



NAYARA NORRENE LACERDA DURÃES

HETEROSE EM SORGO SACARINO

LAVRAS – MG

2014

NAYARA NORRENE LACERDA DURÃES

HETEROSE EM SORGO SACARINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Coorientador

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Durães, Nayara Norrene Lacerda.

Heterose em Sorgo Sacarino / Nayara Norrene Lacerda Durães.
– Lavras : UFLA, 2014.

96 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: José Airton Rodrigues Nunes.

Bibliografia.

1. Etanol. 2. Dialelo. 3. Efeito heterótico. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.62

NAYARA NORRENE LACERDA DURÃES

HETEROSE EM SORGO SACARINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2014.

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho UFLA

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella EMBRAPA - CNPMS

Dr. José Airton Rodrigues Nunes
Orientador

LAVRAS – MG

2014

A Deus, por iluminar meus passos durante essa jornada, me dando calma e tranquilidade para encarar os desafios.

Aos meus pais, Sebastião e Luzinete, pelo exemplo, apoio e carinho durante todas as etapas de minha formação.

A minha querida avó Erestina, minha inspiração na busca de meus objetivos.

Aos meus irmãos Arlen e Nádia, pela amizade e companheirismo, por me presentear com meus sobrinhos amados Alice, Ana Cecília, Arthur e Vinicius.

Aos grandes amigos que fizeram parte dessa caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de Pós- Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao meu orientador José Airton Rodrigues Nunes pelo exemplo profissional, conhecimentos passados e principalmente pela amizade construída.

Ao meu coorientador e cunhado o Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella por tornar o trabalho possível, pelo apoio incondicional, disponibilidade e parceria.

A todos os professores do departamento de biologia incansáveis ao repassar todo o conhecimento em especial ao professor Magno pelas valiosas sugestões e apoio durante a condução do trabalho e a professora Flávia pelo apoio e amizade.

Ao professor Adriano Bruzi sempre presente, disposto a incrementar e a contribuir para o sucesso do trabalho.

A todos os amigos do grupo do Sorgo pelo esforço, trabalho e pela amizade construída em especial a Gabi e a Tali.

Aos amigos que muito contribuíram durante as etapas de árduo trabalho de campo Davi Josiel, Vinnicius, Rafael, Felipe (sardinha), todo o pessoal do melhoramento do programa da Fitotecnia.

Aos colegas de mestrado e de departamento que com sua amizade tornaram o trabalho mais leve e pela amizade inesquecível em especial a Larissa, Rita, Samira, Lilian, Paulinho, Danuza, Dayane, Davi.

As amigas inseparáveis Gizeli e Natália presentes em todos os momentos de minha vida.

As amigas de república Thais, Flávia, Luana e Paula pela paciência e carinho.

A toda minha família, minha base de sustentação em especial ao meu tio Gilmar que mesmo longe sempre se fez presente com seu carinho e orações.

A todos os funcionários de campo Léo, Lindolfo e José Carlinhos, pela ajuda na condução dos experimentos de campo e as funcionárias do departamento Dona Iron e Sebastiana (Dú) pela amizade.

A todas as pessoas que me auxiliaram direta ou indiretamente, para a conclusão e sucesso deste trabalho.

Muito obrigada, vocês são parte disso

A força não vem da capacidade física, ela vem de uma vontade inabalável.

Mahatma Gandhi

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho de linhagens e híbridos de sorgo sacarino e, especificamente, verificar e analisar o efeito heterótico relativo aos principais caracteres agronômicos e tecnológicos. Para isso foi realizado um cruzamento dialélico parcial envolvendo três linhagens macho-estéreis (A) e dez linhagens restauradoras (R) de sorgo sacarino do Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS). Os híbridos e linhagens foram avaliados em três localidades distintas do estado de Minas Gerais na safra 2012/2013. Os experimentos foram instalados em delineamento alfa-látice, com três repetições. Os seguintes caracteres foram avaliados: florescimento (FLOR), altura de plantas (AP), produção de massa verde (PMV), classificados como agronômicos, e os tecnológicos, extração (EXT), sólidos solúveis totais (SST), tonelada de brix por hectare (TBH), sacarose em % de colmo (POLc), açúcares redutores totais (ARTc), açúcares totais recuperáveis (ATR) e produção de álcool em litros por hectare (ALPHA). Foram realizadas as análises de variância individuais e conjunta de acordo com o modelo proposto por Miranda Filho e Geraldi (1984). As linhagens A e R apresentaram divergência genética para a maioria dos caracteres. Constatou-se que houve expressão da heterose (h) para a maioria dos caracteres avaliados, sendo mais expressiva para os caracteres agronômicos, com destaque para os caracteres AP ($h = 31,6\%$), PMV ($h = 28,11\%$) e TBH ($h = 18,55\%$). As linhagens A e R divergiram na contribuição para o efeito heterótico para alguns caracteres agronômicos e tecnológicos, com destaque para as linhagens BR008A, BR501R e CMSXS644R.

