por vários autores. SANCHES-DIAZ & KRAMER (1971) compararam milho e sorgo quanto ao comportamento dos estômatos sob estresse hídrico severo e verificaram que os de milho fecharam muito antes e quando o potencial de água era mais alto do que os do sorgo. Os estômatos de ambas as espécies reabriam quando as plantas eram irrigadas; entretanto, o potencial hídrico e o déficit de saturação de água retornaram ao normal, mais lentamente em milho do que em sorgo. Eles verificaram que o milho perdia significativamente muito mais água do tecido, antes do completo fechamento dos estômatos do que o sorgo. Essa habilidade do sorgo em minimizar a perda de água dos tecidos, segundo HOFMANN et alii (1984), é característica de espécies resistentes à seca.

Em resposta ao declínio do potencial de água da folha, os estômatos de milho apresentam um rápido acréscimo da resistência estomatal em uma reduzida mudança do potencial hídrico, enquanto que em sorgo a resposta é gradual (BEADLE et alii, 1973). Segundo STOUT & SIMPSON (1978), o fechamento dos estômatos em sorgo não interferiu na transpiração ou troca de gases em plantas que não tinham sido irrigadas por um período de 9 semanas.

A distribuição do sistema radicular das plantas depende de vários fatores, tais como: o tipo de solo, nutrientes, fatores climáticos, características genéticas e práticas de cultivo. MAYAKI et alii (1976), avaliando diversas culturas em relação à distribuição do sistema radicular, sob

condições irrigadas e não irrigadas, em um mesmo tipo de solo e condições ambientais, observaram que, em milho irrigado, 64% das raízes se encontravam a uma profundidade de 0-30cm e 92% localizavam-se a 0-90cm de profundidade. Já o milho não irrigado apresentava 39% e 70% do sistema radicular, nas profundidades de 0-30cm e 0-90cm, respectivamente. As plantas de sorgo grânífero apresentavam 86% e 95% do sistema radicular nestas profundidades, respectivamente, quando eram mantidas sob irrigação. Quando as plantas foram mantidas sem irrigação, 79% e 91% do sistema radicular estavam distribuídas a 0-30cm e 0-90cm de profundidade, respectivamente.

Pesquisadores do Texas, EUA, têm dado grande ênfase à resistência do sorgo à seca. ROSENOW et alii (1983) identificaram duas fases distintas de estresse para fazerem seleção em condições de campo. Uma delas refere-se à fase de pré-florescimento ou estação precoce, correspondendo ao período que vai desde a diferenciação da panícula, ou próximo a ela, até o florescimento; a outra, é chamada de pós-florescimento ou estação tardia, e ocorre quando as plantas estão sob severo estresse hídrico, durante o estágio de enchimento dos grãos.

Sintomas da planta, indicando uma reação desejável ou indesejável nas duas fases podem ser facilmente visualizados em condições de campo. Os sintomas de suscetibilidade ao estresse hídrico na primeira fase incluem: enrolamento das folhas, folhas esbranquiçadas, maior inclinação das folhas, queimadura das pontas e margens das

folhas, atraso do florescimento, "efeito sela" (as bainhas da folha bandeira impedem a saída da inflorescência), inserção de panícula reduzida, secamento dos botões florais e da panícula (blast) e redução do tamanho da panícula (ROSENOW et alii, 1983).

Sintomas de suscetibilidade ao estresse hídrico pós-florescimento incluem a morte ou senescência prematura da planta (folhas e colmo), o acamamento do colmo, a predisposição à podridão do colmo, causada por *Macrophomina phaseolina*, e, algumas vezes, significativa redução do tamanho do grão, principalmente na base da panícula. A tolerância caracteriza-se quando as plantas permanecem verdes e há completo enchimento dos grãos (ROSENOW et alii, 1983).

Fontes excelentes de tolerância para cada tipo de estresse têm sido identificadas. Todavia, níveis altos dos dois tipos de tolerância não têm sido encontrados no mesmo genótipo, embora alguns genótipos possuam moderada tolerância simultânea. Muitos genótipos com excelente tolerância ao estresse hídrico pré-florescimento, são suscetíveis ao estresse hídrico pós-florescimento, embora o contrário também tenha sido identificado por ROSENOW et alii (1983).

Apesar de existirem muitos trabalhos sobre a resposta de planta ao estresse hídrico, o progresso na aplicação desses resultados de pesquisa em programas de melhoramento tem sido reduzido. A ausência de metodologia apropriada para uma seleção de grande número de materiais genéticos, tem sido a principal limitação para o uso de

características fisiológicas em programas de melhoramento. Há necessidade de simplificar as metodologias ou estabelecer associações entre caracteres fisiológicos e visuais (JORDAN & MONK, 1980).

As várias técnicas de seleção para resistência à seca podem ser agrupadas como diretas (agronômicas ou empíricas) ou indiretas (caracteres fisiológicos ou analíticos). A seleção direta para resistência implica numa seleção para performance absoluta (produção ou taxa de crescimento) sob condições de estresse hídrico ou numa seleção para somente uma pequena redução na performance sob estresse. A seleção indireta implica "screening" para características morfológicas ou fisiológicas, que podem ser correlacionadas com as que contribuem para resistência à seca.

A complexidade da propriedade de resistir à seca tem levado os pesquisadores a darem mais importância à seleção empírica, apesar de a seleção indireta, no campo ou sob condições controladas, ser muito útil. Para estabelecer a utilidade de tais adaptações ao estresse hídrico, é essencial praticar seleção direta em condições de campo e obter estimativas da produtividade. Para avaliação de um grande número de germoplasmas, a seleção em campo é prioritária. Os materiais selecionados são sujeitos a testes individuais, para que os diversos componentes e mecanismos específicos que contribuem para a resistência ao estresse possam ser identificados e melhor entendidos. Durante as etapas de seleção, os dois processos são complementares e não

mutuamente exclusivos (SEETHARAMA et alii, 1983).

2.4. Interação genótipos x ambientes

A diferença de comportamento das espécies ou mesmo de variedades dentro de uma espécie, em diferentes ambientes, é uma constante preocupação dos melhoristas de plantas. A grande ocorrência de interação genótipo e ambiente levanta a importante questão do seu aspecto evolucionário.

Uma vez que, neste trabalho, estima-se o potencial de risco baseado nos desvios ambientais, justifica-se a revisão da interação genótipos x ambientes com o objetivo de verificar a sua influência sobre o comportamento da cultura do sorgo.

O ambiente, como é definido pelo melhorista, inclui as influências integradas de todas as variáveis não genéticas que afetam a expressão fenotípica de um dado genótipo. ALLARD & BRADSHAW (1964) agrupam as condições ambientais, que influenciam na expressão do genótipo, em duas categorias: a) previsíveis - são as variações ambientais próprias de cada região, tais como, o clima, o solo, e o fotoperíodo. Também neste grupo, estão aquelas influenciadas pelo homem, tais como, a época de plantio, a adubação, as práticas culturais etc; b) imprevisíveis - são aquelas variações do tempo em uma mesma região, que não podem ser exatamente conhecidas com antecedência, tais como, a

temperatura, a distribuição de chuvas etc.

A interação genótipos x ambientes é importante para o melhorista de plantas devido ao efeito de confundimento que ela introduz nas comparações entre genótipos testados em vários ambientes. O estudo dessa interação tem sido feito de diferentes maneiras, tais como, utilização de componentes de variância, a regressão, métodos de análise multivariada e técnicas envolvendo variações ambientais.

As condições climáticas variam dentro de um mesmo local assim como de um local para outro. Essas variações afetam as plantas mais em determinado estágio do que em outro. Genótipos que diferem em maturação são favorecidos pelas condições ótimas durante o seu desenvolvimento. Nem todos os genótipos, dentro de um grupo de maturação, mostram resposta similar a uma mudança de ambiente, devido às suas diferenças genotípicas (SAEED & FRANCIS, 1984).

Segundo SAEED & FRANCIS (1984), os fatores ambientais, tais como a temperatura e a precipitação, são importantes na determinação da performance produtiva de genótipos de sorgo, embora sua importância varie entre grupos de maturação e estádios de desenvolvimento da planta. Informação sobre os fatores ambientais que contribuem para a interação genótipos x ambientes ajuda o melhorista a entender a natureza dessas interações e decidir sobre as técnicas de melhoramento para desenvolver cultivares de sorgo estáveis, que possam melhor tolerar as variações climáticas.

SAEED & FRANCIS (1984) avaliaram a contribuição

relativa de alguns fatores climáticos, durante vários estádios de crescimento de plantas de sorgo granífero, de diversos grupos de maturação. A temperatura foi o mais importante fator ambiental, afetando a produção e o número de sementes, mas o peso de sementes foi grandemente afetado pela precipitação, no segundo período. Entretanto, a extensão com que essas variáveis contribuam para as respostas genotípicas aos ambientes variaram entre grupos de maturação e estádio de crescimento. Efeitos de temperatura e precipitação no período GS2 (iniciação da panícula até antese) e GS3 (antese até maturação fisiológica) foram altamente associados com efeitos da interação genótipos x ambientes sobre a produtividade, em todos os grupos de maturação. Geralmente, a temperatura mínima foi mais importante do que a temperatura máxima, para as cultivares precoces e tardias. A variação nos fatores ambientais contribuam mais para a variação da produtividade nos genótipos tardios do que nos outros tipos.

Segundo VENCovsky (1987), a magnitude da interação genótipos x ambientes dependerá dos materiais genéticos avaliados e das condições ambientais em que esses materiais serão testados. Ainda segundo o mesmo autor, a interação genótipos x ambientes é devida à diferença na variabilidade genética do material, dentro dos ambientes, e devida à falta de correlação entre o material genético, de um ambiente para outro. Entende-se que pode haver interação mesmo na presença de alta correlação.

Uma variedade ideal é aquela que combina alta

produtividade e estabilidade. LEWIS (1954) chamou de estabilidade fenotípica a habilidade de um indivíduo ou de uma população em apresentar reduzido número de fenótipos em diferentes ambientes; DOBZHANSKY & WALLACE (1953) a chamaram de homeostase. A estabilidade é de alta importância para culturas que estão sujeitas a flutuações climáticas. Estabilidade e adaptabilidade são termos usados muitas vezes com o mesmo objetivo, porém não são idênticos, embora sejam relacionados. Segundo VENCovsky & BARRIGA (1990), a adaptação de cultivares conduz à estabilidade e é a base para a estabilidade geral, mas não é estabilidade de per si. VENCovsky & TORRES (1988) chamaram de adaptabilidade a capacidade de uma população ou variedade de ajustar seus mecanismos genéticos às flutuações ambientais, ou seja, as devidas a diferentes locais, práticas de cultivo e manejo; a estabilidade sendo a habilidade de uma população de manter sua adaptação através do tempo, ou seja, em diferentes épocas ou anos. Esta última é a que mais interessa ao agricultor. A estabilidade é uma característica sob controle genético e de herdabilidade menor do que a produção de grãos (VENCovsky, 1987; TORRES, 1988). EBERHART & RUSSELL (1966) utilizaram o parâmetro b , ou seja, a regressão da produtividade de um cultivar sobre os índices ambientais, para mostrar a adaptabilidade de cada cultivar avaliada, sendo que a estabilidade era definida pelos desvios da regressão.

Um dos fatores que exerce grande influência na estabilidade de uma população é a sua base genética (SAXENA &

MURTY, 1974). A diversidade genética de uma população é de grande importância quando se deseja reduzir as interações genótipo x ambiente desfavoráveis, mesmo que seus mecanismos não sejam completamente entendidos (ALLARD & BRADSHAW, 1964).

As causas da estabilidade no rendimento, segundo HEINRICH et alii (1983), não são bem conhecidas, e os mecanismos fisiológicos, morfológicos e fenológicos que concedem estabilidade são diversos. Os mecanismos desta estabilidade pertencem a quatro categorias gerais: heterogeneidade genética, compensação dos componentes da produção, tolerância ao estresse e capacidade de recuperação após estresse.

Estes mesmos autores, avaliando a produtividade e componentes de produção de materiais genéticos de sorgo granífero, em diversos ambientes em Nebraska e Kansas, EUA, observaram diferenças genotípicas para a estabilidade de produtividade. Notaram que um alto potencial produtivo e a estabilidade não são mutuamente exclusivos. Os dois genótipos mais produtivos mantiveram a vantagem produtiva praticamente em todos os locais, através da manutenção de todos os componentes de produção (panícula/m, sementes/panícula, peso de semente). Uma vez que os genótipos estáveis mantiveram maiores níveis de todos os componentes de produção nos ambientes desfavoráveis, sugere-se que uma melhor tolerância a condições de estresse e não compensação de componentes da produção foi o principal mecanismo de estabilidade de produção nesses genótipos e ambientes.

PATEL et alii (1984), avaliando a estabilidade fenotípica de caracteres da panícula em sorgo granífero, verificaram diferenças genéticas altamente significativas na produtividade de grãos e no número de grãos/panícula. Os genótipos foram significativamente diferentes em todos os caracteres; diferenças ambientais foram observadas em todos eles, com exceção do peso de 1.000 grãos. Observaram igualmente que os mais estáveis também produziram híbridos com maior estabilidade e potencial produtivo.

Com o advento do melhoramento de populações de sorgo, estão sendo utilizados métodos de seleção recorrente. O sucesso da seleção recorrente depende da produtividade e da estabilidade da população base na qual o método está sendo aplicado. KOFOLD et alii (1978) avaliaram, em cinco ambientes, quatro populações, seis híbridos e dois híbridos comerciais quanto à produtividade e estabilidade. Embora nenhum grupo tenha sido significativamente mais estável, os híbridos comerciais foram mais produtivos e apresentaram coeficiente de regressão para o rendimento em um índice ambiental mais próximo da unidade; entretanto, os desvios de regressão foram significativamente maiores que o erro. Os cruzamentos das populações apresentaram o segundo maior rendimento e coeficiente de regressão, o menor desvio de regressão e maior variância genética e foram considerados pelos autores como mais estáveis.

REICH & OTKINS (1970), avaliando o comportamento de oito linhagens, 16 híbridos simples, 16 misturas contendo

duas linhagens cada uma e 16 misturas contendo dois híbridos simples cada uma, observaram que as misturas de híbridos foram as mais produtivas e mais estáveis, apesar de que nenhuma população foi distintamente superior em todos os parâmetros. As misturas avaliadas nesse experimento foram compostas de híbridos e variedades selecionadas em plantios chamados de puros. Muitas das misturas poderiam ser indesejáveis devido à uniformidade de maturação e a altura de planta. Mesmo assim, a performance das misturas como um grupo, principalmente as misturas de híbridos, possibilita a utilização do potencial produtivo e da estabilidade de populações heterogêneas de sorgo granífero.

Evidências de que híbridos triplos são mais estáveis do que híbridos simples têm estimulado o interesse pelo estudo do comportamento e do potencial destes materiais. Uma performance estável em diferentes ambientes pode ser o resultado da heterogeneidade dentro da população ou ser característica de um genótipo específico. Uma vez que um híbrido simples é uma população homogênea, ele pode depender inteiramente do seu tamponamento individual para resposta a diversos ambientes; já o híbrido triplo depende dos tamponamentos individual e populacional.

ROSS (1969), avaliando híbridos triplos e simples relacionados, observou, em condições semi-áridas do Kansas, EUA, que os dois tipos de híbridos não diferiram em produtividade. Houve porém diferenças significativas em 2 dos 4 anos pesquisados. Os híbridos triplos produziram menos que

os simples em um ano desfavorável, mas foram mais produtivos em um ano caracterizado por altas produções. As variâncias dos cruzamentos triplos e dos triplos agrupados de acordo com o parental feminino foram menores do que os cruzamentos simples.

JOWETT (1972) avaliou a estabilidade de híbridos simples, triplos e linhagens endogâmicas de sorgo granífero. Comparando os coeficientes de regressão de produção em índices, observou que os híbridos foram mais estáveis, mas não encontrou diferenças entre cruzamentos simples e triplos. Entretanto, os desvios da regressão indicaram que os híbridos triplos tiveram tendência de maior estabilidade do que os cruzamentos simples.

A vantagem potencial da heterogeneidade genética presente nos híbridos triplos, segundo PATANOTHAI & ATKINS (1974b), é muito maior que a pequena diferença de estabilidade em relação aos híbridos simples. Apesar de acentuada variação na produção entre os diversos ambientes, não houve ocorrências sérias de períodos de estresse hídrico ou de doenças e pragas. Segundo os autores, onde ocorreu estresse dessa natureza a diversidade genética dos híbridos triplos pode ser um meio efetivo para diminuir a vulnerabilidade de sorgo à redução do rendimento devido às incidências de pragas e doenças.

Os fatores determinantes das performances diferenciais das variedades em diferentes locais não são claramente entendidos, mas, segundo KAMBAL & MAHMOUD (1978), a distribuição de chuvas e o ciclo das variedades são muito importantes. Em locais onde o período chuvoso for

relativamente curto, variedades de ciclo longo provavelmente não terão bom comportamento, devido ao estresse hídrico durante o período de enchimento dos grãos. Por outro lado, chuvas pesadas durante o florescimento e enchimento do grão depreciam a produção, devido a condições inadequadas de polinização, alta incidência de pragas e doenças e baixa luminosidade.

RANA et alii (1972), avaliando a performance e a estabilidade de vários materiais genéticos de sorgo granífero, em 82 locais da Índia, observaram que os híbridos foram superiores em produtividade e mais estáveis. Concluíram que a superioridade geral e o período de maturação foram os fatores determinantes da adaptabilidade dos diversos materiais, muito mais do que limitações geográficas ou regionais. RAO & HARINARAYANA (1970) observaram que Swarna, uma variedade melhorada, foi superior aos híbridos somente em algum ambiente mais favorável. As variedades locais foram menos produtivas e de menor estabilidade. O tamponamento individual, presentes nos híbridos, parece ter conferido vantagem comparativa sobre as variedades, principalmente sobre condições de estresse.

LIRA et alii (1989) avaliaram a performance de treze linhagens e oito híbridos de sorgo granífero, em dez ambientes do Nordeste brasileiro. Eles concluíram que a linhagem IPA 7301011 e o híbrido BR 300 devem ser recomendados para o plantio naquelas áreas, uma vez que mostraram maior produtividade e estabilidade de rendimento de grãos e massa verde.

Em países ou em determinadas regiões como o Nordeste brasileiro, onde a indústria de semente não é desenvolvida, variedades altamente produtivas, se disponíveis, têm óbvias vantagens do ponto de vista de multiplicação e rápida difusão. Entretanto, a experiência comercial com híbridos sugere que estes são geralmente vantajosos, particularmente sob condições de estresse, devido às suas propriedades homeostáticas superiores (RAO, 1972; DOGGETT, 1972; VENTURA, 1979).

Interações variedades x locais x anos significativas, encontradas por KAMBAL & MAHMOUD (1978) e outros autores, indicam que variedades de sorgo frequentemente mostram respostas diferenciais quando cultivadas em diferentes ambientes, havendo necessidade de testes em vários locais numa série de anos.

Onde os custos dos ensaios em diferentes locais são maiores, principalmente onde os recursos para pesquisa são limitados, os diferentes locais, segundo SCHUTZ & BERNARD (1967); RAO (1970) e PATERNIANI (1986), poderão ser substituídos por anos, e o efeito de anos poderá ser avaliado em diferentes épocas de sementeira.

O comportamento dos materiais genéticos junto com os dados sobre a interação genótipos x ambientes levou RAO (1970) a concluir que o sorgo poderá ser melhorado por áreas de maturação, que são determinadas por fatores edafoclimáticos e não por áreas limitadas por estado ou outras barreiras geográficas. A avaliação de materiais em um número adequado de

localidades, dentro de uma área de maturação é preferencial em relação à zona geográfica. Isto poderá, segundo RAO (1970), eliminar as barreiras artificiais para adaptabilidade, pelo menos durante uma estação, e possibilitará o desenvolvimento de híbridos com maior adaptabilidade.