Palavras-chave: Etanol. Dialelo. Efeito Heterótico.

ABSTRACT

This work was performed with the objective of evaluating the performance of sweet sorghum strains and hybrids and, specifically, verifying and analyzing the relative heterotic effect of the main agronomic and technologic traits. For this we performed a partial diallel cross involving three sterile-male strains (A) and ten restoring strains (R) of sweet sorghum of the Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS) breeding program. The hybrids and strains were evaluated in three distinct locations in Minas Gerais, Brazil, in the 2012/2013 harvest. The experiments were installed in an alpha lattice design, with three replicates. We evaluated the following traits: flowering (FLOW), plant height (PH), green mass production (GMP), classified as agronomic, and the technologic were extraction (EXT), total soluble solids (TSS), ton of brix per hectare (TBH), sucrose in % of thatch (POLc), total reducing sugars (TRSc), total recoverable sugars (TRS) and alcohol production in liters per hectare (ALPHA). We performed the individual and joint variance analyses according to the model proposed by Miranda Filho and Geraldi (1984). The strains A and R presented genetic divergence for most of the traits. We verified that there was heterosis (h) expression for most of the evaluated traits, being more expressive for the agronomic traits, highlighting the PH (h = 31.6%), GMP (h = 28.11%) and TBH (h = 18.55%) traits. The strains A and R diverged in the contribution to the heterotic effect for some of the agronomic and technological traits, highlighting the BR008A, BR501R and CMSXS644R strains.

Keywords: Ethanol. Diallelic. Heterotic effect.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Origem, centros de diversidade do sorgo	14
2.2	Botânica, aspectos morfoagronômicos e biologia floral do sorgo sacarino	15
2.3	Aspectos citogenéticos e genômicos do sorgo	18
2.4	Aspectos econômicos do sorgo sacarino	21
2.5	Melhoramento genético do sorgo sacarino	23
2.5.1	Banco de Germoplasma do Sorgo Sacarino	25
2.5.2	Estratégias de Melhoramento de Sorgo Sacarino	26
2.6	Empregos de cruzamentos dialélicos	28
2.7	Heterose e estudo da herança genética em sorgo sacarino	34
2.8	Interação genótipos por ambientes	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	Locais de condução dos experimentos	39
3.2	Linhagens e híbridos avaliados	40
3.3	Plano experimental e condução	40
3.4	Caracteres avaliados	41
3.5	Análises estatístico – genético	44
3.5.1	Análises de Variância	45
3.5.2	Análises de Variância dialélica	46
4	RESULTADOS	48
4.1	Análises de variância	48
4.2	Análises de variância dialélica	52
5	DISCUSSÃO	69
6	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE	91

1 INTRODUÇÃO

O Brasil nos últimos anos tem se tornado uma referência internacional na geração e na utilização de fontes renováveis de energia, apresentando uma série de vantagens que o qualificam para a liderança neste mercado exportador, com destaque para a cadeia produtiva dos biocombustíveis, a exemplo do etanol. O uso de alternativas renováveis para a geração de energia contribui para a redução do consumo das fontes não renováveis, gerando, ainda, um maior equilíbrio entre a produção e o consumo de CO₂ na natureza (PEREIRA FILHO et al., 2012).

A produção brasileira de etanol é bastante concentrada em apenas uma matéria- prima, a cana-de-açúcar (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012), a qual apresenta algumas limitações de cultivo principalmente em regiões semi-áridas devido a condições de baixa precipitação, fazendo com que as produtividades médias alcançadas com esta cultura sejam baixas. Outro ponto que merece destaque são as lacunas existentes em termos de falta de disponibilidade de matéria-prima para o funcionamento das usinas durante as entressafras da cana-de-açúcar e a competição existente no que se refere à destinação da matéria-prima por parte das usinas, seja para a produção de açúcar ou etanol. Diante disso, novas culturas com potencial bioenergético devem ser buscadas.

Para o cenário apresentado anteriormente, o sorgo sacarino figura como uma alternativa bastante promissora para incrementar a cadeia produtiva do etanol (HUNSIGI; YEKKELI; KONGAWAD, 2010). Apresenta colmo suculento rico em açúcares fermentescíveis e oferece outras vantagens, como rapidez do ciclo de produção, facilidade de mecanização, tolerância à seca (DURÃES, 2011), elevada produção de massa verde, utilização do bagaço para cogeração de energia e etanol de segunda geração. O sorgo sacarino pode ainda

ser usado nos períodos de entressafra da cana-de-açúcar durante a renovação de canaviais, permitindo o uso dos mesmos equipamentos, da moagem à destilação, cobrindo a ociosidade das usinas pela ampliação da janela de colheita. Não obstante a potencialidade desta cultura há poucos estudos realizados, especialmente concernentes ao melhoramento genético.

Existem poucos programas de melhoramento públicos e privados com a cultura do sorgo sacarino. O foco principal tem sido voltado para o desenvolvimento de cultivares genotipicamente superiores para a produção de etanol, ou seja, elevada performance agrônômica e dotadas de caracteres tecnológicas demandadas pelo mercado, além de estáveis quanto às variações ambientais e responsivas à melhoria do ambiente.

Por se tratar de espécie autógama, as primeiras cultivares de sorgo se constituíam em linhagens. Todavia, o melhoramento visando à obtenção de híbridos pode ser viabilizado por estudos sobre o possível efeito heterótico existente para caracteres relacionados direta ou indiretamente a produção de etanol. Na literatura têm-se poucas informações acerca da heterose em sorgo sacarino (PFEIFFER et al., 2010).

O vigor híbrido é bastante documentado em sorgo, a exemplo do sorgo granífero, fazendo com que mais de 95% das variedades cultivadas nos estados Unidos sejam híbridos F_1 's, os quais apresentaram incremento de 20 a 60% na produção de grãos (AXTELL et al., 1999). Em sorgo sacarino, é relatado que as características brix e sacarose no colmo têm controle genético realizado por genes de ação aditiva e dominante. Para caracteres, como altura de planta, produtividade de colmos e de caldo têm-se relatado expressiva presença de efeito de dominância (AUDILAKSHMI et al., 2010). Desta forma, a geração de híbridos poderá ser útil. Outro evento que contribui favoravelmente para a exploração de híbridos é a macho-esterilidade citoplasmática existente em sorgo

sacarino, a qual pode também influenciar positivamente no acúmulo de sólidos solúveis (Brix) no colmo (PFEIFFER et al., 2010).

Ante o exposto, estudos sobre o efeito heterótico em sorgo sacarino nas condições tropicais e subtropicais de cultivo no Brasil têm grande utilidade para subsidiar no delineamento de estratégias de seleção de programas de melhoramento vigentes. Ademais, torna-se fundamental a avaliação do desempenho de híbridos de sorgo sacarino relativo aos principais caracteres agronômicos e tecnológicos de interesse nos diferentes ambientes de cultivo, permitindo investigar a adaptabilidade fenotípica desses genótipos, garantindo maior confiabilidade para a recomendação.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de linhagens e híbridos de sorgo sacarino e, especificamente, verificar e analisar o efeito heterótico relativo aos principais caracteres agronômicos e tecnológicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem, centros de diversidade do sorgo

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] originou-se no quadrante noroeste da África onde se encontra, atualmente, a maior variabilidade em espécies silvestres e cultivadas. Foi provavelmente “domesticado” a cerca de 7.000 anos na Etiópia, através da seleção de espécies silvestres (*Sorghum arundinaceum* ou *Sorghum verticilliflorum*) atingindo posteriormente a Índia e a Tailândia. Partindo da Índia, o sorgo alcançou a Europa e a China no século III d. C. (SANTOS; CASELA; WAQUIL, 2005). Entretanto, antes disso o sorgo já havia sido observado na Coreia e nas províncias chinesas adjacentes, introduzidas possivelmente pelas chamadas “rotas da seda” que seguiam da Ásia Menor em direção ao Extremo Oriente. Nas Américas, sua disseminação é bem mais recente. As primeiras introduções ocorreram no Caribe, trazidos por escravos africanos e desta região atingiu os Estados Unidos por volta da metade do século XIX, sendo muito usado na produção de xaropes. No Brasil, a sua introdução se atribui aos escravos, onde a cultura ficou conhecida como milho d’Angola (LIRA, 1981).

Apesar de ser uma cultura muito antiga, somente a partir do fim do século passado é que teve um grande desenvolvimento em muitas regiões agrícolas do mundo chegando a ser o quinto cereal em área cultivada, após o trigo, milho, arroz e cevada (LIMA, 1998; OLIVEIRA; CAMARGO, 1997). No Brasil a cultura teve avanço significativo a partir da década de 70, quando a área de plantio alcançou 80 mil hectares, concentrados principalmente no Rio Grande do Sul e São Paulo (LIRA, 1981). Sendo cultivados quatro tipos de sorgo, classificados de acordo com sua utilização: sorgo granífero; forrageiro para pastejo/corte verde/fenação/cobertura morta; vassoura e forrageiro para silagem

e/ou sacarino. O primeiro grupo inclui tipos de porte baixo (híbridos e variedades) adaptados à colheita mecânica, nesse tipo de sorgo o produto principal é o grão. O segundo grupo inclui tipos utilizados principalmente para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta (variedades de capim Sudão ou híbridos interespecíficos). O terceiro grupo inclui tipos cujo as panículas são confeccionadas em vassouras, tendo importância regionalizada no Rio Grande do Sul.