2.5. Perfil da pesquisa e da produção do sorgo no Brasil

Apesar de ser considerada uma cultura de importância recente no Brasil, o sorgo é cultivado no Nordeste, desde o século XIX, quando foi trazido por escravos. Existem referências sobre o cultivo, origem, regiões de adaptação, utilização, práticas culturais e recomendação de cultivares para a produção de grãos, forragem, xarope (melado) e vassoura, desde o início deste século, em um Boletim editado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1918; CASTRO, 1932).

CASTRO (1932) mostrou o potencial de rendimento dos principais tipos de sorgo. Para a produção de feno, os níveis alcançados poderiam variar de 20 a 30 t/ha de colmos; para forragem verde, de 30 a 60 t/ha; para grãos, de 2 a 4 t/ha e para sorgo vassoura, a produtividade de grãos variava de 0,8 a 1,2 t/ha. Entretanto, tal cultura não se expandiu significativamente, em razão da presença do milho, um cereal de excelentes qualidades e de influência marcante nos hábitos da população brasileira.

A cultura do sorgo passou a ser explorada de forma racional e econômica principalmente, a partir de 1970. Quatro tipos de sorgo vêm sendo comumente cultivados: o granífero, o forrageiro, o sacarino e vassoura.

O sorgo granífero sobressai-se dos demais em relação à área cultivada, ao nível tecnológico utilizado, bem como nos sistemas de produção, nas regiões onde é cultivado.

O grão é essencialmente utilizado na formulação de rações para aves, suínos e bovinos. A pequena parcela destinada ao consumo humano está regionalmente concentrada no Nordeste Brasileiro. A maior oportunidade de uma expansão generalizada dessa utilização verifica-se, contudo, com as recentes reduções dos subsídios governamentais ao trigo, que oferecem margem a produtos potencialmente alternativos na indústria de panificação. As informações hoje existentes indicam que a farinha de sorgo pode ser utilizada na fabricação de pão, com a participação de até 15%, e em biscoitos, bolos e massa, até 50% (EMBRAPA, 1987).

Os dados estatísticos sobre a produção brasileira de sorgo granífero são precários. Os dados oficiais publicados na Anuário Estatístico do Brasil-IEGE mostram que 249.123 toneladas de grãos foram produzidas em uma área colhida de 146.904 hectares, no ano de 1973, com rendimento médio nacional de 1.696 kg/ha. Nesse ano, a região Sul foi responsável por 88,89% da quantidade produzida, seguida pela região Sudeste (6,85%), Centro-oeste (2,44%) e Nordeste (1,81%). Quanto à área colhida, a região Sul era responsável,

em 1973, por 92,90%, Sudeste (3,03%), Nordeste (2,17%) e Centro-Oeste (1,90%), conforme as Figuras 2 e 3.

Segundo o Anuário Estatístico do Brasil (1988), a produção estimada de sorgo granífero, em 1988, foi de 344.600 toneladas de grãos, em uma área de 192.100 hectares, com um rendimento médio de 1.794 kg/ha, conforme se observa na Figura 1.

Analisando o período de 1973/1988, houve um acréscimo médio da área colhida de sorgo granífero no Brasil, de 5,42% ao ano, enquanto que a quantidade produzida aumentou 7,61% ao ano. O mesmo não ocorreu com o rendimento médio, que durante o período foi de 2.000 kg/ano, com uma média de aumento de 1,61% ao ano. Apesar de o país possuir excelentes condições para a expansão da cultura, durante o período, diversos fatores limitaram o seu crescimento, em área cultivada e quantidade produzida. Dentre os diversos fatores, destacam-se a falta de sementes de cultivares adaptados e a imagem que acompanhou a cultura durante a sua introdução, além da falta de uma infraestrutura adequada ao armazenamento e à comercialização do produto. Em 1977, verificou-se uma significativa reação da quantidade produzida e da área colhida, associada ao rendimento médio mais alto alcançado no período de 1973/88, correspondendo a 2.449 kg/ha de grãos. Os incrementos passaram a ser significativos a partir de 1980, coincidindo com os períodos de maior disponibilidade de sementes no mercado.

Os rendimentos alcançados com a cultura no País

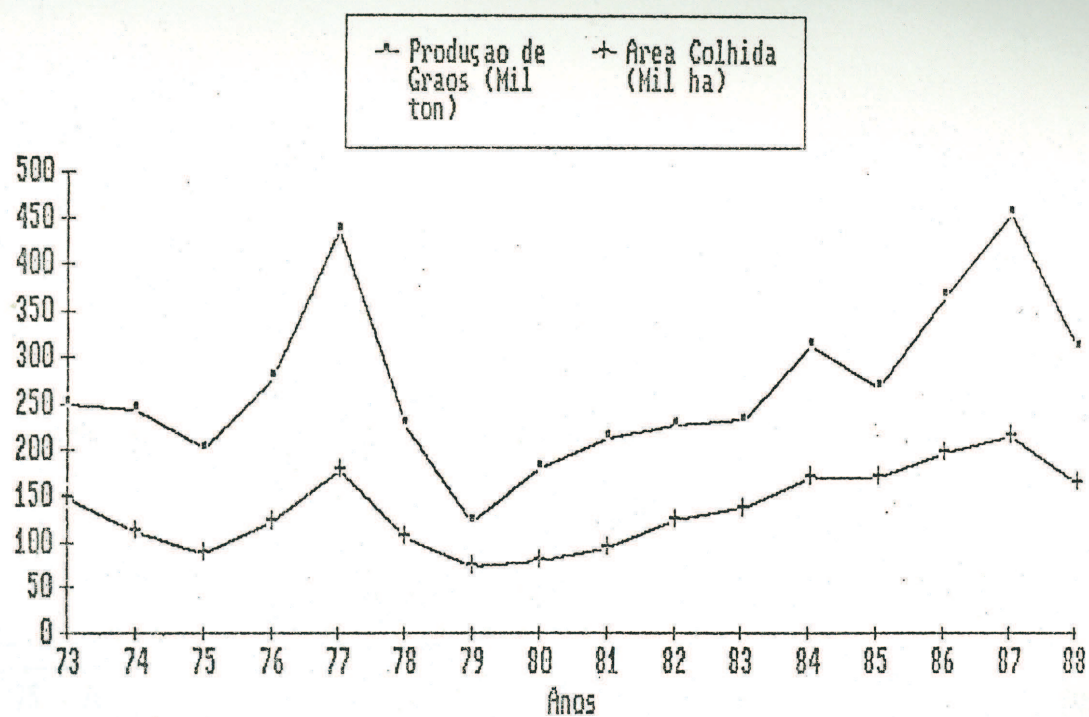


Figura 1. Área colhida e quantidade produzida de sorgo granífero no Brasil, no período 1973 a 1988.

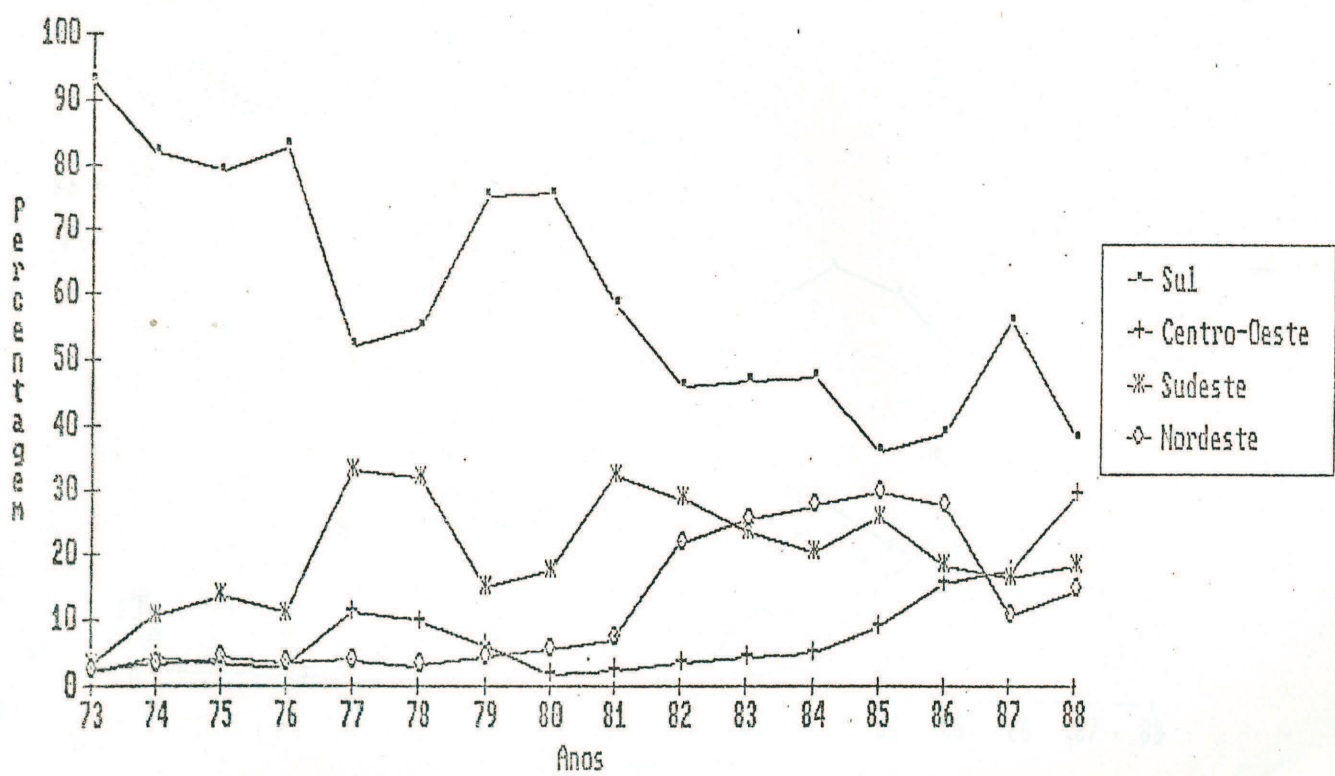


Figura 2. Participação percentual de cada Região na área colhida, com a cultura de sorgo granífero no Brasil.

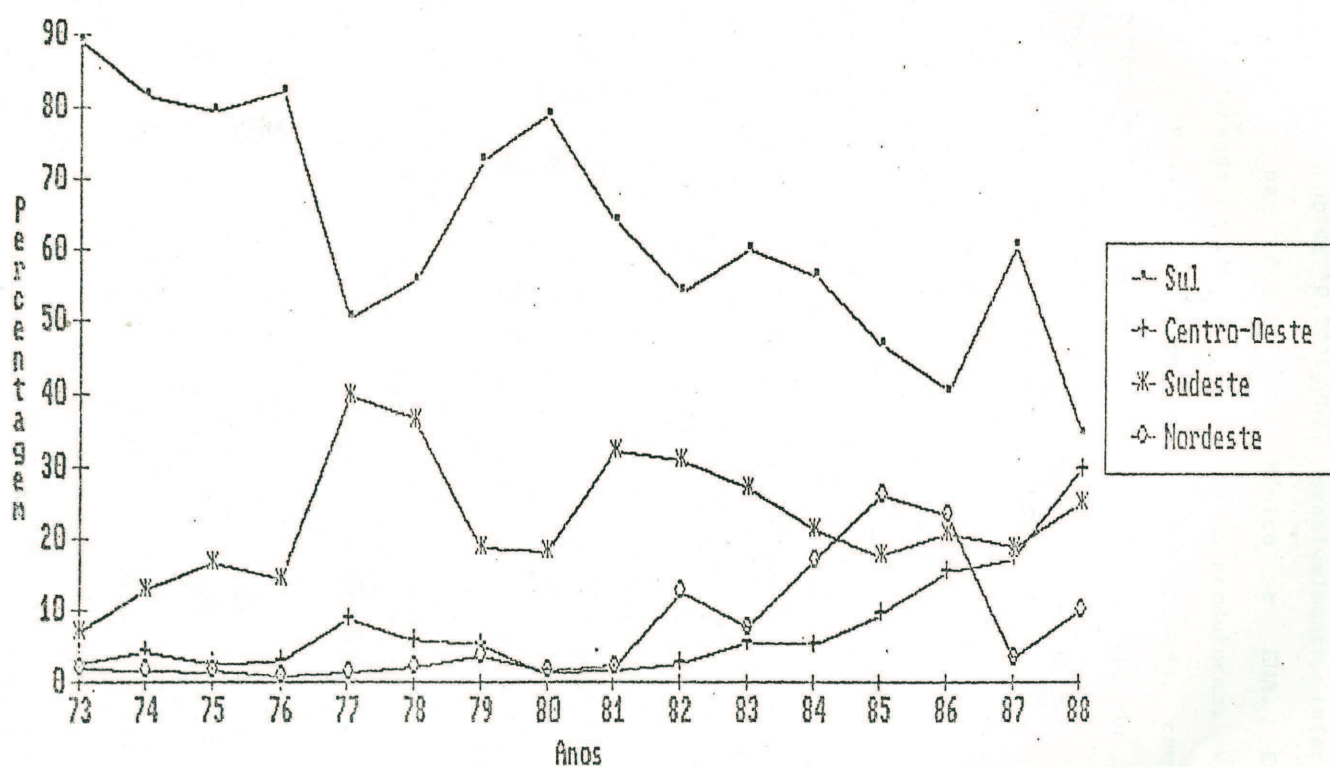


Figura 3. Participação percentual de cada região na quantidade produzida, com a cultura de sorgo granífero, no Brasil.

estão em torno de 2.000kg/ha, sensivelmente inferiores aos obtidos na Argentina, México e EUA. Entretanto, considerando-se os principais Estados produtores, verifica-se que o Paraná apresenta uma média elevada, com cerca de 3.200kg/ha, seguido por São Paulo, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás.

A região Sul do Brasil, que em 1973 era responsável por 92,90% e 88,89% da área colhida e quantidade produzida, respectivamente, em 1988, apesar de maior produtora, somente produziu 34,82%, representando 38% da área colhida, no Brasil. No Rio Grande do Sul, o cultivo concentra-se principalmente na Região Sudeste e das Campanhas. Na primeira, localiza-se o município maior produtor nacional, Bagé. Ali, o déficit hídrico é bastante acentuado, apesar de que favoreceu o estabelecimento da cultura e sua expansão, uma vez que esse é limitante a outras culturas. Mais recentemente, no Sudeste e na região das Terras Baixas, o sorgo vem sendo plantado em áreas tradicionais de arroz, onde verificam-se fortes infestações por arroz vermelho, séria invasora da cultura.

A Região Sul, maior produtora durante o período de 1973/88, apresentou pequena taxa de acréscimo médio da área colhida, de 0,85%/ano, e quantidade produzida, de 3,97%/ano. O rendimento médio da cultura nessa região foi de 2.114 kg/ha, com uma taxa de acréscimo da ordem de 1,61%/ano.

A Região Sudeste que, em 1973 era responsável por 4,85% da quantidade produzida e 3,02% da área colhida no

Brasil, passou em 1988 ao nível de 25,25% e 18,27% do total nacional. Analisando a taxa de crescimento médio da cultura na Região, durante o período, observou-se um acréscimo médio de 30,86%/ano e 34,36% em relação à área colhida e quantidade produzida no período de 1973/88. Um aspecto importante é que a região Sudeste apresenta maior taxa de rendimento médio do país, em torno de 2.406 kg/ha.

Durante o período de 1973/88, observou-se considerável acréscimo na área colhida (54,54%/ano), e quantidade produzida (52,62%/ano), na Região Centro-Oeste. Em 1973, 1,90% da área colhida com sorgo no país estava nessa Região. Já em 1988, essa Região era responsável por cerca de 29% da área colhida e quantidade produzida, apesar de que o rendimento médio, 1.818 kg/ha, fosse inferior à média nacional.

A quantidade produzida e a área colhida de sorgo na região Nordeste aumentou cerca de 31,76%/ano e 59,07%/ano, nos últimos quinze anos, considerando-se o período de 1973/88. O rendimento médio apresentou uma taxa de acréscimo anual de 13,93% no mesmo período. Ademais, a Região, em 1988, foi responsável por 10% da quantidade de grãos de sorgo produzida no País. Os Estados que se destacaram foram a Bahia, o Rio Grande do Norte, o Ceará e Pernambuco. Nessa Região o cultivo do sorgo se dá essencialmente em consórcio com o feijão macassar (*Vigna sp*), a mamona ou algodão. Todavia, sua expansão tem sido limitada devido às dificuldades na condução da própria cultura, aliadas a fatores como o processamento, o

armazenamento e a comercialização dos grãos. Durante o período de 1973/1988, a Região Nordeste do Brasil apresentou o menor rendimento médio do país com 1.029 kg/ha.

A comercialização tem sido o maior obstáculo ao desenvolvimento da cultura de sorgo no Brasil. Sua baixa relação valor/peso tem dificultado seu transporte, reduzindo sua prioridade na ocupação de secadores, armazéns e silos. Esse fato é agravado por ser o sorgo consumido basicamente em indústrias de rações, que influenciam de maneira decisiva o controle do mercado. Além disso, algumas indústrias colocam uma série de empecilhos à sua utilização, tais como, o alto teor de tanino, o equipamento, problemas de formulação, a garantia de fornecimento de matéria-prima, entre outros, restringindo ainda mais o seu mercado potencial.

Atualmente, com o estabelecimento do preço mínimo do sorgo em 70% do preço do milho, poderá haver um estímulo ao aumento da demanda. O produtor porém poderá sentir-se penalizado e, certamente, tentará uma alternativa mais produtiva.

A cultura do sorgo estabeleceu-se no Brasil com base em informações provenientes de resultados obtidos principalmente dos EUA, e, posteriormente, adaptados às nossas condições. A introdução de híbridos contribuiu, de maneira significativa, para sua expansão, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, apesar de que os híbridos disponíveis não aproveitaram plenamente a capacidade potencial de produção, uma vez que eram produzidos e selecionados para

condições diferentes daquelas encontradas nessas Regiões.

Na Região Nordeste, onde sempre predominou a utilização de variedades, a sua participação na área colhida inicialmente não chegou a ser expressiva. No entanto, um programa de pesquisas se iniciou no Ceará, em 1970, com o objetivo de introduzir novas variedades, melhorá-las e produzir híbridos superiores, assim como avaliar diversos sistemas de produção adaptados à Região. Em março de 1970, 400 linhagens de sorgo foram introduzidas da Universidade de Purdue, onde foram selecionadas oito linhagens grâníferas e duas forrageiras. Dentre os materiais introduzidos, a variedade EA-955, conhecida como Serena, originária de Uganda, apresentou excelente produtividade de grãos e foi indicada para cultivo. Por outro lado, EA-116 foi recomendada como variedade forrageira (BRASIL, 1980).

Em face dos resultados alcançados e das excelentes perspectivas apresentadas pela cultura, ampliou-se o programa em todos os Estados do Nordeste, envolvendo os Estados do Ceará e Pernambuco como polos de difusão de tecnologia. A Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) executa, desde 1973, o programa mais abrangente com a cultura do sorgo no Nordeste Brasileiro, concentrando seus esforços no desenvolvimento de tecnologias para a condução da cultura nas condições do Semi-Árido e, também, na introdução e melhoramento de novos materiais genéticos de sorgo grânífero, inclusive para consumo humano e forrageiro. A Empresa já lançou diversas variedades, destacando-se o IPA 1219,

ferrageiro, e IPA 1011, granífero (BRASIL, 1979; BRASIL 1980).