O quarto grupo inclui tipos de porte alto (híbridos e variedades), com altura de planta superior a três metros, caracterizado, principalmente, por apresentar colmo doce e suculento como o da cana-de-açúcar. Apresentando ainda panícula ou cacho com poucos grãos (sementes).

2.2 Botânica, aspectos morfoagronômicos e biologia floral do sorgo sacarino

O sorgo sacarino é uma planta anual, pertencente à tribo Andropogoneae da subfamília Panicoidae, ordem Poales, família *Poaceae*, gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor*. Tem como principais características o seu grande porte, com plantas de altura superior a três metros, elevada produção de massa verde (60 a 80 t.ha⁻¹), colmos suculentos e altos teores de açúcares fermentáveis na calda devido à translocação de fotoassimilados para o caule, tendo esse acúmulo iniciado na fase de floração, apresentando picos até a fase de maturação fisiológica (RATNAVATI et al., 2010).

O sorgo sacarino tem se mostrado uma gramínea de ampla versatilidade utilizada mundialmente como fonte de alimentos, rações, fibras e vem chamando atenção pelo seu grande potencial energético (WOODS, 2000), em virtude da sua capacidade de acúmulo de açúcares em seu caule (RATNAVATI et al., 2010). O teor de açúcar de sorgo é variável de acordo com o material avaliado,

com o brix oscilando entre 14,32 e 22,85 % ou graus brix (ALMODARES; HADI, 2009).

A cultura apresenta uma adaptabilidade ampla, se adequando desde condições sub-tropicais é temperadas. Esse fator se associa a uma maior tolerância a seca, resistência à salinidade (ALMODARES; HADI, 2009; TESSO et al., 2005).

Devido as suas características xerofíticas e eficientes mecanismos morfológicos e bioquímicos, o sorgo tem a habilidade de manter-se dormente durante o período de seca, retomando o crescimento tão logo as condições sejam favoráveis (LANDAU; SANS, 2009).

É uma planta de clima tropical e subtropical C4, de dia curto e alta eficiência fotossintética, com um dos maiores índices de energia acumulada, com taxas de fotossíntese das folhas que vão de 30 a 100 mg dm⁻² h⁻¹ CO₂, dependendo do material genético, da intensidade de luz e da idade das folhas, com gama de açúcares fermentáveis 12-15% (RATNAVATI; DAYAKAR; SEETHARAMA, 2003).

Sua estrutura radicular é composta por elevado número de raízes com grande quantidade de pelos absorventes e alto índice de lignificação periciclo, habilitando-o para tolerar períodos longos de veranico e plantios de safrinha. A profundidade de enraizamento dessa monocotiledônea pode chegar a 1,30m, com 80% das raízes distribuídas nos primeiros 30 cm de profundidade.

As folhas são eretas quando novas, tendendo para horizontalidade quando amadurecem podendo chegar a medir 1,35m. Suas folhas são alternadas, lanceoladas, com bordos serrilhados, com uma camada de serosidade. Os estômatos se localizam nos dois lados da folha. A nervura central é saliente, convexa no lado de baixo e côncavo no lado de cima da folha.

A inflorescência do sorgo é uma panícula, com um eixo central ou ráquis, de onde partem eixos secundários. A ráquis pode ser comprida ou curta,

grossa ou fina, estriada, acanalada, peluda ou glaba e com vários eixos que partem de cada nó. Nos eixos, as espiguetas se encontram aos pares, sendo uma séssil e outra pedicelada. As espiguetas pediceladas consistem de duas glumas, onde estão inseridas duas flores, uma superior e masculina com um conjunto de lema e pálea contendo três estames e a inferior estéril, representada por uma única gluma. A espiguetas séssil possui duas flores: uma estéril e outra fértil. A flor fértil tem duas glumas; uma inferior e outra superior; um lema estéril; um conjunto lema e pálea; duas lodículas; três estames e um pistilo (ovário, estilo e estigma). O fruto é uma cariopse ou grão seco.

O sorgo é uma planta que apresenta flores andróginas, sendo basicamente uma espécie autógama. A fertilização se inicia no topo da panícula com duração de 4 a 5 dias. Ocorre a predominância de autofecundação e a taxa de fecundação cruzada pode variar de 2% a 10%, o pólen germina imediatamente se entra em contato com estigma receptivo. O processo produção de sementes se divide em dois, o primeiro proporciona a obtenção de linhagens pura (variedades), já o segundo proporciona a geração de híbridos a partir de cruzamentos.