Na Região Sul, o Centro de Pesquisa Agropecuária de Terras Baixas de Clima Temperado, da EMBRAPA, localizado em Capão do Leão, RS, é a Unidade que mais pesquisa o produto. Esforços tem sido concentrados principalmente no desenvolvimento e aprimoramento de sistemas de produção e na avaliação de materiais genéticos. Esses trabalhos estão sendo conduzidos junto com a Universidade Federal de Pelotas, desde 1975, e já contam com linhagens muito promissoras (VENCOVSKY, 1986; REUNIÃO, 1985; REUNIÃO, 1986; REUNIÃO, 1987).

No Sudeste, em 1973, o Ministério da Agricultura instalou junto ao Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste-IPEACO, o Projeto Nacional de Milho e Sorgo, que tinha como objetivo desenvolver tecnologia brasileira para a produção do sorgo. Em 1976, esse projeto foi anexado ao Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, contando com especialistas desenvolvendo parte do Programa Nacional de Pesquisa de Sorgo. Esse programa visava principalmente a introdução e desenvolvimento de novas cultivares de sorgo granífero e ferrageiro, buscando adaptá-las aos vários sistemas de manejo e produção (EMBRAPA, 1981).

O programa do CNPMS/EMBRAPA iniciou com a introdução de materiais genéticos de programas de melhoramento de sorgo dos EUA e da Índia (ICRISAT). O CNPMS lançou vários híbridos graníferos considerados como os mais competitivos no mercado nacional.

Dentre os híbridos graníferos lançados pela

CNPMS, destacam-se os BR 300, BR 303 e BR 304. O cultivar BR 300 apresenta as seguintes características: precoce (ciclo até maturação - 125 dias), altura de planta: 150 cm, panícula semi-aberta, grão vermelho, endosperma amarelo e semi-duro, resistente à antracnose, helmintosporiose, ferrugem, e ao acamamento, moderadamente resistente à cercosporiose e míldio, rendimento médio, 4 a 6 t/ha, recomendado para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte. O cultivar BR 303 apresenta grãos vermelhos, endosperma amarelo e semi-duro, panícula semi-aberta, precoce (ciclo até maturação - 125 dias), moderadamente resistente à antracnose e cercosporiose, suscetível à ferrugem, resistente à helmintosporiose e acamamento, tem rendimento médio em plantio de verão de 6,9 t/ha e, em plantio em sucessão de 5,6 t/ha, altura de planta, 165cm, é recomendado para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. O cultivar BR 304 apresenta característica de precocidade (119 dias para maturação), panícula semi-aberta, endosperma amarelo e semi-duro, é moderadamente resistente à antracnose, moderadamente suscetível à cercosporiose e ferrugem, resistente à helmintosporiose e acamamento, produtividade média de 5,3 t/ha em plantios de verão e, em sucessão, altura de plantas de 130cm, sendo recomendado para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

As linhas de pesquisa com sorgo destinado ao consumo humano têm sido direcionadas para a identificação de genes que controlam a qualidade, com agentes brancos e tanino. O CNPMS está avaliando, em testes avançados, vários

híbridos experimentais destinados ao consumo humano.

A área de Cerrados no Brasil é muito vasta, abrangendo 25% do território nacional, com grande potencial de expansão da cultura do sorgo. Nessa região, além da ocorrência do veranico, ocasionando estresse hídrico, é comum a presença de alumínio nas camadas superficiais. No processo de obtenção de cultivares tolerantes à toxicidade de alumínio, utiliza-se a metodologia desenvolvida no CNPMS, que adota como característica, para comparação entre genótipos, o comprimento relativo da raiz seminal no nível de saturação desejado. Atualmente, as avaliações para essa característica estão sendo realizadas em condições de campo, tendo em vista a alta correlação positiva entre os resultados obtidos nessas condições e os obtidos em casa de vegetação. Um dos critérios utilizados nas avaliações de campo é o índice de colheita. As linhagens tolerantes estão sendo aproveitadas na obtenção de linhagens restauradoras e macho-estéreis para produção de híbridos, além do desenvolvimento de população com tolerância a toxicidade de alumínio (EMBRAPA, 1987; BORGONOVÍ et alii 1982; FURLANI et alii 1987; BORGONOVÍ et alii 1987; FURLANI & BASTOS 1988).

Considerando-se a importância da antraxnose e a variabilidade apresentada pelo agente causal *Colletotrichum graminicola*, nas condições brasileiras, o CNPMS desenvolveu um sistema para identificação e nomenclatura de raças desse patógeno, com base em características diferenciadas. A resistência é dominante e de herança simples. Atualmente, procura-se

identificar fontes de resistência horizontal, em condições de campo. (FERREIRA & WARREN 1982, CASELA & FERREIRA 1986; CASELA & FERREIRA 1987; EMBRAPA 1987).

O sorgo é marcadamente suscetível ao vírus do mosaico da cana-de-açúcar (VMCA), além de ser o hospedeiro do pulgão do milho (*Ehopalosiphum maidis*) e pulgão verde (*Schizaphis graminum*), vetores desse vírus. Estudos da herança da resistência do vírus, em materiais comerciais e em linhagens elite, indicaram a dominância monogênica da reação de resistência e identificaram a cultivar QL-3 como imune ao vírus. Apresenta grande potencial genético para o programa de melhoramento, visando a imunidade ao patógeno (PINTO, 1984; EMBRAPA, 1986; EMBRAPA 1987).

O pulgão verde, *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852), é considerado uma das principais pragas do sorgo no mundo. No Brasil, este inseto foi constatado em vários locais e tem causado prejuízos consideráveis. A utilização de cultivares resistentes tem sido considerada como sendo o método mais eficiente no controle do inseto. Realizou-se estudos de identificação de fontes de resistência, e verificou-se que a resistência é dominante, monogênica e de alta herdabilidade. Foram identificados vários genótipos resistentes, encontrando-se em andamento a incorporação da característica em linhagens elite suscetíveis (EMBRAPA, 1987; CRUZ, 1986; GALLI et alii, 1981).

Uma linha de pesquisa que se tem destacado é o melhoramento de sorgo para qualidade nutricional, tanto para

alimentação humana quanto animal (grãos e forragem). Os trabalhos desenvolveram-se no CNPMS/EMBRAPA, CNPGL/EMBRAPA, CTAA/EMBRAPA, ITAL e Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA, possibilitando a obtenção de variedades e híbridos com elevado potencial de rendimento de grãos e farinha. Esta tem participado na composição de misturas em testes na indústria de panificação. Os testes de digestibilidade e proteína, principalmente, têm mostrado o potencial do grão e da forragem de sorgo na alimentação de suínos, aves e bovinos substituindo o milho parcial ou totalmente como energética nas formulações de rações.

O Ensaio Nacional de Sorgo é um sistema cooperativo anual de ensaios, estabelecido para avaliar cultivares de sorgo desenvolvido por programas de melhoramento de instituições públicas e privadas. CNPMS/EMBRAPA coordena esses ensaios, nos quais são avaliados cultivares de sorgo grãoífero e forrageiro.

Os ensaios foram iniciados em 1965, com nove híbridos e três variedades testados em quatro ambientes. Os níveis de produtividade variaram de 1.353 a 3.731 kg/ha (média de quatro locais), atingindo um rendimento máximo de 5.379 kg/ha de grãos em Pelotas, RS. Atualmente esses ensaios representam, praticamente, as principais regiões fisiográficas do território nacional e deles participam cerca de 50 instituições. Cada unidade experimental avalia 36 híbridos grãoíferos comerciais no Ensaio Nacional de Sorgo.

Analisando-se os resultados obtidos durante o

período de 1975/1988 (Figura 4), verifica-se a existência de cultivares altamente produtivos. Entretanto, comparando-se as produtividades obtidas no Brasil, em lavoura, verifica-se que seus níveis estão muito aquém dos alcançados nesses ensaios, até mesmo com relação à média anual (média de todos os locais e cultivares), em que participam também cultivares de baixo potencial produtivo. Essas observações indicam que a participação do melhoramento tem sido significativa no que se refere à procura de alto potencial de rendimento. No entanto, o progresso obtido não está contribuindo para o aumento da produtividade nacional, que se mantém em níveis relativamente baixos. Isso conduz a uma revisão dos fatores que influenciam o desenvolvimento cultural do sorgo no País, principalmente o do nível de tecnologia empregada.

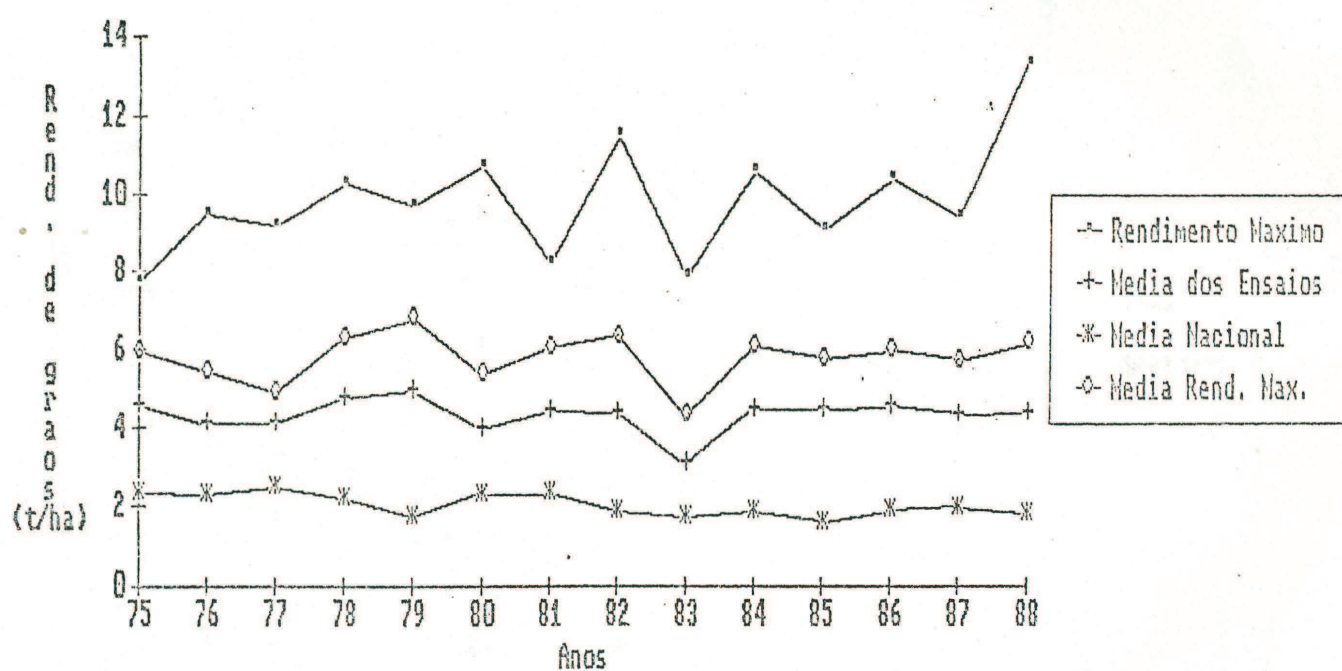


Figura 4. Rendimento de grãos (t/ha) obtidos nos Ensaios Nacionais de Sorgo Granífero, no período 1974/75 a 1987/88, e os alcançados com a cultura no Brasil, considerando-se a época de plantio normal (nov/dez).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Estimativa do progresso genético

O presente estudo foi desenvolvido, utilizando-se: a) dados provenientes dos Ensaio Nacionais de Sorgo Granífero "época de plantio normal", do Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária, conduzidos sob a coordenação do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-CNPMS, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, e b) resultados experimentais de ensaios de híbridos graníferos comerciais "épocas de plantio em sucessão" executados pelo Departamento de Pesquisa de Sementes Agroceres S.A.

Os dados referem-se ao peso de grãos, em toneladas por hectare, em dezoito localidades na época de plantio normal, a saber: Santa Cruz do Sul (RS), Pelotas (RS), Londrina (PR), Ponta Grossa (PR), Guarapuava (PR), Cravinhos (SP), Matão (SP), Birigui (SP), Cachoeira Dourada (MG), Sete Lagoas (MG), Capinópolis (MG), Felixlândia (MG), Inhumas (GO), Goianésia (GO), Goiânia (GO), Linhares (ES),

Caruaru (PE) e Serra Talhada (PE), e em três localidades, na época de plantio em sucessão, Jacarezinho (PR), Capinópolis (MG) e Santa Helena de Goiás (GO), nos anos agrícolas de 1974/75 a 1987/88, conforme as Tabelas 4 a 25. Nessas Tabelas, assim como nas restantes, o ano agrícola considerado foi aquele em que se efetuou a colheita dos respectivos ensaios.

As localidades escolhidas foram aquelas em que se instalaram, durante pelo menos quatro anos, ensaios de sorgo granífero em época de plantio normal e/ou sucessão, e que tiveram, no mínimo, um cultivar comum a três anos consecutivos.

Para estimar o ganho genético na produtividade de grãos, entre o ano em que foi instalado o ensaio e o anterior, utilizaram-se as seguintes estatísticas:

Considerando:

$T_{(i-1)}$: número de cultivares no ano $i-1$;

T_i : número de cultivares no ano i ;

$V_{(i-1, i)}$: número de cultivares não comuns ao ano i , presentes somente no ano $(i-1)$;

$C_{(i, i-1)} = C_{(i-1, i)} = C_i$;

$Y_{C_{(i-1, i)}}^*$: somatório da produtividade dos $C_{(i-1, i)}$ cultivares;

Y_v : somatório da produtividade dos V
 $(i-1, i)$ cultivares $(i-1, i)$

C : número de cultivares presentes no ano $(i-1)$ e
 $(i-1, i)$ que também estão presentes no ano i ;

C : número de cultivares presentes no ano i , que
 $(i, i-1)$ também estão presentes no ano $i-1$;

Y_c : somatório da produtividade dos C
 $(i, i-1)$ cultivares; $(i, i-1)$

N : número de cultivares presentes no ano i , mas
 $(i, i-1)$ ausentes no ano $i-1$;

Y_n : somatório da produtividade dos N
 $(i, i-1)$ cultivares; $(i, i-1)$

Y : somatório da produtividade dos T
 $(i-1)$ cultivares; $(i-1)$

Y : somatório da produtividade dos T cultivares;
 i i

O cálculo da diferença bruta (b) entre os anos i , e $(i-1)$ é estimada por

$$b_{(i, i-1)} = \bar{Y}_i - \bar{Y}_{(i-1)} \quad ; \text{ sendo:}$$

$$\bar{Y}_i = \frac{Y_n_{(i, i-1)} + Y_c_{(i, i-1)}}{T_i} = \frac{Y_i}{T_i}$$

$$\bar{Y}_{(i-1)} = \frac{Y_v_{(i-1, i)} + Y_c_{(i-1, i)}}{T_{(i-1)}} = \frac{Y_{(i-1)}}{T_{(i-1)}}$$

$$b_{(i, i-1)} = \frac{Y_{c(i, i-1)} + Y_{n(i, i-1)}}{T_i} - \frac{Y_{v(i-1, i)} + Y_{c(i-1, i)}}{T_{(i-1)}}$$

O cálculo do efeito de ano (a), relacionando os anos i e (i-1), é:

$$a_{(i, i-1)} = \frac{Y_{c(i, i-1)}}{C_i} - \frac{Y_{c(i-1, i)}}{C_i}$$

A diferença genética ou efeito genético (g), envolvendo os anos i e (i-1) será:

$$g_{(i, i-1)} = b_{(i, i-1)} - a_{(i, i-1)}$$

$$g_{(i, i-1)} = \frac{Y_i}{T_i} - \frac{Y_{(i-1)}}{T_{(i-1)}} - \frac{Y_{c(i, i-1)} - Y_{c(i-1, i)}}{C_i}$$

Para cada local obteve-se um número de diferenças genéticas, dependendo do número de anos em que foram instalados ensaios no referido local e com cultivares comuns em, no mínimo, três anos subsequentes.

3.1.1. Estimativa da média, desvio padrão e erro padrão da média do desvio genético - "g".

Considerando-se k anos, o vetor que contém os $k-1$ diferenciais genéticos, pode ser definido como a seguir:

$$z = \begin{bmatrix} g_{(1,2)} \\ g_{(2,3)} \\ \vdots \\ g_{(k-1, k)} \end{bmatrix}$$

onde $g_{(i, i-1)}$ é como definido anteriormente, tal que $E(g) = \delta$

Considere-se o modelo $z = X \beta + \varepsilon$, em que β representa o vetor com o efeito δ (no caso específico, este vetor tem dimensões 1×1), e X um vetor coluna de uns (dimensões $k-1, 1$).

O vetor β , que contém a média de g , pode ser estimado pelo método dos quadrados mínimos ponderados, conforme RAO (1973), modificado por VENCovsky* (1989), supondo $z \sim N(\mu, V \sigma^2)$. Estima-se β , através de:

$$\hat{\beta} = \bar{g} = (X^T V^{-1} X)^{-1} (X^T V^{-1} z)$$

VENCovsky, R. (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba) Comunicação pessoal, 1989.

A matriz simétrica V tem a seguinte estrutura:

$$\hat{V} = \begin{bmatrix} \hat{\text{var}}(g_{2,1}) & \hat{\text{cov}}(g_{2,1}, g_{3,2}) & \dots & \hat{\text{cov}}(g_{2,1}, g_{k,k-1}) \\ & \hat{\text{var}}(g_{3,2}) & & \hat{\text{cov}}(g_{3,2}, g_{k,k-1}) \\ & & & \hat{\text{var}}(g_{k,k-1}) \end{bmatrix}$$

Para um dado par de anos, i e $i-1$, conforme Apêndice 2, tem-se:

$$\hat{\text{var}}(g_{(i,i-1)}) = \hat{\sigma}^2 \left(\frac{2}{C_i} - \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_{(i-1)}} \right)$$

As covariâncias entre os efeitos genéticos considerando três anos de experimentação, conforme Apêndice 3, foram calculadas da seguinte maneira:

$$\hat{\text{cov}}(g_{(i,i-1)}, g_{(i+1,i)}) = -\hat{\sigma}^2 \left(\frac{\frac{C_{(i-1,i,i+1)}}{C_{(i+1,i)} C_{(i,i-1)}}}{\frac{1}{T_i}} \right)$$

sendo:

$C_{(i-1,i,i+1)}$ = número de cultivares comuns, presentes nos anos $(i-1, i$ e $i+1)$

Assim, a média dos efeitos genéticos, $\bar{g}$:

$$\bar{g} = (X^T V^{-1} X)^{-1} (X^T V^{-1} z)$$

A soma de quadrados dos desvios de " $\bar{g}$ ", $\bar{S}Q$:

$$\bar{S}Q = (z^T V^{-1} z) - \frac{1}{g} (X^T V^{-1} z)$$

A variância da média dos desvios "g", é:

$$\hat{V}(g) = (X' V^{-1} X)^{-1} \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r}$$

em que: $\hat{\sigma}_e^2$ é o quadrado médio do resíduo;

r é o número de repetições associados às médias.

A média dos efeitos genéticos "g" anuais, obtidos em cada local, representa o acréscimo no rendimento de grãos, do início ao fim do período considerado, devido ao melhoramento genético dos materiais durante os anos estudados. O progresso genético percentual para cada local foi estimado através da relação entre acréscimo médio anual e a média geral dos ensaios, multiplicado por cem.

O progresso genético médio anual obtido no período, considerando todos os locais estudados, foi estimado da seguinte maneira:

$$\overline{DG} = \frac{\sum_j (p_j \cdot \overline{DG}_j)}{\sum_j p_j}$$

Sendo: $\overline{DG}$ = ganho genético médio anual para cada localidade

p_j = fator de ponderação que corresponde ao inverso da variância dos efeitos genéticos observados em cada local, ou seja, $p_j = \frac{1}{V_j}$

Sendo que j variou de 1 a 24, quando consideraram todos os locais e épocas de plantio; de 1 a 18

quando consideraram-se somente os locais em que avaliaram época de plantio normal, e de 1 a 3 quando consideraram somente os plantios em sucessão.

Obtem-se assim o acréscimo médio do peso de grãos, do início ao fim do período, devido à melhoria genética dos materiais ao longo dos anos estudados.

Dividindo-se esse acréscimo médio pela média de todos os ensaios e multiplicando por cem, obteve-se o progresso genético médio anual percentual no período estudado.

O erro associado às estimativas do ganho genético médio anual foi estimado utilizando a seguinte expressão:

$$\overline{V(DG)} = \frac{1}{\sum_j P_j}$$

3.2. Estimativa do potencial de risco

Potencial de risco, como aqui considerado, é o risco que o agricultor terá, cultivando sorgo grãoífero em época de plantio normal e/ou em sucessão. Este foi comparado ao do milho cultivado em época de plantio normal, avaliado através da análise de estabilidade ambiental.

O risco que o agricultor terá, cultivando sorgo grãoífero em época normal e/ou sucessão foi estimado através

da relação entre o desvio padrão dos efeitos ambientais ($\sqrt{V(da)}$) e a média geral dos ensaios, multiplicando-se por cem, com o objetivo de se obter valores percentuais.

A comparação entre estas duas culturas foi feita, uma vez que elas são adaptadas a ambientes similares, as práticas de cultivo são muito semelhantes, o cultivo do sorgo vem sendo utilizado em áreas problemáticas para milho e também, o sorgo tem sido utilizado como substituto do milho na alimentação animal.

As análises foram desenvolvidas utilizando dados provenientes dos Ensaios Nacionais de Sorgo Granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), "época de plantio normal" e Ensaios Nacionais de Milho (*Zea mays* L.), plantas de ciclo e porte normais, e resultados experimentais de ensaios de híbridos graníferos comerciais "época de plantio em sucessão", da Empresa de Sementes Agrocere S.A.

Os dados referem-se a peso de grãos em toneladas por hectare, considerando-se as mesmas localidades em que se estimou o progresso genético de sorgo granífero e em treze localidades para a cultura de milho de porte e ciclo normais, a saber: Guarapuava (PR), Londrina (PR), Jacarezinho (PR), Birigui (SP), Cravinhos (SP), Matão (SP), Sete Lagoas (MG), Capinópolis (MG), Santa Helena de Goiás (GO), Goiandésia (GO), Goiânia (GO), Inhumas (GO) e Linhares (ES), nos anos agrícolas de 1974/75 a 1987/88, conforme as Tabelas 4 a 24 e 26 a 32.

As localidades estudadas foram aquelas nas quais

se instalaram, durante pelo menos quatro anos, ensaios de sorgo granífero e/ou milho e com no mínimo um cultivar comum a três anos.

Para estimar a diferença de produtividade de grãos entre um ano em que foi instalado o ensaio e o outro anterior, procedeu-se do seguinte modo: tomou-se a média de produtividade de grãos de determinado número de cultivares em um determinado ano agrícola e em um determinado local e a média desses mesmos cultivares no ano agrícola anterior, para o mesmo local. A diferença entre estas duas médias é o "desvio ambiental" - "da".

Considerando três anos de experimentação, os desvios foram obtidos da seguinte maneira:

$$da_{(i, i-1)} = \frac{Y_c(i, i-1)}{C(i-1, i)} - \frac{Y_c(i-1, i)}{C(i, i-1)}$$

$$da_{(i+1, i)} = \frac{Y_c(i+1, i)}{C(i+1, i)} - \frac{Y_c(i, i+1)}{C(i, i+1)}$$

Para cada local foi obtido um número de desvios ambientais, dependendo do número de anos em que foram instalados os ensaios no referido local e com cultivares comuns.

Para estimar a média, o desvio padrão e o erro

padrão da média dessas flutuações ambientais, utilizou-se o método dos quadrados mínimos ponderados, conforme RAO (1973), modificado por VENCovsky* (1989).

Considerando-se o modelo $w = \alpha + \epsilon$, em forma matricial, tem-se $w = X\beta + \epsilon$, em que β representa o vetor da média de $\bar{a}$ (no caso específico este vetor tem dimensões 1×1 , e contém o estimador da média de "a"), X um vetor coluna de uns, e w é a matriz:

$$w = \begin{bmatrix} a_{(1,2)} \\ a_{(2,3)} \\ \vdots \\ a_{(k-1,k)} \end{bmatrix}$$

Tem-se que:

$a_{(i-1,i)}$, como definido anteriormente; tal que $E(a) = \alpha$

k = número de anos e admite-se $w \sim N(\alpha, V\sigma^2)$

VENCovsky, R. (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba) Comunicação pessoal, 1989.

A estimativa da média dos desvios ambientais que corresponde à estimativa de β é:

$$\hat{\beta} = \bar{a} = (X' V^{-1} X)^{-1} (X' V^{-1} w)$$

$\hat{V}$ é a matriz simétrica contendo os elementos:

$$\hat{V} = \begin{bmatrix} \hat{\text{var}}(a_{2,1}) & \hat{\text{cov}}(a_{2,1}, a_{3,2}) & \dots & \hat{\text{cov}}(a_{2,1}, a_{k,k-1}) \\ & \hat{\text{var}}(a_{3,2}) & \dots & \hat{\text{cov}}(a_{3,2}, a_{k,k-1}) \\ & & & \hat{\text{var}}(a_{k,k-1}) \end{bmatrix}$$

Para um dado par de anos, i e $i-1$, conforme Apêndice 4, tem-se que:

$$\hat{\text{var}}(a_{(i,i-1)}) = \left(\frac{2}{C_{(i,i-1)}} + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r} \right)$$

Considerando três anos de experimentação, a covariância dos desvios ambientais, conforme Apêndice 5, é:

$$\hat{\text{cov}}(a_{(i,i-1)}, a_{(i+1,i-1)}) = - \left(\frac{C_{(i+1,i,i-1)}}{C_{(i,i-1)} \times C_{(i+1,i)}} + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r} \right)$$

A soma dos quadrados dos desvios "a" é:

$$SOD = (w' V^{-1} w) - \frac{1}{a} (X' V^{-1} w)$$

A variância da média dos desvios "a" é:

$$V(\bar{a}) = (X' V^{-1} X)^{-1} \cdot \frac{\hat{\sigma}_E^2}{r}$$

3.3. Taxa de substituição de tratamentos

A taxa de substituição de tratamentos, de um ano para outro mede a proporção de novos cultivares incluídos em cada ano nos ensaios de sorgo granífero.

O número de tratamentos nos ensaios foi variável, conforme pode-se verificar nas Tabelas 4 a 24 e 26 a 38. A relação entre a média do número de tratamentos novos e a média do número de tratamentos totais multiplicada por cem corresponde à taxa ou percentagem de substituição de tratamentos, considerada para cada local estudado.

3.4. Transformação dos dados de produção

Os dados de produção dos ensaios de sorgo granífero nem sempre foram fornecidos em tonelada de grãos por hectare. Em certos locais estes dados foram fornecidos em peso

de panícula por hectare. Para a transformação dos dados obteve-se o quociente conforme segue: nos locais em que estavam disponíveis dados de peso de panícula (PP) e mais de peso de grãos (PG), calculou-se a relação PP/PG englobando-se todos os cultivares e em todos os locais num mesmo ano agrícola, independentemente do local estar sendo analisado ou não no contexto deste trabalho. Desta maneira obteve-se um quociente médio para o ano agrícola em questão. Assim é que, o quociente foi de 1,3036 em 1977/78; de 1,3169 em 1978/79; de 1,5158 em 1979/80; de 1,3087 em 1980/81; de 1,3625 em 1981/82; de 1,5485 em 1982/83; de 1,4200 em 1983/84; de 1,3590 em 1984/85; de 1,4205 em 1985/86; de 1,4140 em 1986/87.

Na análise dos dados de produção de milho em que não foram disponíveis dados de peso de grãos (PG), mas dispunha-se de dados de peso de espiga (PE), utilizou-se o quociente (PG/PE) de 0,839, uma vez que VENCOVSKY et alii (1988) não encontraram muita variação de um ano para outro, sem evidência de alteração sistemática quanto à contribuição do peso do sabugo no peso global da espiga.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Taxa de substituição de tratamentos de sorgo granífero

A taxa de substituição de tratamentos, de um ano para outro, mede a proporção de novos materiais genéticos incluídos em cada ano nos ensaios. Esta taxa reflete de certo modo o dinamismo máximo dos programas de melhoramento existentes no país, seja por empresas públicas ou privadas, pois supõe-se que os novos materiais incluídos nos ensaios são mais produtivos e/ou apresentem mais adequadas características agronômicas do que os antigos.

O número de tratamentos totais variaram para os diversos locais e anos em que foram instalados os ensaios. Como se pode observar nas tabelas 4 a 24, os ensaios nacionais de sorgo granífero "época de plantio normal" testaram 16 materiais nos anos agrícolas 1975/76 e 1976/77, e 25 materiais nos anos restantes. Os ensaios de híbridos graníferos comerciais "época de plantio em sucessão", realizados pela Empresa de Sementes Agroceres S.A, avaliaram 16 materiais em 1982/83, 1984/85, 1985/86; 8 em 1983/84; e 25 em 1986/87 e 1987/88.

A taxa de substituição média foi de 42,70%, com valores variando entre 26,00% e 60,91% (Tabela 3). Ressalta-se que esta estimativa foi feita levando em consideração os anos e os locais em que se utilizaram os dados de produtividade para o presente trabalho e estes nem sempre foram em anos sequenciais. Entretanto, para os locais em que foram possíveis os dados em anos sequenciados, ou seja, Matão, Birigui, Inhumas, Goianésia, e Goiânia, a taxa de substituição foi 42,99%, não apresentando diferença da estimativa feita considerando todos os ensaios.

Tabela 3. Estimativas das taxas de substituição de cultivares nos diversos ensaios de sorgo granífero conduzidos em vários locais.

Local	No. de anos	No. médio de cultivares	No. médio de cultivares novos	Percentagem de substituição
Ponta Grossa	7	22,43	13,00	57,96
Serra Talhada	9	24,00	10,12	42,19
Birigui	7	25,00	6,50	26,00
Caruaru	9	25,00	9,00	36,00
Inhumas	4	20,50	11,00	53,66
Capinópolis	12	23,50	9,27	39,46
Polópolis	11	23,00	9,00	39,13
Sete Lagoas	10	24,10	9,09	41,83
Goiânia	12	24,25	8,04	34,47
Felixlândia	6	22,00	13,40	60,91
Cravinhos	9	25,00	9,25	37,00
Goianésia	6	23,50	12,80	54,47
Matão	9	24,00	11,12	46,35
Linhares	6	25,00	7,60	30,40
Guarapuava	5	25,00	7,50	30,00
Cachoeira Dourada	5	21,40	12,75	59,58
Londrina	8	22,75	10,29	45,21
S. Cruz do Sul	9	23,00	11,12	48,37
Jacarezinho*	4	20,50	7,67	37,41
S. Helena de Goiás*	4	17,67	6,86	38,86
Capinópolis*	6	17,67	6,86	38,86

* Época do plantio em sucessão.

Analisando os dados de Cachoeira Dourada e Felixlândia observa-se taxa de substituição mais alta, para estes locais. Por outro lado, pode-se notar que os ensaios considerados nestes locais foram instalados no início do período analisado no presente trabalho. Isto mostra, que no meado da década de 70, os programas de melhoramento de sorgo no Brasil apresentavam-se mais dinâmicos ou que, mais provavelmente, devido à falta de materiais selecionados e adaptados às condições brasileiras levava os técnicos, naquela ocasião, introduzir e avaliar maior quantidade de genótipos de sorgo granífero.

Pelos dados da Tabela 3, Birigui apresentou menor taxa de substituição de tratamentos, e, analisando a Tabela 11 nota-se que os anos analisados, foram os últimos do período. Isto indica que, nos últimos anos, os programas de melhoramento têm lançado menor número de novos materiais de sorgo granífero no mercado nacional.

Em Goiânia, local em que se considerou maior número de ensaios, cobrindo praticamente todo o período, a taxa de substituição média foi 34,49%, indicando uma atividade, considerada razoável, dos programas de melhoramento de sorgo granífero no Brasil, embora bastante inferior a taxa de substituição de milho, estimada em 61% por VENCOVSKY et alii (1988), no período 1964/65 até 1983/84.

A manutenção, de cerca de 57% dos tratamentos, de um ano para outro, serviu como fonte segura para avaliar os efeitos ambientais, levando a uma maior segurança na

estimativa dos ganhos genéticos, uma vez que isto reduz os confundimentos provocados pelos erros experimentais e pelas interações de tratamentos com anos. O maior número de testemunhas constantes permitiu maior segurança na avaliação dos efeitos de anos.

4.2. Ganho genético

O Ensaio Nacional de Sorgo é um sistema cooperativo anual de ensaios, estabelecido para avaliar cultivares de sorgo, desenvolvidas por programas de melhoramento de instituições públicas e privadas. Esse ensaio tem como objetivo avaliar a adaptabilidade e estabilidade de produção das cultivares comerciais e experimentais de sorgo sob várias latitudes, vários complexos de doenças e diferentes condições de fertilidade, considerando-se os sistemas de cultivo empregados em cada região.

Analisando os resultados obtidos nos Ensaios Nacionais de Sorgo Granífero no período de 1974/75 a 1987/88 (Figura 4), verifica-se que existem cultivares altamente produtivos mostrando que a participação do melhoramento tem sido relevante no que se refere à procura de alto potencial de rendimento. Entretanto o progresso obtido não está contribuindo para o aumento da produtividade nacional, que se mantém a níveis relativamente baixos e estabilizado, ao longo destes anos.

Nas tabelas 4 a 24, encontram-se os dados pertinentes as diferenças de produtividade de sorgo granífero, das cultivares comuns, de um ano para outro, para cada local de estudo.

Para cada local estão apresentados também a estimativa da média dos desvios ambientais e genéticos e o desvio padrão destes desvios.

Na Tabela 25 estão apresentados as estimativas do ganho genético em t/ha/ano e ganho genético percentual para

Tabela 4. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Santa Cruz do Sul-RS.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1975	25	5,67	5,78						11,40
1976	16	6,14	6,31	6,28	7		0,50	-0,03	21,18
1977	16	3,82	4,00	4,53	8	6	-1,78	-0,54	26,82
1978	25	5,43	5,43	6,05	9	6	2,05	-0,44	17,09
1979	25	4,61	4,44	4,78	11	3	-0,65	-0,17	25,04
1980	25	5,90	6,29	5,40	6	5	0,96	0,33	16,30
1984	25	9,00	9,53	8,75	18	5	2,44	0,64	6,10
1987	25	6,75	6,60	6,88	13	9	-2,65	0,40	14,61
1988	25	6,66		6,60	21	10	0,00	-0,09	8,45
Média geral dos ensaios					6,00 t/ha				
Desvios ambientais									
Média					0,1030 t/ha/ano				
Desvio padrão					4,0024				
Desvio padrão percentual					66,85 %				
Ganhos genéticos									
Média					0,0531 t/ha/ano				
Desvio padrão					1,7460				
Média percentual					0,8854 %/ano				

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 5. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Pelotas-RS*.

Anos	NTT	MG	MCC		NCC		DA	DG	CV
			Ano i = 1	Ano i	2	3	t/L	t/L	(%)
1976	16	2,80	2,70						25,21
1977	16	5,35	5,42	5,39	8		2,69	2,55	9,48
1978	25	5,08	5,07	5,04	9	6	-0,38	-0,27	20,50
1979	25	7,19	7,33	7,51	11	3	2,44	2,11	10,26
1980	25	5,37	5,38	5,19	9	4	-2,14	-1,82	10,43
1981	25	5,30	5,30	5,40	18	7	0,02	-0,07	10,17
1982	25	5,60	5,71	5,63	14	11	0,33	0,3	13,20
1984	25	5,00	5,18	4,89	13	10	-0,82	-0,6	21,70
1985	25	5,00	5,08	5,04	18	9	-0,14	0,0	15,70
1986	25	5,00	4,98	5,00	19	16	-0,08	0,0	13,20
1988	25	5,71		5,69	18	13	0,71	0,71	10,26

Média geral dos ensaios

5,22 t/ha

Desvios ambientais

Média

0,0703 t/ha/ano

Desvio padrão

3,1259

Desvio padrão percentual

59,90 %

Ganhos genéticos

Média

0,0387 t/ha/ano

Desvio padrão

0,6404

Média percentual

0,7417 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 6. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Londrina-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	DG	CV
			Ano i - 1	Ano i					
1975	25	3,09	3,15						25,50
1976	16	5,01	4,89	5,02	7		1,87	-0,05	16,58
1977	16	4,07	4,03	3,96	8	6	-0,93	-0,01	14,68
1978	25	2,74	2,95	2,68	9	6	-1,35	0,02	34,09
1983	25	5,00	5,07	5,07	7	3	2,12	0,14	9,37
1984	25	3,83	3,96	3,80	18	7	-1,27	0,10	11,03
1986	25	7,50	7,66	7,28	16	12	3,32	0,35	7,48
1987	25	2,15		2,09	20	13	-5,57	0,22	27,70

Média geral dos ensaios

4,17 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,5082 t/ha/ano

Desvio padrão

7,4446

Desvio padrão percentual

178,37 %

Ganhos genéticos

Média

0,1636 t/ha/ano

Desvio padrão

0,5441

Média percentual

3,9148 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 7. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Ponta Grossa-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1975	25	6,28	6,36						17,59
1976	16	7,15	6,80	6,78	7		0,42	0,45	14,88
1977	16	8,29	8,36	8,16	8	6	1,36	-0,22	8,77
1978	25	6,52	6,74	6,59	9	6	-1,77	0,00	17,37
1981	25	8,71	8,92	8,53	7	3	1,79	0,40	10,59
1982	25	8,40	8,97	8,25	14	6	-0,67	0,36	12,50
1985	25	4,50		4,30	9	7	-4,67	0,77	20,90

Média geral dos ensaios

7,12 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,5515 t/ha/ano

Desvio padrão

5,0421

Desvio padrão percentual

70,80 %

Ganhos genéticos

Média

0,2678 t/ha/ano

Desvio padrão

1,0208

Média percentual

3,7321 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 8. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Guarapuava-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1982	25	7,50	7,85						20,40
1984	25	5,50	5,93	5,55	13		-2,30	0,30	17,10
1986	25	3,60	3,65	3,59	16	8	-2,34	0,44	20,30
1987	25	1,87	1,87	1,90	20	13	-1,75	0,02	39,88
1988	25	4,97		4,89	21	17	3,02	0,08	21,21

Média geral dos ensaios	4,69 t/ha
Desvios ambientais	
Média	-0,6821 t/ha/ano
Desvio padrão	8,1342
Desvio padrão percentual	173,51 %
Ganhos genéticos	
Média	0,1305 t/ha/ano
Desvio padrão	1,0361
Média percentual	2,7842 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 9. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Cravinhos-SP.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1978	25	2,65	2,88						26,15
1980	25	4,50	4,58	4,51	6		1,63	0,22	27,10
1981	25	4,38	4,25	4,35	18	5	-0,23	0,11	20,57
1982	25	5,60	5,12	4,74	14	11	0,49	0,73	22,90
1983	25	1,70	1,55	1,46	13	10	-3,66	-0,24	18,70
1984	25	4,90	4,99	4,86	18	13	3,31	-0,11	12,80
1986	25	8,70	8,72	8,44	16	12	3,45	0,35	9,20
1987	25	7,49	7,54	7,47	20	13	-1,25	0,04	6,51
1988	25	9,10		8,63	21	17	2,12	-0,51	7,49

Média geral dos ensaios

5,45 t/ha

Desvios ambientais

Média

0,7202 t/ha/ano

Desvio padrão

6,4284

Desvio padrão percentual

118,02 %

Ganhos genéticos

Média

-0,0438 t/ha/ano

Desvio padrão

2,0446

Média percentual

-0,8040 %/ano

* O significado das abreviações se encontra no Apêndice 1.