A macho esterilidade citoplasmática é uma característica que envolve genes mitocondriais, herdados maternalmente, e restauradores da fertilidade de natureza nuclear, constituindo um sistema binário. No caso do sorgo a macho esterilidade genético-citoplasmática resulta da combinação de citoplasma Milo e genes Kafir. Os híbridos de sorgo sacarino são produzidos pelo cruzamento entre uma linhagem macho estéril e uma linhagem fértil polinizadora. A linhagem macho estéril, denominada "A", é produzida pelo cruzamento de plantas macho estéril com pólen de uma linhagem denominada mantenedora "B". As sementes produzidas pelo cruzamento entre as linhagens A e B resultarão em planta A (macho estéreis) devido ao citoplasma estéril herdado da linhagem A, ou seja, a linhagem B não restaura a fertilidade na linhagem A. As linhagens A e B são

isogênicas, mas diferentes na fertilidade do pólen devido à presença de citoplasma normal (PARRELLA, 2011).

As sementes de híbridos são produzidas pelo cruzamento entre uma linhagem A e uma linhagem restauradora de fertilidade denominada “R”. Sementes produzidas desse cruzamento produzirão plantas macho férteis, ou seja, a linhagem R restaura sobre a linhagem A devido à presença de genes restauradores de fertilidade no núcleo. A linhagem R não é fenotipicamente similar à linhagem A, e a combinação delas deverá resultar em um híbrido de alto potencial de rendimento. A produção de sementes híbridas em escala comercial juntamente com a multiplicação da linhagem A, deve ser feita em campos isolados, com a proporção de três fileiras da linhagem A para uma fileira da linhagem R, buscando coincidência no período de florescimento das duas linhagens. A multiplicação da linhagem R deve ser feita em campo isolado, utilizando os mesmos procedimentos com linhas puras. Dessa forma a produção de sementes híbridas de sorgo sacarino, necessita-se de duas gerações, sendo uma para multiplicação das sementes das linhagens A e R, separadamente, e outra para produzir a semente híbrida de A com R (PARRELLA, 2011).

2.3 Aspectos citogenéticos e genômicos do sorgo

O sorgo sacarino é uma espécie diploide contando com 10 pares de cromossomos ($2n = 2x = 20$) no seu genoma. Diferenças cromossômicas entre os subgêneros do sorgo têm sido detectadas, entretanto as análises cariotípicas dos seus cromossomos se mostram bastante difíceis principalmente devido às semelhanças de tamanho e estrutura cromossômicas (DOGGET, 1988; HUSKINS; SMITH, 1932).

Por meio dos trabalhos de Yu, Liang e Kofoid (1991) foi possível a identificação de todos os 10 cromossomos da espécie *Sorghum bicolor*. Mais

tarde, Kim et al. (2002) utilizaram a hibridização *in situ* fluorescência (FISH) e outros recursos genômicos incluindo a inserção genômica de clones em bactérias artificiais (BAC) para a caracterização dos 10 cromossomos. Com base nos comprimentos relativos de diferentes cromossomos foi possível estimar o tamanho molecular de cada cromossomo e estabelecer uma nomenclatura base para os cromossomos do sorgo (SBI-01 a SBI-10) e nos seus respectivos grupos de ligação (LG1 a LG10).

Com um genoma relativamente pequeno apresenta diversidade extraordinária. Inicialmente o tamanho do genoma do sorgo foi relatado com 735 Mb (LAURIE; BENNETT 1985), posteriormente em 1991 Earle estimou que esse valor em cerca de 750 Mb, enquanto Peterson et al. (2002) relataram 692 Mb.

Recentemente o sorgo tem sido identificado como uma espécie chave para a análise comparativa entre genoma de gramíneas, como uma fonte de genes benéficos para a agricultura se configurando como uma oportunidade extraordinária para investigar a base genética da adaptação das plantas a ambientes adversos. Em conjunto com estudos de expressão gênica em larga escala, uma série de genes candidatos para o melhoramento de culturas dedicadas à bioenergia foram identificados. Dentre estes genes estão os envolvidos na síntese de celulose, hemicelulose e lignina, além daqueles que influenciam características morfológicas de crescimento como altura, número de ramos/perfilhos, espessura do caule, sensibilidade a fotoperíodo, Brix, Teor de calda dentre outros (DAMASCENO, 2011).

Cientistas em parceria com diversas instituições como do Joint Genome Institute (JGI) ligados ao departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), publicaram em 2009 o sequenciamento e a análise do genoma completo do sorgo, considerado-a uma planta com elevado potencial para a produção de bioenergia. De posse desses dados a classe científica poderá promover a

otimização da cultura não apenas para seu uso como alimento, mas também para produção de biocombustíveis.