Tabela 10. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Matão-SP.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1977	16	4,13	4,27						13,28
1978	25	8,05	7,98	8,41	9		4,14	-0,22	11,97
1979	25	7,33	7,63	7,39	11	3	-0,59	-0,13	12,53
1980	25	4,01	4,24	3,75	8	4	-3,88	0,56	17,85
1981	25	5,56	5,17	5,51	18	7	1,27	0,28	14,54
1982	25	5,20	5,00	5,09	14	11	-0,08	-0,28	11,50
1983	25	2,90	2,96	2,95	16	12	-2,05	-0,25	16,10
1984	25	6,40	6,47	6,26	18	13	3,30	0,20	23,90
1985	25	5,50		5,25	17	13	-1,22	0,32	19,10

Média geral dos ensaios

5,45 t/ha

Desvios ambientais

Média

0,1127 t/ha/ano

Desvio padrão

5,9069

Desvio padrão percentual

108,32 %

Ganhos genéticos

Média

0,0713t/ha/ano

Desvio padrão

1,2775

Média percentual

1,3076 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 11. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Birigui-SP.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	DB	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	t/ha	(%)
1982	25	4,85	4,68						16,65
1983	25	3,10	3,16	2,99	16		-1,69	-0,06	14,83
1984	25	6,20	6,17	6,24	17	12	3,08	0,02	16,60
1985	25	4,20	4,25	4,14	18	13	-2,03	0,03	20,30
1986	25	6,84	6,79	6,70	19	16	2,45	0,19	15,50
1987	25	3,89	3,95	3,85	20	16	-2,94	-0,01	18,74
1988	25	5,41		5,34	21	17	1,39	0,13	12,62

Média geral dos ensaios 4,93 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,0433 t/ha/ano

Desvio padrão 6,1636

Desvio padrão percentual 125,09 %

Ganhos genéticos

Média 0,0682 t/ha/ano

Desvio padrão 0,5522

Média percentual 1,3853 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 12. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo graníferos plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Cachoeira Dourada-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1975	25	5,62	6,37						11,06
1976	16	5,03	5,47	5,42	7		-0,95	0,36	22,25
1977	16	3,45	3,13	3,28	8	5	-2,19	0,61	9,42
1978	25	6,38	6,78	5,57	9	6	2,44	0,49	9,10
1981	25	5,03		4,95	7	3	-1,83	0,48	11,72

Média geral dos ensaios	5,10 t/ha
Desvios ambientais	
Média	-0,4905 t/ha/ano
Desvio padrão	3,8731
Desvio padrão percentual	75,91 %
Ganhos genéticos	
Média	0,4999 t/ha/ano
Desvio padrão	0,2306
Média percentual	9,7999 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 13. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Sete Lagoas-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1977	16	1,02	1,04						59,03
1978	25	5,97	6,18	5,97	9		4,93	0,02	19,15
1980	25	4,40	4,37	4,07	6	2	-2,11	0,54	22,14
1981	25	3,72	3,80	3,66	18	5	-0,71	0,03	14,35
1982	25	3,70	3,91	3,61	17	11	-0,19	0,17	18,70
1983	25	2,30	2,32	2,29	13	10	-1,62	0,22	31,42
1985	25	4,19	4,23	4,14	13	9	1,82	0,07	10,54
1986	25	3,74	3,65	3,58	19	11	-0,65	0,20	18,82
1987	25	4,38	4,43	4,41	20	16	0,76	-0,12	17,10
1988	25	3,59		3,49	21	17	-0,94	0,15	21,26

Média geral dos ensaios

3,70 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,0755 t/ha/ano

Desvio padrão

4,5872

Desvio padrão percentual

123,94 %

Ganhos genéticos

Média

0,0945 t/ha/ano

Desvio padrão

0,7172

Média percentual

2,5546 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 14. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Capinópolis-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	DG	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	t/ha	(%)
1976	16	2,99	3,03						18,50
1977	16	1,63	1,65	1,55	8		-1,48	0,12	23,62
1979	25	5,15	5,30	4,23	4	2	2,58	0,94	18,19
1980	25	6,10	6,16	5,94	9	1	0,41	0,54	14,27
1981	25	2,36	2,28	2,01	18	7	-4,15	0,41	29,61
1982	25	4,30	4,39	3,74	14	11	1,46	0,48	14,30
1983	25	2,18	2,23	2,20	15	13	-2,19	0,07	11,85
1984	25	5,23	5,22	5,16	18	13	2,93	0,12	9,42
1985	25	4,50	4,54	4,48	18	13	-0,74	0,01	15,90
1986	25	4,70	4,66	4,62	19	16	0,08	0,12	13,80
1987	25	3,65	3,63	3,73	20	16	-0,93	-0,12	23,99
1988	25	6,64	-	6,38	21	17	2,75	0,24	11,83

Média geral dos ensaios

4,12 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,01487t/ha/ano

Desvio padrão

5,9330

Desvio padrão percentual

144,03 %

Ganhos genéticos

Média

0,1568 t/ha/ano

Desvio padrão

1,0976

Média percentual

3,8075 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 15. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Felixlândia-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1975	25	3,22	3,73						32,99
1976	16	2,84	2,96	3,06	7		-0,67	0,29	33,68
1977	16	4,37	4,70	4,30	8	6	1,34	0,19	16,53
1979	25	3,69	3,48	3,88	4	2	-0,82	0,14	14,94
1980	25	3,34	3,27	3,39	9	1	-0,09	-0,26	25,53
1982	25	1,20		1,26	12	6	-2,01	-0,13	35,80

Média geral dos ensaios

3,11 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,4377 t/ha/ano

Desvio padrão

2,6840

Desvio padrão percentual

86,30 %

Ganhos genéticos

Média

0,0211 t/ha/ano

Desvio padrão

0,6846

Média percentual

0,6796 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 16. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Inhumas-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DE t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1975	25	5,90	6,19						11,74
1976	16	4,46	4,32	4,46	7		-1,73	0,29	16,36
1977	16	7,91	7,76	7,88	8	6	3,56	-0,11	8,03
1978	25	7,00		6,35	9	6	-1,41	0,50	9,54

Média geral dos ensaios 6,32 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,4353 t/ha/ano

Desvio padrão 4,8188

Desvio padrão percentual 76,28 %

Ganhos genéticos

Média 0,1991 t/ha/ano

Desvio padrão 0,8060

Média percentual 3,1514 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 17. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Goianésia-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1977	16	5,10	5,88						14,63
1978	25	5,76	5,86	5,59	9		0,21	0,45	10,61
1979	25	5,59	5,81	5,96	11	3	0,10	-0,27	10,10
1980	25	5,49	5,47	5,57	9	4	-0,30	0,20	10,87
1981	25	3,95	3,54	3,95	18	6	-1,52	-0,02	26,50
1982	25	3,11		3,12	14	11	-0,42	-0,42	7,08

Média geral dos ensaios

4,83 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,6016 t/ha/ano

Desvio padrão

1,9139

Desvio padrão percentual

39,60 %

Ganhos genéticos

Média

-0,0796 t/ha/ano

Desvio padrão

1,1520

Média percentual

-1,6477 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 18. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Goiânia-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	DG	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	t/ha	(%)
1977	16	2,99	2,94						17,02
1978	25	3,10	3,08	3,26	9		0,32	-0,21	17,94
1979	25	3,82	4,03	4,31	11	3	1,23	-0,51	23,93
1980	25	1,65	1,67	1,70	9	4	-2,33	0,16	24,47
1981	25	5,34	5,35	5,31	18	7	3,64	0,05	15,53
1982	25	2,86	2,95	2,76	14	11	-2,59	0,11	17,96
1983	25	2,50	2,57	2,52	17	12	-0,43	0,07	17,50
1984	25	2,20	2,15	2,14	18	13	-0,43	0,13	20,60
1985	25	2,10	2,20	2,16	17	12	0,01	-0,11	22,50
1986	25	2,84	2,85	2,82	19	16	0,62	0,12	16,80
1987	25	2,13	2,12	2,12	20	16	-0,73	0,02	17,75
1988	25	3,97		3,95	21	17	1,83	0,01	16,17

Média geral dos ensaios

2,96 t/ha

Desvios ambientais

Média

0,0904 t/ha/ano

Desvio padrão

4,4358

Desvio padrão percentual

149,94 %

Ganhos genéticos

Média

0,0285 t/ha/ano

Desvio padrão

0,6729

Média percentual

0,9623 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 19. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Linhares-ES.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1982	25	4,49	4,32						12,00
1983	25	3,60	3,63	3,36	15		-0,86	0,06	18,60
1984	25	2,57	2,63	2,59	18	13	-1,04	0,01	13,70
1985	25	4,00	4,20	4,15	18	13	1,52	-0,09	10,90
1987	25	1,76	1,76	1,86	15	12	-2,34	0,10	36,97
1988	25	2,83		2,83	21	12	1,07	0,0	27,51

Média geral dos ensaios

3,19 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,2805 t/ha/ano

Desvio padrão

3,8668

Desvio padrão percentual

121,09 %

Ganhos genéticos

Média

0,0036 t/ha/ano

Desvio padrão

0,3472

Média percentual

0,1129 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 20. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Caruaru-PE.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC		DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i	2	3			
1978	25	6,15	5,60						14,05
1980	25	2,17	2,16	1,98	6		-3,62	-0,36	18,21
1981	25	4,86	5,07	4,92	18	5	2,76	-0,07	18,36
1982	25	4,90	4,83	4,85	14	11	-0,22	0,26	14,31
1983	25	1,60	1,64	1,56	17	12	-3,27	-0,03	18,68
1985	25	3,40	3,47	3,29	13	9	1,65	0,15	14,80
1986	25	4,05	4,19	3,96	19	12	0,49	0,16	16,60
1987	25	4,83	4,86	4,84	20	17	0,65	0,13	8,53
1988	25	5,08		4,96	21	16	0,10	0,15	10,91

Média geral dos ensaios

4,11 t/ha

Desvios ambientais

Média

0,1341 t/ha/ano

Desvio padrão

5,3716

Desvio padrão percentual

130,69 %

Ganhos genéticos

Média

0,1008 t/ha/ano

Desvio padrão

0,6511

Média percentual

2,4483 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 21. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em época normal; produtividade de grãos em t/ha; em Serra Talhada-PE.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1977	16	1,17	1,10						47,26
1978	25	5,43	5,43	5,00	9		3,90	0,36	15,47
1980	25	2,61	2,57	2,39	6	2	-3,04	0,22	24,56
1981	25	1,75	1,76	1,63	18	5	-0,94	0,08	25,60
1983	25	1,30	1,44	1,50	13	9	-0,26	-0,19	44,56
1985	25	5,60	5,65	5,55	13	7	4,11	0,19	11,30
1986	25	3,85	3,95	3,87	19	12	-1,78	0,03	22,60
1987	25	4,62	4,60	4,63	20	16	0,68	0,09	19,94
1988	25	4,98		5,05	21	17	0,45	-0,09	15,05
Média geral dos ensaios					3,48 t/ha				
Desvios ambientais									
Média					0,2912 t/ha/ano				
Desvio padrão					5,4809				
Desvio padrão percentual					157,55 %				
Ganhos genéticos									
Média					0,0331 t/ha/ano				
Desvio padrão					0,6826				
Média percentual					0,9527 %/ano				

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 22. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em sucessão; produtividade de grãos em t/ha; em Jacarezinho-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1985	16	5,55	5,52						15,21
1986	16	8,19	8,19	8,26	10		2,74	-0,10	3,58
1987	25	4,70	4,83	4,84	16	10	-3,35	-0,14	8,76
1988	25	4,86		4,69	17	14	-0,14	0,29	10,92

Média geral dos ensaios 5,83 t/ha

Desvios ambientais

Média -0,8200 t/ha/ano

Desvio padrão 6,4130

Desvio padrão percentual 110,07 %

Ganhos genéticos

Média 0,0297 t/ha/ano

Desvio padrão 1,1160

Média percentual 0,3943 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 23. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em sucessão; produtividade de grãos em t/ha; em Capinópolis-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DG t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1983	16	2,29	2,27						23,39
1984	8	5,15	5,22	5,17	5		2,90	-0,03	12,39
1985	16	3,68	3,60	3,56	6	4	-1,66	0,19	11,63
1986	16	5,48	4,52	4,63	10	5	1,03	0,77	24,97
1987	25	5,04	5,07	5,05	16	10	0,53	-0,97	9,78
1988	25	2,16		1,97	17	14	-3,09	0,22	16,64

Média geral dos ensaios

3,97 t/ha

Desvios ambientais

Média

-0,3811 t/ha/ano

Desvio padrão

5,0163

Desvio padrão percentual

126,44 %

Ganhos genéticos

Média

-0,2908 t/ha/ano

Desvio padrão

3,2101

Média percentual

-7,3313 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 24. Estimativas de alguns parâmetros relacionados ao ganho genético e potencial de risco de sorgo granífero; plantio em sucessão; produtividade de grãos em t/ha; em Santa Helena de Goiás-60.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	DC t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i					
1983	16	3,26	3,09						10,50
1984	8	5,40	5,41	5,38	5		2,29	-0,16	7,00
1985	16	5,39	5,46	5,56	6	4	0,15	-0,16	15,47
1986	16	6,26	6,26	6,18	10	5	0,72	0,15	9,67
1987	25	6,65	6,83	6,81	16	10	0,55	-0,16	8,36
1988	25	5,22		4,99	17	14	-1,84	0,41	8,71

Média geral dos ensaios

5,38 t/ha

Desvios ambientais

Média

0,0596 t/ha/ano

Desvio padrão

3,5425

Desvio padrão percentual

65,86 %

Ganhos genéticos

Média

0,0564 t/ha/ano

Desvio padrão

1,0687

Média percentual

1,0527 %/ano

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

todos os locais. Também são apresentados os valores de p e p (DC) utilizados para calcular o ganho genético médio para todos os locais durante o período considerado, ou seja, 1974/75 a 1987/88.

Observaram-se grandes diferenças quanto ao ganho genético entre os diversos locais analisados. O ganho genético estimado variou de -0,29 t/ha/ano, em Capinópolis (plantio em sucessão), a 0,50 t/ha/ano em Cachoeira Dourada (plantio época normal). Foi possível detectar aumentos de potencial genético médio, englobando todos os locais e época de plantio, de $0,0557 \pm 0,0056$ t/ha/ano ou $1,18 \pm 0,12$ %/ano.

Quando se consideraram somente os plantios em época normal, o ganho genético médio foi estimado em $0,0719 \pm 0,0060$ t/ha/ano ou $1,54 \pm 0,13$ %/ano, e quando se consideraram somente os plantios em sucessão o ganho foi negativo, ou seja, $-0,0435 \pm 0,0149$ t/ha/ano ou $-0,86 \pm 0,29$ %/ano.

Estes ganhos estimados para as condições brasileiras são ligeiramente inferiores aqueles encontrados para sorgo granífero em outros países. MAUNDER (1969) estimou o ganho no Estado de Nebraska, no período 1955/69, de 2,4%/ano; WELLMAN & HASSLER (1969), citados por MAUNDER (1969), estimaram, para o mesmo período e o mesmo Estado, em 2%/ano. MILLER & KEBEDE (1986) avaliando materiais lançados durante o período 1955-1980, estimaram um ganho genético total de 39%, ou seja, de 1,63%/ano para as condições norte-americanas.

O ganho genético global obtido com a cultura do sorgo granífero foi considerável, porém inferior à média dos ganhos estimados por VENCovsky et alii (1988), para a cultura do milho nas condições brasileiras (87 a 92 kg/ha/ano). Entretanto esta diferença diminui, quando compara-se ensaios de sorgo em época de plantio normal (71 kg/ha/ano). Muito embora, como pode ser notado na Tabela 25, em alguns locais o ganho foi relevantemente maior.

Comparando-se as estimativas de ganho em sorgo no Brasil (Tabela 25) e milho nos EUA (Tabela 1), observa-se que, em alguns locais elas foram semelhantes para as duas culturas. Entretanto deve-se ressaltar que as estimativas

Tabela 25. Sumário das estimativas do ganho genético na produtividade de grãos (t/ha) de sorgo granífero em diversas localidades.

Local	(DG) Ganho genético (t/ha/ano)	(DG/%) Ganho genético percentual	1		p(DG)
			p =	J VJ	
Santa Cruz do Sul	0,0531	0,88	707,56		37,57
Londrina	0,1636	3,91	1360,10		222,52
Cachoeira Dourada	0,5000	9,80	310,32		155,16
Guarapuava	0,1305	2,78	571,74		74,63
Inhumas	0,1991	3,15	275,03		54,76
Serra Talhada	0,0331	0,95	2017,91		66,88
Birigui	0,0682	1,38	1693,55		114,91
Ponta Grossa	0,2658	3,73	280,00		74,42
Sete Lagoas	0,0945	2,55	1947,01		184,08
Pelotas	0,0387	0,74	1655,97		64,09
Goiânia	0,0285	0,96	4646,84		132,29
Capinópolis	0,1568	3,81	3373,90		529,15
Linhares	0,0036	0,11	2098,96		7,57
Felixlândia	0,0211	0,68	270,11		5,71
Matão	0,0713	1,31	952,38		67,91
Goianésia	-0,0796	-1,65	651,13		-51,86
Cravinhos	-0,0438	-0,80	1627,32		-71,26
Caruaru	0,1001	2,45	3037,90		306,11
Jacarezinho*	0,0230	0,39	1656,22		38,04
S. Helena de Goiás*	0,0564	1,05	1687,33		95,22
Capinópolis*	-0,2908	-7,33	1126,60		-327,68

* Época de plantio em sucessão.

obtidas para a cultura do milho foram feitas em diferentes situações, ou seja, sob diversas densidades de semeadura e práticas culturais, além da utilização tanto de híbridos duplos como simples.

Observando-se a Tabela 25, verifica-se que houve diferenças significativas entre os ganhos estimados nos diversos locais.

Cachoeira Dourada, foi o local onde se obteve maior estimativa do ganho, (9,8%/ano), embora tendo

considerado um período de poucos anos. De qualquer forma, pode-se inferir que o esforço do melhoramento para adaptação do sorgo às condições locais foi grande. Analisando-se a época de instalação dos ensaios, nota-se que no início do período, o progresso foi mais acentuado. Tal resultado pode ser o reflexo da constante introdução de germoplasmas novos. Uma vez que este foi o local onde os ensaios tiveram maior taxa de substituição. Em outros locais onde o ganho foi significativo, como Capinópolis (plantio em época normal), Ponta Grossa e Inhumas este fato também se repetiu. Porém, em Londrina e Santa Cruz do Sul, os ganhos foram reduzidos ou mesmo negativos no início do período, demonstrando que os materiais lançados naquela ocasião não eram adaptados para as condições destes locais.

Pelos dados das Tabelas 20 e 21, nota-se que o progresso genético para Caruarú foi superior ao de Serra Talhada, assim como de várias localidades do Centro e do Sul do país. Apesar de que os dados não são tão abrangentes e representativos da região semi-árida do Nordeste, considerando também diferentes períodos, pode-se inferir que o esforço do melhoramento para adaptação do sorgo às condições nordestinas foi significativo. Reforçando o propósito dos melhoristas de sorgo em buscar materiais mais resistentes ao estresse hídrico.

Em Serra Talhada, a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA possui campos experimentais de sorgo a vários anos. Isto provavelmente provocou um aumento da

populações de pragas, principalmente mosca, (*Contarinia sorghicola*), e de diversos patógenos, além de incidência de pássaros, interferindo na coleta de dados e consequentemente refletindo na estimativa do ganho genético neste local. Este fato é reforçado quando se analisa os coeficientes de variação dos ensaios, considerados altos em relação aos demais locais.

Comparando-se ganhos genéticos com a cultura de milho, estimados por VENCOVSKY et alii (1986), e de sorgo para as condições nordestinas, observa-se que o progresso obtido com esta cultura foi maior do que a primeira. Além disso, os autores encontraram menores estimativas do progresso de milho, para esta região, em relação ao do Centro e Sul do país.

O plantio de sorgo granífero em sucessão à cultura de ciclo precoce, principalmente a soja e o amendoim, tem sido realizado com êxito nas regiões do Sudeste e Sul do país. Nestas regiões recomenda-se a semeadura do sorgo, preferencialmente, no mês de fevereiro após a colheita das culturas principais. O sistema possibilita uma sensível redução no custo de produção em função do aproveitamento do efeito residual dos fertilizantes, aplicados na cultura anterior, menor número de operações de preparo do solo, do maior aproveitamento do maquinário, principalmente colhedoras, e da melhor utilização da terra.

O sistema de plantio de sorgo em sucessão começou a ser utilizado pelos agricultores em escala intensiva, a partir da última década. Os experimentos utilizando este sistema são ainda reduzidos.

Observando-se a Tabela 25, verifica-se que em Santa Helena de Goiás o ganho foi de 1,00%/ano, Jacarezinho de 0,39%/ano e Capinópolis, de -7,33%/ano. O acréscimo obtido, utilizando o sistema, plantio em sucessão foi bastante reduzido em relação às estimativas para cultivo em época normal. É bem verdade que estes ensaios não são tão abrangentes e representativos, já que abrangem períodos muito curtos e não envolvem todos os polos produtivos de grãos que utilizam este sistema, além de que o número de materiais avaliados foi reduzido. De qualquer forma, pode-se inferir que o esforço do melhoramento para adaptação do sorgo a essas condições foi menor do que o dispendido para o sistema de plantio em época normal. A esse respeito pode-se levantar algumas hipóteses tais como: a) Os híbridos avaliados nestes ensaios não foram selecionados para estas condições, muito embora a média dos ensaios é considerada satisfatória; b) visto que os materiais avaliados eram, na sua maioria, híbridos de uma mesma empresa produtora de sementes, supõe-se que a diversidade genética destes seja reduzida. Além disso estes novos materiais podem ser lançados com diferentes denominações o que na verdade podem ser versões pouco diferentes dos anteriormente lançados. Portanto, é de se esperar que os avanços sejam mais difíceis no melhoramento deles.

Comparando-se os dados de Capinópolis (época de plantio normal), Tabela 14 com a Tabela 23, (época de plantio em sucessão), observa-se que o acréscimo para os materiais

avaliados em plantio normal foram significativamente superiores. Este aspecto diz respeito ao ambiente para os quais os híbridos, como um todo, foram selecionados. No plantio em sucessão, a cultura está mais sujeita a estresse hídrico, e mesmo, ao ataque de doenças e pragas.

Em áreas onde se realiza experimentação durante vários anos, tais como, Sete Lagoas, Cravinhos, Capinópolis e Serra Talhada, entre outras, a estimativa do progresso foi substancialmente reduzida. A incidência de pragas e doenças nestes locais é de se esperar, mais intensificada. MILLER & KEBEDE (1984) também encontraram que o ganhos obtidos no Sul e Norte dos EUA foram mais significativos do que no Nordeste daquele país uma vez que neste, a incidência de pragas e doenças foi mais acentuada. Nestas condições os genótipos não mostram todo o seu potencial produtivo.

Considerando-se a realidade da cultura do sorgo no Brasil, como descrita anteriormente, torna-se imperativo o desenvolvimento de estudos que forneçam bases para proporcionar o aproveitamento do seu potencial e a projeção da cultura como uma alternativa viável entre as principais culturas do país.

Sabe-se que altos rendimentos e a estabilidade de produção de grãos são objetivos considerados universais e serem alcançados. No entanto, outros objetivos específicos devem, também, ser considerados tendo em vista que o melhoramento envolve uma série de outras prioridades para que estes objetivos sejam atingidos.

O melhoramento para resistência à seca é uma das prioridades que merece destaque; considerando-se as áreas nas quais a cultura tende a se expandir. Um outro aspecto que deve ser considerado é a identificação de novas fontes de resistência a doenças e pragas e transferência destas características para os materiais cultivados.

O ataque de pássaros é hoje um dos grandes entraves para os produtores de sorgo do país e do mundo. A identificação de material resistente a pássaros e de alta qualidade nutritiva será de grande valor para o definitivo estabelecimento e expansão da cultura no país.

Considerando-se a extensa área agrícola do país, em que a presença de alumínio tóxico às plantas é um entrave à expansão da agricultura, a obtenção de materiais de maior tolerância é imprescindível para a expansão e estabilização da cultura nestas áreas.

Um programa de melhoramento deve acompanhar as inovações tecnológicas, procurando adequar seus métodos e princípios às situações que ocorrem no processo de evolução da cultura.

4.3. Potencial de risco

Os dados pertinentes às diferenças da produtividade de grãos de cultivares comuns de sorgo se encontram nas Tabelas 4 a 24, e de milho, nas Tabelas 26 a 38,

de um ano para o outro, para cada local em estudo.

Para cada local estão apresentados, também a estimativa da média dos desvios ambientais, o desvio padrão destes desvios e o desvio padrão percentual.

As variações climáticas são causas de grandes flutuações na produtividade de grãos da maioria das espécies cultivadas. FERNANDES (1988) e SILVA et alii (1987) observaram que variações desta natureza, são as que mais contribuem para as flutuações na produção de milho na região Sudeste do Brasil. AVELAR & SANS (1988), ressaltam a dificuldade do estabelecimento das culturas de milho e sorgo sem irrigação, no período outubro/novembro na região de Sete Lagoas-MG, devido a ocorrência de anos com intervalos de estresse de umidade severo na parte inicial do período chuvoso, afetando algumas ou todas as épocas de plantio em cada extremo.

Na maioria das regiões produtoras de milho e sorgo, os agricultores preferem cultivar o milho em condições mais favoráveis de clima e solo, ocorrendo o inverso, com o sorgo. O sorgo tem sido considerado superior ao milho em áreas quentes e de baixa ou irregular precipitação. DOSCETT & JOWETT (1966), sugerem também, que o sorgo tem melhor desempenho do que o milho, em certos tipos de solos e em terras baixas úmidas do Leste Africano.

O estudo não utilizou outros locais, pelo fato de não ter havido continuidade na instalação de ensaios nacionais de milho e sorgo nos mesmos, por um período de, no mínimo, quatro anos consecutivos.

Tabela 26. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Guarapuava-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i				
1984	36	8,33	8,53					11,60
1985	36	6,94	7,12	7,10	17		-1,43	16,44
1986	42	8,06	8,30	8,08	12	8	0,96	11,49
1987	42	6,30		6,45	13	6	-1,85	15,52
Média geral dos ensaios					7,4097 t/ha			
Desvios ambientais								
Média					-0,7380 t/ha/ano			
Desvio padrão					3,3104			
Desvio padrão percentual					44,68 %			

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 27. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Londrina-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i				
1977	36	5,99	6,12					8,52
1978	36	2,62	2,44	2,51	11		-3,61	17,35
1983	42	3,02	3,33	3,03	3	2	0,59	14,01
1984	36	5,22	5,62	5,20	10	1	1,87	15,02
1986	42	6,61	6,89	6,66	9	6	1,03	12,10
1987	42	4,53		4,59	22	6	-2,30	12,40
Média geral dos ensaios					4,6635 t/ha			
Desvios ambientais								
Média					-0,7139 t/ha/ano			
Desvio padrão					5,7309			
Desvio padrão percentual					122,89 %			

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 28. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Jacarezinho-PR.*

Anos	NTT	MG	MCC	NCC	NCC	DA	CV	
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1985	42	7,68	7,55					7,13
1986	42	5,23	5,32	5,07	22		-2,47	11,83
1987	42	6,39	8,53	8,45	22	9	3,13	5,62
1988	42	7,90		7,99	23	15	-0,53	10,05

Média geral dos ensaios 7,2997 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,2913 t/ha/ano

Desvio padrão 8,4641

Desvio padrão percentual 115,95 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 29. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Birigui-SP.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1982	42	5,19	5,17					17,10
1983	42	4,76	4,80	4,68	20		-0,49	9,50
1984	42	5,47	5,60	5,46	27	16	0,66	14,90
1985	42	7,98	7,93	8,06	24	17	2,46	9,10
1986	42	5,14	5,28	4,87	22	17	-3,06	11,80
1987	42	4,76	4,90	4,85	22	9	-0,44	13,10
1988	42	2,94		2,83	23	15	-2,07	20,49

Média geral dos ensaios 5,1779 t/ha

Desvios ambientais

Média -0,2414 t/ha/ano

Desvio padrão 6,7816

Desvio padrão percentual 130,97 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 30. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Cravinhos-SP.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1978	36	4,16	4,44					21,77
1980	42	6,77	7,13	7,07	10		2,63	12,31
1981	42	4,90	5,21	4,94	14	4	-2,19	16,34
1982	42	7,06	7,09	7,22	22	11	2,01	12,50
1983	42	6,39	6,60	6,67	21	14	-0,42	8,90
1984	42	5,51	5,49	5,42	27	16	-1,18	11,80
1986	42	8,12	8,26	7,91	18	13	2,42	8,30
1987	42	6,36	6,40	6,43	22	10	-1,83	6,54
1988	42	8,90		8,72	23	15	2,33	6,53

Média geral dos ensaios 6,4651 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,2561 t/ha/ano

Desvio padrão 5,3515

Desvio padrão percentual 82,77 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 31. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Matão-SP.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1980	42	7,20	7,69					9,40
1981	42	4,84	4,80	4,61	14		-3,08	31,55
1982	42	5,75	5,70	5,83	22	11	1,04	12,50
1983	42	6,80	6,91	6,88	20	13	1,13	13,60
1984	42	4,83	4,93	4,83	27	16	-2,08	14,40
1985	42	6,57		6,47	26	17	1,54	11,60

Média geral dos ensaios 6,0122 t/ha

Desvios ambientais

Média -0,1154 t/ha/ano

Desvio padrão 5,9951

Desvio padrão percentual 98,06 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 32. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Sete Lagoas-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i				
1977	36	6,56	6,51					16,66
1978	36	6,71	7,16	6,93	11		0,42	12,77
1980	42	6,60	7,16	7,17	9	5	0,01	18,51
1981	42	4,90	5,14	4,88	13	4	-2,29	16,34
1982	42	6,10	5,94	6,14	22	10	1,00	18,90
1983	42	7,83	7,92	7,96	20	13	2,02	8,60
1985	42	6,76	6,64	6,83	19	10	-1,09	8,40
1986	42	8,08	8,11	7,94	22	12	1,29	5,30
1987	42	8,74	8,94	8,72	22	9	0,61	10,77
1988	42	5,96		6,05	23	15	-2,88	15,80

Média geral dos ensaios 6,8236 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,0343 t/ha/ano

Desvio padrão 5,0678

Desvio padrão percentual 74,27 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 33. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Capinópolis-MG.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i				
1978	36	5,12	5,21					11,22
1979	42	6,45	6,29	6,75	11		1,51	12,20
1980	42	5,88	6,06	5,91	17	7	-0,33	13,13
1981	42	7,80	8,23	8,13	14	5	2,07	8,30
1982	42	3,63	3,67	3,53	22	11	-4,78	10,60
1983	42	3,59	3,53	3,40	21	14	-0,37	12,50
1984	42	5,91	5,86	5,70	27	16	2,17	3,39
1985	42	6,77	6,78	6,88	25	17	1,02	13,40
1986	42	7,30	7,52	7,17	22	17	0,10	6,96
1987	42	7,20	7,29	7,21	22	9	-0,32	7,90
1988	42	6,22		6,15	23	15	-1,13	6,79

Média geral dos ensaios 5,9886 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,00602 t/ha/ano

Desvio padrão 6,7085

Desvio padrão percentual 112,02 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 34. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Santa Helena de Goiás-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i				
1983	42	4,18	4,19					10,62
1984	42	3,19	3,24	3,07	27		-1,12	12,70
1985	42	5,07	5,16	5,16	25	16	1,92	13,60
1987	42	1,91	2,01	1,90	10	10	-3,27	24,10
1988	42	2,12		2,19	23	8	0,19	13,60
Média geral dos ensaios					3,2929 t/ha			
Desvios ambientais								
Média					-0,1923 t/ha/ano			
Desvio padrão					5,2025			
Desvio padrão percentual					157,99 %			

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 35. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Goiânia-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC 2	NCC 3	DA t/ha	CV (%)
			Ano i - 1	Ano i				
1979	42	4,78	4,83	5,44				13,25
1980	42	5,14	5,42	6,01	17		0,61	17,02
1981	42	5,90	6,04	4,96	13	4	0,59	3,81
1982	42	4,93			22	11	-1,08	11,10
Média geral dos ensaios					5,1875 t/ha			
Desvios ambientais								
Média					-0,1066 t/ha/ano			
Desvio padrão					2,8327			
Desvio padrão percentual					54,58 %			

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Quadro 36. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Goiânia-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1977	36	2,92	3,30					18,09
1978	36	4,03	4,26	4,25	11		0,94	16,29
1979	42	4,95	5,23	5,11	14	5	0,86	15,33
1980	42	2,60	3,00	2,88	16	7	-2,35	18,50
1981	42	3,55	3,84	3,77	14	5	0,77	15,60
1982	42	5,47	5,46	5,48	22	11	1,64	10,10
1983	42	4,86	5,10	4,93	20	13	-0,54	10,20
1985	42	6,80	6,77	6,87	18	11	1,77	11,40
1987	42	7,39		7,34	10	7	0,57	9,19

Média geral dos ensaios 4,7322 t/ha

Desvios ambientais

Média 0,5060 t/ha/ano

Desvio padrão 3,7419

Desvio padrão percentual 79,07 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 37. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Inhumas-GO.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1975	30	6,07	6,10					8,56
1976	30	4,27	4,37	4,10	11		-2,00	8,68
1977	36	4,15	4,37	4,39	12	7	2,02	8,95
1978	36	4,22		3,87	11	9	-0,77	8,64

Média geral dos ensaios 4,7535 t/ha

Desvios ambientais

Média -0,8000 t/ha/ano

Desvio padrão 2,2123

Desvio padrão percentual 46,54 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 38. Estimativa de alguns parâmetros relacionados ao potencial de risco da cultura de milho; produtividade de grãos em t/ha; em Linhares-ES.*

Anos	NTT	MG	MCC		NCC	NCC	DA	CV
			Ano i - 1	Ano i	2	3	t/ha	(%)
1982	36	5,36	5,32	4,51				10,60
1983	25	4,45	5,62	2,71	10		-0,81	18,10
1984	36	2,58	2,55	5,00	13	4	-2,91	18,10
1985	36	5,00	5,05	4,44	19	7	2,46	11,60
1987	30	4,38			9	8	-0,60	15,40

Média geral dos ensaios 4,3532 t/ha

Desvios ambientais

Média -0,0587 t/ha/ano

Desvio padrão 5,7934

Desvio padrão percentual 133,08 %

* O significado das abreviaturas se encontra no Apêndice 1.

Tabela 39. Sumário das estimativas do potencial de risco da produtividade de grãos de sorgo granífero plantio época normal e em sucessão, e milho em época normal, em diversas localidades.

Local	Milho	Sorgo normal	Sorgo sucessão
Capinópolis	112,02	144,03	126,44
Jacarezinho	115,95		110,07
Santa Helena de Goiás	157,99		65,86
Birigui	130,97	125,00	
Cravinhos	82,77	118,02	
Golanésia	54,58	39,60	
Goiânia	79,07	149,94	
Linhares	133,08	121,09	
Londrina	122,89	170,37	
Matão	98,06	108,32	
Guarapuava	44,60	173,51	
Sete Lagoas	74,27	123,94	
Inhumas	46,54	76,28	
Santa Cruz do Sul		66,85	
Felixlândia		86,30	
Cachoeira Dourada		75,91	
Ponta Grossa		70,83	
Serra Talhada		157,55	
Caruaru		130,69	
Pelotas		59,90	

Na Tabela 39 são apresentados todos os locais em estudo e as estimativas do desvio padrão percentual dos desvios ambientais.

Observa-se Tabela 39 que a estimativa do risco para as duas culturas, nos diferentes sistemas de cultivo, foi bastante variável.

Nota-se que Goianésia e Pelotas sobressaíram-se como os locais, onde o cultivo de sorgo em época normal apresenta menor risco. Em seguida, bem próximo estão os locais: Santa Cruz do Sul, Ponta Grossa, Cachoeira Dourada, Inhumas e Felixlândia. O cultivo de sorgo em época normal tem maior risco em Londrina e Guarapuava.

Quando se compara os locais em que analisaram-se o cultivo do sorgo em sucessão, nota-se que em Santa Helena de Goiás este sistema de cultivo apresentou menor risco.

Já o milho apresentou menor risco em Guarapuava, Inhumas e Goiânia, bem aquém do valor estimado em Santa Helena de Goiás, considerado de maior magnitude.

Comparando-se os valores estimados para Capinópolis, Santa Helena de Goiás e Jacarezinho, observa-se que sorgo em sucessão em Santa Helena de Goiás apresenta significativamente menor risco, em relação ao milho e sorgo em época normal, apesar de que levaram em consideração poucos anos de experimentação.

Santa Helena de Goiás apresentou maior risco para a cultura do milho, em relação a todos os locais. Embora os resultados não sejam conclusivos, sugere-se que, em Santa

Helena de Goiás deva ser dada preferência a uma cultura de ciclo precoce, no plantio de verão, e cultivo do sorgo em sucessão a esta cultura principal. Observa-se também que a produtividade alcançada com o sorgo foi superior à obtida com milho, neste local..

Já em Capinópolis e Jacarezinho praticamente não houve diferença entre as culturas e sistemas de plantio.

Comparando-se as estimativas de milho e sorgo, em época normal, alguns locais se destacam, ora para uma cultura, ora para outra. Em Goiânia e Sete Lagoas a estimativa do risco da cultura do milho foi praticamente a metade em relação a sorgo em época normal. Nota-se nas Tabelas 32 e 36 que a produtividade de milho nestes dois locais foi relativamente alta e superior ao de sorgo (Tabelas 13 e 18). Outro fato a ser observado na Tabela 13 é que o desvio ambiental para o sorgo em Sete Lagoas, considerando os anos agrícolas 76/77 e 77/78 foi altíssimo. Isto talvez, pode ser explicado pela melhoria da condução do experimento, assim como, pela melhor adequação das práticas de cultivo, e domínio sobre estas. Tal afirmação, pode ser reforçada pelo altíssimo coeficiente de variação experimental obtido no primeiro ano de ensaio.

Em Guarapuava, analisando-se os dados das Tabelas 39, 8 e 26, observa-se que o agricultor terá menor risco cultivando milho, em época normal, do que o cultivo de sorgo. O potencial de risco na cultura do milho foi cerca de 4 vezes menor do que o sorgo. Além disto a produtividade do

milho foi também maior, muito embora, tenha-se utilizado poucos anos de experimentação.

Comparando-se as estimativas de Goianésia (Tabelas 17 e 35), verifica-se que o cultivo de sorgo granífero, época normal, apresentou menor risco do que o milho. A diferença de potencial de risco a favor do sorgo provavelmente diminuiria caso se considerasse maior número de anos de experimentação para ambas as culturas.

Em Matão e Inhumas o milho apresentou menor risco do que o sorgo apesar que em pequena magnitude, o que acredita-se que esta diferença diminuiria, caso considerasse maior número de anos de experimentação.