Os dados do sequenciamento foram obtidos através do mapeamento comparativo utilizando sondas do genoma do milho (BINELLI et al., 1992; HULBERT et al., 1990; MELAKE-BERHAN et al., 1993; WHITKUS; DOEBLEY; LEE, 1992), revelando um elevado grau de sintonia entre as espécies, porém com a observação de vários casos de rearranjos cromossômicos. Inovações na genômica comparativa de sorgo e de transferência de tecnologia estão acelerando a descoberta e utilização de genes.

O uso de marcadores moleculares no mapeamento do genoma do sorgo teve início em 1990 ocasionando à publicação de numerosos mapas genéticos na última década, com base em marcadores RFLP chegando aos marcadores AFLPs e SSRs mais recentemente. Uma integração entre os marcadores SSRs e RFLPs também foi relatada por Bhatramakki et al. (2000) utilizando 18 linhas de sorgo.

Um mapa de alta densidade genética utilizando tecnologia de AFLP foi construído por Menz et al. (2002). O mapa abrangeu 2.926 loci distribuídos em 10 grupos de ligação; 2.454 desses loci eram produtos de AFLP; 136 SSRs previamente mapeados em sorgo e 203 eram clones genômicos de outras gramíneas como, cevada, aveia e milho.

Em sorgo, vários QTLs associados com o conteúdo de açúcar no caldo foram identificados, indicando que essa é uma característica controlada por vários genes e com interações complexas (DAMASCENO, 2011). O que dificulta o melhoramento genético de plantas é a avaliação da natureza e magnitude dos efeitos gênicos que controlam os vários caracteres quantitativos. Seguindo esse raciocínio, é fundamental investigar, na fração genética, as proporções que podem ser atribuídas a fatores gênicos aditivos, dominantes e epistáticos. Essas avaliações estão intimamente relacionadas com os objetivos de programas de melhoramento, e esses tipos de ação gênica podem ser usados para

explicar a expressão heterótica, assim como a depressão endogâmica (FINKNER et al., 1981; SINGHANIA, 1980; WILSON; WEIBEL; MCNEW, 1978).

Com relação aos avanços na transformação gênica o impulso ocorreu nos últimos anos, o primeiro relatório de transformação bem sucedida de sorgo apareceu em 1990. No entanto, o sorgo é considerado como a maioria das gramíneas uma cultura recalcitrante para cultura de tecidos e de regeneração de plantas, por conseguinte, para transformação genética. No entanto, Zhao et al. (2000) relatou recentemente transformação genética mediada por *Agrobacterium* a uma frequência de 2%, com potencial distinto para ainda 20%. Além disso, Emani, Sunilkumar e Rathore (2002) demonstrou a presença de metilações acarretando no silenciamento gênico, um dos principais obstáculos para a expressão de genes em sorgo.

2.4 Aspectos econômicos do sorgo sacarino

Com as crescentes mudanças climáticas, causadas pelas emissões de carbono provenientes de combustíveis fósseis, somado a questões de segurança energética futura têm se intensificado à busca por fontes alternativas de energia.

Diante desse cenário, o sorgo tem se tornado bastante atrativo na suplementação e complementação da cana-de-açúcar, principalmente em locais onde o cultivo da cana é inviável e menos rentável (BALARAVI; BISWAS; ELANGO VAN, 1997).

Nos Estados Unidos, sorgo sacarino tem sido historicamente e atualmente é utilizado para a produção de xarope. No entanto o interesse, em sorgo sacarino como uma matéria-prima para a produção de etanol está a aumentar (ROONEY, 2007). A cultura tem sido utilizada de forma discreta ainda em alguns países, porém em outros como e o caso dos Estados Unidos ele tem sido utilizada em rotação, com alto potencial de produção. A produção em

litros por etanol tem chegado em 2,426 litros de etanol por hectare, em comparação com a cana de açúcar que produz cerca de 7,000 litros de etanol por hectare (MAY et al., 2012). Esses valores são realmente significativos mais quando comparamos em termos de toneladas por hectare observamos que diferença de rendimento não é muito grande quando analisamos o tempo de produção de cada cultura, por exemplo, uma tonelada de cana a produção de etanol pode chegar a 89, 5 litros em doze meses, no caso do sorgo a produção pode chegar a 75 litros de etanol em quatro meses, mostrando realmente que a utilização do sorgo sacarino é uma alternativa viável (PFEIFFER et al., 2010). Do ponto de vista econômico o custo de cultivo do sorgo sacarino é três vezes menor do que a da cana de açúcar (DAYAKAR et al., 2004).

Vale ressaltar que a aplicação do sorgo não visa substituir as matérias-primas consagradas, como é o caso da cana-de-açúcar, mas a sua aplicação principalmente em períodos de entressafra, onde não se tem matéria-prima para ser processada. Proporcionando ampliação no período de moagem das usinas, sem fazer uso de novas áreas, devido ao aproveitamento de canaviais de renovação.