Em Birigui e Linhares a estimativa do potencial de risco foi maior em relação aos demais locais, mas diferiram pouco quando se comparam as duas culturas. Estas, praticamente, apresentam o mesmo risco nestes dois locais.

Quando se considera o sorgo em época normal de semeadura (Tabela 39), nos diversos locais, observa-se que Goianésia, Pelotas e Santa Cruz do Sul destacam-se como os locais onde a cultura apresenta menor risco. Interessante é notar que Londrina apresenta o maior risco, suplantando até aqueles locais considerados de maior risco, devido às condições climáticas mais adversas e severas à cultura, tais como, Serra Talhada e Caruarú.

Analisando-se a Tabela 39, nota-se que os menores valores das estimativas do risco de sorgo foram obtidos em locais onde não foi possível comparar com a

cultura do milho. Onde foi possível comparar as duas culturas a diferença entre ambas não foi tão evidente. Isto é possível porque estes ambientes não são tipicamente de estresse hídrico, onde o sorgo provavelmente sobressairia. Há necessidade de comparação em locais mais contrastantes.

Em relação ao objetivo deste trabalho, pode-se dizer que ele é perfeitamente passível de críticas. De fato, o ideal seria se tivesse instalado um conjunto de ensaios em diferentes localidades, que representassem as condições de cada região analisada, durante vários anos. Associado a estes ensaios, o acompanhamento das mudanças climáticas, assim como das variações de solo, enriqueceria e ajudaria o melhor entendimento dos resultados.

A comparação das duas culturas, ou mesmo de diversos sistemas de cultivo, em relação ao risco, é melhor visualizada quando são utilizados resultados de ensaios regionais, e principalmente, quando todo o potencial da cultura é expressado.

Outra crítica possível é dizer-se que os locais analisados não representam as áreas produtoras de grãos de sorgo e milho do país. Neste caso, a alternativa seria uma programação dos ensaios como mencionado anteriormente. Outro aspecto é que, se consideraram poucos anos de experimentação. Isto diz respeito a continuidade dos ensaios nacionais de milho e de sorgo, que na maioria das vezes reflete o pouco caso que a pesquisa agrícola enfrenta no país.

Os ensaios de sorgo, principalmente, sofrem

intenso ataque de pássaros, obrigando os pesquisadores a protegerem as panículas. Com isto, os dados de produção de grãos são estimados através de amostragens de panículas. Tal fato induz a uma variação experimental muito grande fazendo com que os resultados sejam subestimados ou mesmo superestimados. A solução seria coletar todas as panículas da parcela útil, entretanto para isto, seria necessário fazer adequado controle do ataque de pássaros.

Os ensaios nacionais, principalmente, de sorgo englobam diferentes materiais das diversas firmas, fazendo com que a variação no ciclo de maturação dos diversos materiais seja muito grande. Para facilitar a colheita em uma época só, geralmente os materiais são colhidos em diferentes graus de umidade, e não são feitas as devidas correções para um único valor. Isto faz com que haja uma subestimação do rendimento, dificultando a uma análise mais acurada dos materiais.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

1. O melhoramento genético do sorgo granífero no Brasil teve progresso substancial na produtividade de grãos no período 1974/1988. O ganho médio de 1,18%/ano, em relação à média de rendimento dos ensaios, foi variável de um local para outro.
2. A utilização de resultados dos ensaios nacionais mostrou-se viável para este tipo de estudo.
3. A análise da taxa de substituição de tratamentos dos ensaios refletiu o dinamismo dos programas de melhoramento, sugerindo atividade intensa já que a cada ano são incluídos 42,7% de materiais novos nos ensaios.
4. Os dados tomados predominantemente em locais da Região Centro-Sul do País, com semeadura em época normal, não permitiram demonstrar menor risco da cultura do sorgo, em relação à do milho, nestas condições.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E.; FERERES, E.; HSIAO, T.C.; HENDERSON, D.W.
Diurnal growth trends, water potential, and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiology*, Rockville, 64:476-80, 1979.

ACKERSON, R.C.; KRIEG, D.R.; SONG, F.J.M. Leaf conductance and osmoregulation of field-grown sorghum genotypes. *Crop Science*, Madison, 20:10-4, 1980.

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype, environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, Madison, 4:503-8, 1964.

ALVIN, P.T. & ARAUJO, W. El suelo como factor ecológico en el desarrollo de la vegetación en el Centro-Oeste del Brasil. *Turrialba*, Turrialba, 2:153-60, 1952.

ANDRÉ, M.; MASSIMONO, D.; DAGUENET, A. Daily patterns under the life cycle of a maize crop; i. Photosynthesis, transpiration, respiration. *Physiologia Plantarum*, København, 43:397-403, 1970.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1987/88, Brasília, CFP, 1988.

ARSIKAR, G.R. & CHAVAN, V.M. A study of heterosis in sorghum. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, New Delhi, 17:65-72, 1957.

AVELAR, B.C. & SANS, L.M.A. Efeito de veranico na produção de matéria seca de milho e sorgo. In: CONGRESSO DE MILHO E SORGO, 16., Belo Horizonte, 1986. Anais. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. p.192-202.

BEADLE, C.L.; STEVENSON, K.R.; NEUMANN, H.H.; THRELL, C.W.; KING, K.M. Diffusive resistance, transpiration and photosynthesis in single leaves of corn and sorghum in relation to leaf water potential. Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, 53:537-44, 1973.

BEIL, G.M. & ATKINS, R.E. Estimates of general and specific combining ability in F hybrids for grain yield and its components in grain sorghum. Crop Science, Madison, 7:225-9, 1967.

DHASKARAN, S.; SMITH, R.H.; NEWTON, R.J. Physiological changes in cultured sorghum cells in response to induced water stress. Plant Physiology, Rockville, 72:266-9, 1985.

BLUM, A. Nature of heterosis in grain production by the sorghum panicle. Crop Science, Madison, 10:28-31, 1970.

BLUM, A. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum yield under limited water supply. Agronomy, Journal, Madison, 62:333-6, 1970.

BLUM, A. Components analysis of yield responses to drought of sorghum hybrids. *Experimental Agriculture*, Londres, 2:159-67, 1973.

BLUM, A. Genotypic responses in sorghum to drought stress; I. Response to soil moisture stress. *Crop Science*, Madison, 14:361-4, 1974.

BLUM, A. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: a case for sorghum. In: MUSSELL, H.; STAPLES, R.C. *Stress physiology in crop plants*. New York, John Wiley, 1979. p. 429-46.

BLUM, A. & EBERCON, A. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science*, Madison, 16:428-31, 1976.

BLUM, A.; ARKIN, G.F.; JORDAN, W.R. Sorghum root morphogenesis and growth. I. Effect of maturity genes. *Crop Science*, Madison, 17:149-153, 1977b.

BLUM, A.; JORDAN, W.R.; ARKIN, G.F. Sorghum root morphogenesis and growth; II. Manifestation of heterosis. *Crop Science*, Madison, 17:153-7, 1977a.

BOERMA, H.R. Comparison of past and recently developed soybean cultivars in maturity groups VI, VII and VIII. *Crop Science*, Madison, 19:611-3, 1979.

BORGONOVÍ, R.A.; SANTOS, F.G.; SCHAFFERT, R.E. Síntese e melhoramento de populações de intercruzamento em sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench); I. Desenvolvimento da população BRP5BR, com tolerância à toxicidade de alumínio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14, Florianópolis, 1982. Resumos. Florianópolis, EMPASC, 1982. p. 34.

BORGONOVÍ, R.A.; SCHAFFERT, R.E.; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R.; ALVES, V.M.C. Aluminum tolerance in sorghum. In: GABELMAN, H.W. & LOUGHMAN, B.C. Genetics aspects of plant mineral nutrition. Madison, 1985. Dordrecht, Netherlands, Martinus Nijhoff, 1987. p. 213-21.

BOYER, J.S. & Mc PHERSON, H.G. Physiology of water deficits in cereal crops. *Advances in Agronomy*, New York, 22:1-24, 1975.

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Sorgo. Rio de Janeiro, Papelaria Ouvidor, 1918. 8p.

BRASIL - Banco do Nordeste. Avaliação das Pesquisas realizadas com a cultura do sorgo, no Estado do Ceará. Fortaleza, BNB/FCPC/FUNDAÇÃO FORD/UFC, 1980. 105 p.

BRASIL - Banco do Nordeste. Cultura do sorgo granífero e forrageiro. Avaliação de resultados experimentais de Pernambuco. Recife, BNB/IPA/UFRPE/FUNDAÇÃO FORD, 1979. 65p.

- CACCO, G.; SACCOMANI, M.; FERRARI, G. Changes in the uptake and assimilation efficiency for sulfate and nitrate in maize hybrids selected during the period 1930 through 1975. *Physiologia Plantarum*, Kobenhavn, 58:171-4, 1983.
- CAMARGO, A.P. Viabilidade e limitações climáticas para a cultura do milho no Brasil. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. Cultura e adubação do milho. São Paulo, 1966. p.225-45.
- CASELA, C.R. & FERREIRA, A.S. Resistencia horizontal de cultivares de sorgo a *Colletotrichum graminicola*, agente causal da antracnose. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16; Belo Horizonte, 1986. Resumos. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1986, p.86.
- CASELA, C.R. & FERREIRA, A.S. Reação de genótipos de sorgo a sete patótipos de *Colletotrichum graminicola*, agente causal da antracnose. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, 12:60-62, 1987.
- CASTRO, P. O Sorgo. São Paulo, Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, 1932. 11p.
- CHIANG, M.S. & SMITH, J.D. Diallel analysis of the inheritance of quantitative characters in grain sorghum. I Heterosis and inbreeding depression. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, Ottawa, 9:44-51, 1967.

- CLARK, L.E. Embryonic leaf number in sorghum. *Crop Science*, Madison, 12:307-9, 1970.
- CRUZ, I. Resistência de genótipos de sorgo ao pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera, Aphididae). Piracicaba, 1986. 222p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- DESAI, M.S.; DESAI, K.B.; KUKADIA, M.U. Heterosis and combining ability in grain sorghum. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Delhi 55:303-5, 1985.
- DOBZHANSKY, T. & WALLACE, B. The genetics of homeostasis in *Drosophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, 32:162-71, 1953.
- DOGGETT, H. Sorghum. Harlow, Longman, 1970. 403p.
- DOGGETT, H. The improvement of sorghum in East Africa. In: RAO, N.G.P. & HOUSE, L.R., ed *Sorghum in Seventies*. New Delhi, Oxford & IBH, 1972. p.47-59.
- DOGGETT, H. & JOWETT, D. Yields of maize, sorghum varieties and sorghum hybrids in the East African lowlands. *The Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 42:31-9, 1966.
- DOWNEY, L.A. Water use by maize at three plant densities. *Experimental Agriculture*, Londres, 7:161-9, 1971.
- DUVICK, D.N. Genetic rates of gain in hybrid maize yields during the past 40 years. *Maydica*, Bergamo, 22:187-96, 1977.

DUVICK, D.N. Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980. In: FEHR, W.R., ed. Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. Madison, Crop Science Society of America/American Society of Agronomy, 1984. p.15-47.

EBERCON, A.; BLUM, A.; JORDAN, W.R. A rapid colorimetric method for epicuticular wax content of sorghum leaves. Crop Science, Madison, 17:179-80, 1977.

EDERHART, S.A. & RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, Madison, 6:36-40, 1966.

ECK, H.V. & MUSICK, J.T. Plant water stress effects on irrigated grain sorghum; I. Effects on yield. Crop Science, Madison, 19:589-92, 1979.

EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1979-1980. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1981. 207p.

EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1980-1984. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1986. 190p.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Programa Nacional de Pesquisa de Sorgo. In: _____. Plano Diretor da EMBRAPA. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1987. p.29-52.

- FERNANDES, J.S.C. Estabilidade ambiental e de cultivares de milho (*Zea mays* L) na Região Centro-Sul do Brasil. Piracicaba, 1988. 94p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- FERREIRA, A.S. & WARREN, H.L. Resistance of sorghum to *Colletotrichum graminicola*. Plant Disease, St. Paul, 66:773-5, 1982.
- FISCHER, K.S.; JOHNSON, E.C.; EDMANDES, G.O. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. El Sertan, Mexico, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1984. 20p.
- FISCHER, R.A. & WILSON, G.L. Studies of grain production in *Sorghum bicolor* (L) Moench; III The relative importance of assimilate supply, grain growth capacity and transport system. Australian Journal of Agricultural Science, Melbourne, 26:11-23, 1975.
- FISCHER, R.A. & WOOD, J.T. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. Australian Journal of Agricultural Science, Melbourne, 30:1001-20, 1979.
- FURLANI, P.R. & BASTOS, C.R. Evidências de um controle genético simples envolvido na tolerância de sorgo a alérgico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14; Belo Horizonte, 1986. Anais. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. p.409-15.

FURLANI, P.R.; BASTOS, C.R.; BORGONOV, R.A.; SCHAFFERT, R.E.
Resposta diferencial de genótipos de sorgo para tolerância
ao alumínio em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária
Brasileira, Brasília, 22:323-30, 1987.

GALLI, A.J.B.; LARA, F.M.; BARBOSA, J.C. Resistência de
genótipos de sorgo à *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852)
(Homoptera - Aphididae). Anais da Sociedade Entomológica
Brasileira, Itabuna, 20:337-57, 1981.

GIBSON, P.T. & SCHERTZ, K.F. Growth analysis of a sorghum
hybrid and its parents. Crop Science, Madison, 17:387-91,
1977.

HALLAUER, A.R. & TROYER, A.F. Prolific corn hybrids and
minimizing risk of stress. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM
INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 27, Chicago, 1972.
Proceedings. Washington, American Seed Trade Association,
1972. p.140-57.

HEINRICH, G.M.; FRANCIS, C.A.; EASTIN, J.D. Stability of
grain sorghum yield components across diverse environments.
Crop Science, Madison, 23:209-12, 1983.

HENZELL, R.G.; MCCREE, K.J.; VAN BAVEL, C.H.M.; SCHERTZ, K.F.
Method for screening sorghum genotypes for stomatal
sensitivity to water deficits. Crop Science, Madison,
15:516-8, 1975.

HOFMANN, W.C.; O'NEILL, M.K.; DOBRENZ, A.K. Physiological responses to sorghum hybrids and parental lines to soil moisture stress. *Agronomy Journal*, Madison, 24:323-8, 1984.

JENSEN, S.D. Breeding for drought and heat tolerance in corn. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 26, Chicago, 1971. Proceedings. Washington, American Seed Trade Association, 1971. p.198-208.

JONES, M.M. & TURNER, N.C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. *Plant Physiology*, Rockville, 61:122-6, 1979.

JORDAN, W.R.; MILLER, F.R.; MORRIS, D.E. Genetic variation in root and shoot growth of sorghum in hydroponics. *Crop Science*, Madison, 19:468-72, 1979.

JORDAN, W.R. & MONK, R.L. Enhancement of drought resistance of sorghum: progress and limitations. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 35, Chicago, 1980. Proceedings. Washington. American Seed Trade Association, 1980. p.185-204.

JORDAN, W.R. & SULLIVAN, C.Y. Reaction and resistance of grain sorghum to heat and drought. In: HOUSE, L.R.; MUGHOGHO, L.K.; PEACOCK, J.M., ed. *Sorghum in the eighties*. Patancheru, ICRISAT, 1982. p.131-42. (International Symposium on Sorghum, Patancheru, 1981, Proceedings).

JOWETT, D. Yield stability parameters for sorghum in East Africa Crop Science, Madison, 12:314-17, 1972.

KAMBAL, A.E. & MAHMOUD, M.A. Genotype x environment interactions in sorghum variety tests in the Sudan central rainlands. Experimental Agriculture, London, 14:41-8, 1978.

KAMBAL, A.E. & WEBSTER, O.J. Estimates of general and specific combining ability in grain sorghum, *Sorghum vulgare* Pers. Crop Science, Madison, 5:521-3, 1965.

KAMBAL, A.E. & WEBSTER, O.J. Manifestations of hybrid vigour in grain sorghum and the relations among the components of yield, weight per bushel, and height. Crop Science, Madison, 6:513-5, 1966.

KHANNA-CHOPRA, R. Photosynthesis, photosynthesis enzymes and leaf area development in relation to hybrid vigour in *Sorghum vulgare* L. Photosynthesis Research, Hague, 3:113-22, 1982.

KIRBY, J.S. & ATKINS, R.E. Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Crop Science, Madison, 8:335-9, 1968.

KOFOID, K.D.; ROSS, W.M.; MUMM, R.F. Yield stability of sorghum random-mating populations. Crop Science, Madison, 18:677-9, 1978.

- LAOSUWAN, P. & ATKINS, R.E. Estimates of combining ability and heterosis in converted exotic sorghum. *Crop Science*, Madison, 12:47-50, 1977.
- LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses; Physiological ecology. New York, Academy Press, 1972. 697p.
- LEWIS, D. Gene environment interaction; a relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability *Heredity*, London, 3:333-56, 1954.
- LEWIS, R.B.; HILER, E.A.; JORDAN, W.R. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. *Agronomy Journal*, Madison, 66:589-91, 1974.
- LIANG, G.H. Diallel analysis of agronomic characters in grain sorghum, *Sorghum vulgare Pers.* *Canadian Journal of Genetic and Cytology*, Ottawa, 2:269-76, 1967.
- LIANG, G.H.; REDDY, C.R.; DAYTON, A.D. Heterosis, inbreeding depression, and heritability estimates in a systematic series of grain sorghum genotypes. *Crop Science*, Madison, 12:409-11, 1972.
- LIRA, M.A.; TABOSA, J.N.; FRANÇA, J.G.E.; MACIEL, G.A.; ARAUJO, M.R.A.; SANTOS, J.P.O. Avaliação de genótipos de sorgo granífero. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 24:807-12, 1989.

MARTIN, J.H. The comparative drought resistance of sorghums and corn. *Journal of the American Society of Agronomy*, Madison, 22:993-1003. 1930.

MAUNDER, A.B. Meeting the challenge of sorghum improvement. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 24, Chicago, 1969. Proceedings. Washington, American Seed Trade Association, 1969. p.135-51.

MAUNDER, A.B. Objectives and approaches to grain and forage sorghum improvement in the Americas. In RAO, N.G.P.; HOUSE, L.R., ed Sorghum in seventies. New Delhi, Oxford & IBH, 1972. p. 60-100.

MAYAKI, N.C.; STONE, L.R.; TEARE, I.D. Irrigated and nonirrigated soybean, corn, and grain sorghum root systems. *Agronomy Journal*, Madison, 68:532-4, 1976.

MEREDITH JR., W.R. & BRIDGE, R.R. Genetic contributions to yield changes in upland cotton. In: FEHR, W.R., ed. Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. Madison, Crop Science Society of Agronomy, 1984. p. 75-87.

MILLER, F.R. Twin-seeded sorghum hybrids--fact or fancy? In: ANNUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 31., Chicago, 1976. Proceedings. Washington, American Seed Trade Association, 1976. p.24-37.

MILLER, F.R. & KEBEDE, Y. Genetic contributions to yield gains in sorghum, 1950 to 1980. In: FEHR, W.R., ed. Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. Madison, Crop Science Society of America/American Society of Agronomy, 1984. p.1-14.

MOSS, D.N.; WOOLLEY, J.T.; STONE, J.F. Plant modification for more efficient water use: the challenge. *Agricultural Meteorology* Amsterdam, 14:311-20, 1974.

NEUMAN, H.H.; THURTELL, G.W.; STEVENSON, K.R. Leaf water content and potential in corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, 54:185-95, 1974.

NIEHAUS, M.H. & PICKETT, R.C. Heterosis and combining ability in a diallel cross in *Sorghum vulgare* Pers. *Crop Science*, Madison, 6:33-6, 1966.

PATANOTHAI, A. & ATKINS, R.E. Heterotic response for vegetative growth and fruiting development in grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench *Crop Science*, Madison, 11:839-43, 1971.

PATANOTHAI, A. & ATKINS, R.E. Genetic effects for mean yield and for yield responses to environments in three-way and single-cross hybrids of grain sorghum. *Crop Science*, Madison, 14:485-8, 1974a.

PATANOTHAI, A. & ATKINS, R.E. Yield stability of single crosses and three-way hybrids of grain sorghum. *Crop Science*, Madison, 14:287-90, 1974b.

PATEL, R.H.; DESAI, K.B.; DOSHI, S.P.; DESAI, D.T. Phenotypic stability for panicle characters in grain sorghum, *Indian Journal of Agricultural Science*, New Delhi, 54:530-4, 1984.

PATERNIANI, E. Interação genótipo x ambiente em climas tropicais e sub-tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., Belo Horizonte, 1986. Anais. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. p.378-82.

PINTO, N.F.J. A. Virus do mosaico da cana-de-açúcar em sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): caracterização de isolados, reação de cultivares e herança de resistência. Piracicaba, 1984. 136p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

POWELL, P.; WEIBEL, D.; SOTOMAYER, A.; ALAMEDA, M. Increased susceptibility of bloomless sorghum to foliar fungal problems. *Sorghum Newsletter*, Tucson, 20:76-7, 1977.

PRINE, G.M. A critical period of ear development in maize. *Crop Science*, Madison, 11:702-6, 1971.

QUINBY, J.R. Manifestations of hybrid vigor in Sorghum *Crop Science*, Madison, 3:288-91, 1963.

QUINBY, J.R. Leaf and panicle size of sorghum parents and hybrids. Crop Science, Madison, 10:251-4, 1970.

QUINBY, J.R. The genetic control of plant growth in sorghum. In: RAO, N.G.P. & HOUSE, L.R., ed. Sorghum in seventies. New Delhi, Oxford & IBH, 1972. p.161-72.

QUINBY, J.R. Sorghum improvement and the genetics of growth. College Station, Texas A & M University Press, 1974. 108p.

QUINBY, J.R. & LIANG, G.H. Leaf number and duration to floral initiation and flowering of sorghum parents and hybrids. Canadian Journal of Genetic and Cytology, Ottawa, 11:275-80, 1969.

RANA, B.S.; BALAKOTAIAH, K.; TRIPATHI, D.P.; RAO, N.G.P. Adaptability of grain sorghum hybrids and varieties in India. In: RAO, N.G.P. & HOUSE, L.R., ed. Sorghum in seventies. New Delhi, Oxford & IBH. 1972. p.528-35.

RAO, C.R. Linear Statistical Inference. 2. ed. New York, John Wiley, 1973. 625p.

RAO, N.G.P. Genotype x environment interaction in grain sorghum hybrids. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, New Delhi, 30:75-80, 1970.

RAO, N.G.P. Sorghum breeding in India recent developments. In: RAO, N.G.P. & HOUSE, L.R., ed. Sorghum in seventies. New Delhi, Oxford & IBH, 1972. p.101-12.

RAO, N.G.P. & HARINARAYANA, G. Phenotypic stability of hybrids and varieties in grain sorghum. *Current Science*, Columbus, 38:97-8, 1969.

REICH, V.H. & ATKINS, R.E. Yield stability of four population types of grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, in different environments. *Crop Science*, Madison, 10:511-7, 1970.

REICHARDT, K. Sugestões para pesquisas sobre deficiências hídricas em solos de Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: bases para utilização agropecuária, 4., Brasília, 1976. Anais. Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p.247-53.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 14., Porto Alegre, 1985. Anais. Porto Alegre, EMBRAPA/IPAGRO, 1985. 189p.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 13., Pelotas, 1984. Anais. Pelotas, EMBRAPA/IPAGRO, 1986. 293p.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 16., Pelotas, 1987. Anais. Capão do Leão, CPATE/EMBRAPA, 1987. 294p.

RITCHIE, J.T. Atmospheric and soil water influences on plant water balance. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, 14:183-98, 1974.

ROSENOW, D.T. & CLARK, L.E. Drought tolerance in sorghum. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 36., Chicago, 1981. Proceedings. Washington, American Seed Trade Association, 1981. p.18-30.

ROSENOW, D.T. & QUISENBERRY, J.E.; WENDT, C.W.; CLARK, L.E.
Drought tolerant sorghum and cotton germplasm Agricultural
Water Management, Amsterdam, Z:207-22, 1983.

ROSS, W.M. Performance of three-way sorghum hybrids. In:
ANNUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 24.,
Chicago, 1969. Proceedings. Washington, American Seed Trade
Association, 1969, p.129-34.

ROSS, W.M. Effect of bloomless (blbl) on yield in combine
kafir-60. Sorghum Newsletter, Tucson, 15:121, 1972.

ROSS, W.M. Use of population breeding in sorghum-problems and
progress. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH
CONFERENCE, 28., Chicago, 1973. Proceedings. Washington,
American Seed Trade Association, 1973, p.30-43.

RUSSELL, W.A. Comparative performance for maize hybrids
representing different eras of maize breeding. In: ANNUAL
CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 29.,
Chicago, 1974. Proceedings. Washington, American Seed Trade
Association, 1974, p.81-101.

RUSSELL, W.A. Agronomic performance of maize cultivars
representing different eras of breeding. Maydica, Bergamo,
22:375-90, 1984.

RUSSELL, W.A. Evaluations for plant, ear and grain traits in
maize cultivars representing seven eras of breeding.
Maydica, Bergamo, 32:85-96, 1985.

SAEED, M. & FRANCIS, C.A. Association of weather variables with genotype x environment interactions in grain sorghum. Crop Science, Madison, 24:13-6, 1984.

SANCHEZ-DIAZ, M.F. & KRAMER, P.J. Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery. Plant Physiology, Rockville, 48:613-6, 1971.

SAXENA, M.B.L. & MURTY, B.R. Genotype-environment interactions in assessment of genetic divergence in world collection of sorghum. Genetica Agraria, Roma, 28:364-80, 1974.

SCHAFFERT, R.E & TREVISAN, W.L. Aspectos gerais da cultura do sorgo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SORGO, 1., Brasília, 1977. Anais. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1979. p.25-9.

SCHMIDT, J.W. Genetic contributions to yield gains in wheat. In: FEHR, W.R., ed. Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. Madison, Crop Science Society of Agronomy, 1984. p.87-101.

SCHUTZ, W.M. & BERNARD, R.L. Genotype x environment interactions in the regional testing of soybean strains. Crop Science, Madison, 7:125-30, 1967.

SEETHARAMA, N.; REDDY, B.V.S.; PEACOCK, J.M.; BINDER, F.R. Sorghum improvement for drought resistance. In: DROUGHT resistance in crops with emphasis on rice. Patancheru, ICRIAT, 1983. p.317-38.

SILVA, G.L.P.; VICENTE, J.R.; CASER, D.V. Efeitos das condições de tempo sobre a produtividade do milho no Estado de São Paulo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 22:225-31, 1987.

SINHA, S.K. & KHANNA, R. Physiological, biochemical, and genetic basis of heterosis. Advance in Agronomy, New York, 22:123-74, 1975.

SLATYER, R.O. Physiological significance of international water relations of crop yield. In: EASTIN, J.D., ed. Physiological aspects of crop yield. Washington, American Society of Agronomy, 1969. p.53-88.

SNEEP, J. & HENDRIKSEN, A.J.T. Plant breeding Perspectives. Wageningen, Center for Agricultural Publishing and Documentation, 1979. 435p.

SPECHT, J.E. & WILLIAMS, J.H. Contribution of genetic technology to soybean productivity - Retrospect and prospect. In: FENN, H.R., ed. Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. Madison, Crop Science Society of America/American Society of Agronomy, 1984. p.49-74.

STEPHENS, J.C. Male sterility in sorghum, its possible utilization in production of hybrid seed. Journal American Society Agronomy, Madison, 22:693-6, 1937.

STEPHENS, J.C. & HOLLAND, R.F. Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum seed production. *Agronomy Journal*, Madison, 44:20-3, 1954.

STOUT, D.C. & SIMPSON, G.M. Drought resistance of *Sorghum bicolor*; I Drought avoidance mechanisms related to leaf water status. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, 58:213-24, 1978.

SULLIVAN, C.Y. Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. In: RAO, N.S.P. & HOUSE, L.R., ed. *Sorghum in Seventies*, New Delhi, Oxford & IBH, 1972. p.247-63.

SULLIVAN, C.Y. & ROSS, W.M. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: MUSSELL, H. & STAPLES, R.C. *Stress physiology in crop plants*, New York, John Wiley, 1979. p.263-81.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. *Maydica*, Bergamo, 22:49-75, 1974.

TORRES, R.A.A. Estudo do controle genético da estabilidade fenotípica de cultivares de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1988. 133p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

TURNER, N.C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: MUSSELL, H. & STAPLES, R.C. *Stress physiology in crop plants*, New York, John Wiley & Sons, 1979. p.343-72.

VENCovsky, R. O milho e sorgo no contexto sócio-econômico do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., Nacelô, 1984. Anais. Brasília, 1986. p.405-18.

VENCovsky, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. & VIEGAS, G.P., ed. Melhoramento e produção do milho. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.137-214.

VENCovsky, R.; & BARRIGA, G.P. Genética biométrica aplicada ao fitomelhoramento. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1990. (no prelo).

VENCovsky, R.; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1986. Anais, Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. p.300-7.

VENCovsky, R. & TORRES, R.A.A. Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1986. Anais. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. p.294-300.

VENTURA, C.A.O. Interação genótipo x ambiente em sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) nos Estados de Pernambuco e Paraíba - Brasil. Piracicaba, 1972. 61p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

VIRMANI, S.S. & EDWARDS, I.B. Current status and future prospects for breeding hybrid rice and wheat. *Advances in Agronomy*, New York, 34:145-214, 1983.

WEBSTER, O.J. Sorghum studies in Arizona. *Sorghum Newsletter*, Tucson, 20:181, 1977.

WEIBEL, D.E. & STARKS, K.J. Greenbug counts on bloom and bloomless sorghums, 1976. *Sorghum Newsletter*, Tucson, 20:110-1, 1977.

WILCOX, J.R.; SCHAPAUGH Jr., W.T.; BERNARD, R.L.; COOPER, R.L.; FEHR, W.R.; NIEMAUS, M.H. Genetic improvement of soybeans in the Midwest. *Crop Science*, Madison, 12:803-5, 1979.

WILSON, N.D.; WEIBEL, D.E.; McNEW, R.W. Diallel analyses of grain yield, percent protein, and protein yield in grain sorghum. *Crop Science*, Madison, 18:491-5, 1978.

APPENDIX 1

Appendix 1

Appendix 1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

2

APPENDIX 1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

APPENDIX 1

APPENDICE

APÊNDICE 1- Significado das abreviaturas das Tabelas 4 a 24
e 26 a 38.

Anos: Designação do ano agrícola, considerando-se o ano de colheita do ensaio.

NTT: Número total de cultivares do ensaio.

MG: Média geral do ensaio.

MCC: Média dos cultivares comuns nos anos i e $(i - 1)$.

NCC₂: Número de cultivares comuns a dois anos agrícolas consecutivos.

NCC₃: Número de cultivares comuns a três anos agrícolas consecutivos.

DA: Diferença de produção de grãos entre um ano agrícola e o anterior (desvio ambiental) para cultivares comuns.

DG: Desvios genéticos.

CV: Coeficiente de variação dos ensaios.

APÊNDICE 2- Obtenção da expressão utilizada para estimar o valor de $\hat{v}ar(g)$, considerando um par de anos i e $(i-1)$.

$$g(i, i-1) = \left[\left(\frac{Y_{n(i, i-1)}}{T_i} - \frac{Y_{v(i-1, i)}}{T_{(i-1)}} \right) + Y_{c(i, i-1)} \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{C_i} \right) - Y_{c(i-1, i)} \left(\frac{1}{T_{(i-1)}} - \frac{1}{C_{(i-1)}} \right) \right]$$

$$var(g(i, i-1)) = \left[\left(\frac{N(i, i-1)\hat{\sigma}_e^2}{T_i^2} + \frac{V(i-1, i)\hat{\sigma}_e^2}{T_{(i-1)}^2} \right) + C_{(i, i-1)}\hat{\sigma}_e^2 \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{C_i} \right)^2 + C_{(i-1, i)}\hat{\sigma}_e^2 \left(\frac{1}{T_{(i-1)}} - \frac{1}{C_{(i-1)}} \right)^2 \right]$$

onde:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{R}$$

$\hat{\sigma}_e^2$ = Quadrado médio dos resíduos

$$C_{(i, i-1)} = C_{(i-1, i)} = C_i$$

então:

$$\hat{v}ar(g(i, i-1)) = \hat{\sigma}_e^2 \left\{ \left(\frac{N(i, i-1)}{T_i^2} + \frac{V(i-1, i)}{T_{i-1}^2} \right) + C_i \left[\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{C_i} \right)^2 + \left(\frac{1}{T_{(i-1)}} - \frac{1}{C_i} \right)^2 \right] \right\}$$

sendo:

$$T_i = N_{(i,i-1)} + C_i ;$$

$T_{(i-1)} = V_{(i-1,i)} + C_i$; então tem-se:

$$\hat{\text{var}}(\mathcal{J}_{(i,i-1)}) = \hat{\sigma}^2 \left(\frac{2}{C_i} - \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_{(i-1)}} \right)$$

APÊNDICE 3 - Obtenção da expressão utilizada para estimar o valor de $cov(g)$, considerando três anos de experimentação.

$$g(i, i-1) = \left[\frac{Y_i}{T_i} - \frac{Y_{(i-1)}}{T_{(i-1)}} - \left(\frac{Y_{C(i, i-1)} - Y_{C(i-1, i)}}{C_i} \right) \right]$$

$$g(i+1, i) = \left[\frac{Y_{i+1}}{T_{i+1}} - \frac{Y_i}{T_i} - \left(\frac{Y_{C(i+1, i)} + Y_{C(i, i+1)}}{C_{(i-1)}} \right) \right]$$

Quadro auxiliar para facilitar o entendimento do desdobramento da expressão da $cov(g)$.

$g(i+1, i)$	$g(i, i-1)$			
	$+Y_i/T_i$	$-Y_{(i-1)}/T_{(i-1)}$	$-Y_{C(i, i-1)}/C_i$	$+Y_{C(i-1, i)}/C_i$
$-Y_{i+1}/T_{i+1}$	0	0	0	0
$-Y_i/T_i$	-	0	+	0
$-Y_{C(i+1, i)}/C_{i+1}$	0	0	0	0
$+Y_{C(i, i+1)}/C_{i+1}$	+	0	-	0

então: $\frac{Y_i^2}{T_i^2} \Rightarrow -\text{cov} \left(\frac{Y_i}{T_i}, \frac{Y_i}{T_i} \right) = -\frac{T_i \sigma^2}{T_i^2} = -\frac{\sigma^2}{T_i}$

$+\frac{Y_i Y_{C(i,i-1)}}{T_i C_i} \Rightarrow \text{cov} \left(\frac{Y_i}{T_i}, \frac{Y_{C(i,i-1)}}{C_i} \right) = \frac{C_i \sigma^2}{T_i C_i} = \frac{\sigma^2}{T_i}$

$+\frac{Y_i Y_{C(i,i+1)}}{T_i C_{(i+1)}} \Rightarrow \text{cov} \left(\frac{Y_i}{T_i}, \frac{Y_{C(i,i+1)}}{C_{(i+1)}} \right) = \frac{C_{(i+1)} \sigma^2}{T_i C_{(i+1)}} = \frac{\sigma^2}{T_i}$

$-\frac{Y_{C(i,i+1)} Y_{C(i-1,i)}}{C_{(i+1)} C_i} \Rightarrow -\text{cov} \left(\frac{Y_{C(i,i+1)}}{C_{i+1}}, \frac{Y_{C(i-1,i)}}{C_i} \right) = -\frac{C_{(i-1,i-i+1)} \sigma^2}{C_{(i+1)} C_i}$

então tem-se:

$$\text{cov}(g_{(i,i-1)}, g_{(i+1,i)}) = -\sigma^2 \left(\frac{C_{(i-1,i,i+1)}}{C_{(i+1,i)} C_{(i,i-1)}} - \frac{1}{T_i} \right)$$

APÊNDICE 4- Obtenção da expressão utilizada para estimar o valor de $\hat{v}ar(a)$, considerando um par de anos i e $(i-1)$.

Considerando que:

$$a_{(i,i-1)} = \frac{Y_{C(i,i-1)}}{C_{(i,i-1)}} - \frac{Y_{C(i-1,i)}}{C_{(i-1,i)}}$$

onde:

$C_{(i,i-1)} = C_{(i-1,i)} =$ número de cultivares comuns aos anos $(i-1)$ e i .

$$Y_{C(i,i-1)} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{C_{ij}} = \bar{Y}_{C_{i1}} + \bar{Y}_{C_{i2}} + \dots + \bar{Y}_{C_{in}}$$

$$Y_{C(i-1,i)} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{C_{(i-1,j)}} = \bar{Y}_{C_{(i-1,1)}} + \bar{Y}_{C_{(i-1,2)}} + \dots + \bar{Y}_{C_{(i-1,n)}}$$

onde:

$$\bar{Y}_{C_{ij}} = \frac{Y_{C(ij)}}{r}$$

$$\bar{Y}_{C_{(i-1,j)}} = \frac{Y_{C(i-1,j)}}{r}$$

então:

$$a_{(i,i-1)} = \frac{1}{n} \left[\left(\bar{Y}_{C_{i,1}} + \bar{Y}_{C_{i,2}} + \dots + \bar{Y}_{C_{i,n}} \right) - \left(\bar{Y}_{C_{(i-1,1)}} + \bar{Y}_{C_{(i-1,2)}} + \dots + \bar{Y}_{C_{(i-1,n)}} \right) \right]$$

Tem-se que:

$$\hat{\text{var}}(a_{(i,i-1)}) = \frac{1}{n^2} \cdot 2n \hat{\sigma}_e^2$$

então:

$$\hat{\text{var}}(a_{(i,i-1)}) = \frac{2}{C_{(i,i-1)}} \cdot \frac{QMR}{R}$$

APÊNDICE 5- Obtenção da expressão utilizada para estimar o valor de $\hat{cov}(a)$, considerando três anos de experimentação.

$$\begin{aligned} cov(a_{(i,i-1)}, a_{(i+1,i)}) &= cov \left[\left(\frac{y_{c(i,i-1)}}{c_{(i-1,i)}} - \frac{y_{c(i-1,i)}}{c_{(i,i-1)}} \right), \left(\frac{y_{c(i+1,i)}}{c_{(i+1,i)}} - \frac{y_{c(i,i+1)}}{c_{(i,i+1)}} \right) \right] \\ cov(a_{(i,i-1)}, a_{(i+1,i)}) &= \left[- cov \left(\frac{y_{c(i,i-1)}}{c_{(i-1,i)}}, \frac{y_{c(i,i+1)}}{c_{(i,i+1)}} \right) \right] \\ &= - \frac{c_{(i-1,i,i+1)} \hat{\sigma}^2}{c_{(i-1,i)} c_{(i,i+1)}} \end{aligned}$$

$$\text{como } \hat{\sigma}^2 = \frac{QMR}{R}$$

tem-se:

$$\hat{cov}(a_{(i,i-1)}, a_{(i+1,i)}) = - \left[\frac{c_{(i-1,i,i+1)}}{c_{(i-1,i)} c_{(i,i+1)}} \cdot \frac{QMR}{R} \right]$$