Segundo levantamento agropecuário realizado em abril de 2012 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a cidade de São Gabriel do Oeste no estado do Mato Grosso do sul é a maior produtora de sorgo com 84 mil toneladas ou 5% do total produzido no Brasil. Segundo estimativas da Companhia Nacional a produtividade no estado deve crescer em 168% no período de oito safras (CONAB, 2012).

De acordo com o último relatório da Companhia Nacional a produtividade e Abastecimento (Conab), a estimativa da área semeada para a safra 2011/2012 está em 1,02 milhões de hectares, com um aumento de 25% em relação à safra passada que era de 817,4 mil hectares. A produtividade média nacional de sorgo esperada chega a 2,66 toneladas por hectare (CONAB, 2012).

2.5 Melhoramento genético do sorgo sacarino

Devido sua ampla diversidade genética, o sorgo pode ser melhorado para diferentes finalidades (ROONEY, 2004). Entretanto, a cultura de sorgo produz muito menos do que seu potencial oferece. Em vários países pesquisas em andamento buscam a máxima expressão do potencial da cultura principalmente para produção de etanol. Nos EUA, por exemplo, muitas variedades de sorgo sacarino como Rio, Wray e Keller foram criadas para a produção de etanol, na comunidade Europeia e na China o sorgo sacarino também tem se destacado como cultura promissora sendo amplamente estudada (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2012). No Brasil, a abertura de programas do governo como PNA (Plano Nacional de Agroenergia), possibilitou as empresas federais como a EMBRAPA uma atenção especial ao desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino com a finalidade de geração de energia.

Com o advento da macho-esterilidade e grande variabilidade de materiais os programas de melhoramento de plantas tem buscado a produção de híbridos, com alta produção de biomassa, elevado teor de açúcar (RODRIGUES, 1990).

No Brasil várias empresas públicas e privadas têm investido em programas de melhoramento de sorgo sacarino para a produção de etanol.

Antecipando à crise energética da década de 70 a Embrapa Milho e Sorgo apoiada pela criação do Proálcool, iniciou um programa melhoramento buscando o desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino (PURCINO, 2011). O suco ou a calda do sorgo sacarino contém principalmente em sua composição sacarose, glicose e frutose que apresentam fermentação alcoólica desejável tornando possível a conversão em etanol (ANDERSON; HEDLUND, 1990).

Inicialmente foram introduzidos 50 genótipos de sorgo sacarino dos EUA, África e Índia que posteriormente foram caracterizados agronomicamente e estabelecidos quanto ao seu período de utilização industrial (PUI). Em 1987 foram lançadas as variedades BRS 506 e BRS 507, e o híbrido BRS 601 as primeiras com potencial para a produção de etanol (PARRELLA, 2011). Entretanto com a política nacional se voltando para as grandes destilarias e os resultados insatisfatórios do Proálcool, houve um redirecionamento do foco da pesquisa nacional que se voltou para utilização do sorgo sacarino para a produção forrageira, provocando um intervalo tecnológico do sorgo sacarino como biocombustível.

Em 2008 devido à grande demanda por matéria-prima alternativa para a produção de etanol nas grandes destilarias e a enorme preocupação ambiental a Embrapa Milho e Sorgo reiniciou seu programa de melhoramento, estabelecendo metas de produtividade e qualidade para variedades e híbridos de sorgo sacarino, selecionando materiais com padrões mínimos de biomassa de $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, extração mínima de açúcar total de 120 kg t^{-1} , conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; produção mínima de etanol de 60 l t^{-1} biomassa, período de utilização industrial (PUI) mínimo de 30 dias não desconsiderando características importantes como resistência as principais doenças, pragas e ao acamamento uma vez cultivares de sorgo sacarino são de porte alto alcançando de 3 a 5 m de altura (PARRELLA, 2011).

A autofecundação do sorgo foi à base do programa de desenvolvimento de variedades, que possibilitou o estabelecimento da cultura, antes da era do híbrido. Atualmente essas linhagens atuam como bases no desenvolvimento dos híbridos (SMITH; FREDERIKSEN, 2005). O programa de melhoramento de sorgo sacarino da Embrapa está estruturado para lançar novas cultivares a partir da safra 2012/2013.

No mundo a Índia, foi à pioneira nas pesquisas sobre o sorgo sacarino em 1960 por meio do Instituto de Pesquisa de Agricultura de Nimbkar (NARI). Várias outras Instituições indianas de pesquisas como Instituto Nacional do Açúcar (NSI), Universidade Agrícola Haryana (HAU), Universidade Agrícola de Tamil Nadu iniciaram seus programas de melhoramento de sorgo sacarino em meados da década de 70.

Empresas multinacionais de grande reconhecimento como a Monsanto desde 2006 iniciaram os seus programas de melhoramento genético para o desenvolvimento de híbridos de sorgo sacarino mais produtivos, mais ricos e com PUI mais prolongado para atender às necessidades das usinas. Para responder todas as dúvidas do mercado, paralelamente ao desenvolvimento de novos híbridos, foram realizados diversos experimentos em laboratórios para determinar a composição exata do caldo de sorgo e seu desempenho durante o processo fermentativo, confirmado o promissor uso deste produto para a produção de etanol. Seguindo a mesma linha empresas como a Ceres, Nexstepp e Qromatim tem criado o melhor germoplasma de sorgo (com as linhas de cruzamento) para formar um programa líder no mundo de desenvolvimento do sorgo sacarino.

2.5.1 Banco de Germoplasma do Sorgo Sacarino

O sorgo sacarino tem potencial para se tornar uma matéria-prima versátil para a produção de bioenergia em larga escala. No entanto, para que se possa maximizar o seu potencial como matéria-prima o passo inicial consiste na avaliação e caracterização de diferentes acessos de sorgo sacarino.

Os EUA possui banco de germoplasma com maior variabilidade com cerca de 2,180 acessos de origens variadas, com grande variação para os caracteres quantitativos tempo de florescimento, altura de planta e brix (WANG et al., 2009).

No Brasil a coleção ativa de Germoplasma, encontra-se armazenada na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas, MG com genótipos provenientes de diferentes países, como Estados Unidos, Colômbia, África e Índia. Até o ano de 1999, o BAG-Sorgo contava com 7.213 acessos, dos quais 17% estavam regenerados e 14,2% estavam caracterizados (ANDRADE; MARTINS NETTO, 2000).

É importante ressaltar que qualquer programa de melhoramento genético depende de germoplasma, quanto maior a variabilidade disponível, maiores as chances de sucesso do programa (PATERNIANI; NASS; SANTOS, 2000).

Como o sorgo é uma espécie agrícola de grande interesse mundial, esforços são desenvolvidos para a preservação da sua variabilidade genética. A busca de germoplasma para ampliação do acervo do BAG é fundamental em razão das normas restritivas de intercâmbio de recursos genéticos (FAIAD et al., 2001).

2.5.2 Estratégias de Melhoramento de Sorgo Sacarino

Devido sua extensa diversidade genética, o sorgo sacarino tem sido explorado para diferentes finalidades (ROONEY, 2004). O uso da vasta diversidade se configura em um grande desafio principalmente no que se refere a escolha ou seleção das melhores combinações parentais possíveis, proporcionando o desenvolvimento de híbridos superiores. Diversos métodos têm sido propostos para escolha de populações, dentre os quais se destacam os cruzamentos dialélicos (BAENZIGER; PETERSON, 1992).

O sorgo dispõe de vários sistemas que atuam permitindo a ampliação e a facilitação do melhoramento, um desses sistemas é o uso de macho esterilidade. A utilização de macho esterilidade genética e a colheita de sementes de plantas estéreis a cada geração possibilita a conversão de populações de fecundação cruzada, que podem ser melhoradas por alguns dos métodos de seleção

recorrente, utilizados com sucesso na cultura do milho (SMITH; FREDERIKSEN, 2005).

Com a destinação do sorgo sacarino para a produção de etanol o que tem sido amplamente adotado nos programas de melhoramento e um sistema cooperativo de ensaios anuais, com o objetivo de avaliar os genótipos mais aptos a produção de etanol, e a identificação das regiões mais adaptadas ao cultivo de sorgo sacarino (MAY et al., 2012).

No sorgo sacarino, características como a altura da planta, teor de caldo, teor de brix e resistência ao acamamento, são importantes na discriminação dos genótipos promissores e, assim, podem ser úteis nos programas de melhoramento genético da cultura. Neste caso, é preciso conhecer os parâmetros genéticos relativos a essas características e suas correlações, uma vez que o conhecimento da associação genética entre elas é de grande relevância, principalmente quando a seleção em uma característica apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade e, ou, apresenta problemas de medição e identificação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Os híbridos de sorgo são produzidos pelo cruzamento entre linhagem macho-estéril e uma linhagem fértil polinizadora. A linhagem macho-estéril, denominada A_1 , é produzida pelo cruzamento de plantas macho-estéril com pólen de uma linhagem denominada mantenedora (B). As sementes produzidas pelo cruzamento entre linhagens A e B resultarão em plantas A (macho-estéreis), isso é a linhagem B não restaura sobre a linhagem A. As linhagens A e B são isogênicas, porém diferentes na fertilidade do pólen (SMITH; FREDERIKSEN, 2000).

As populações de sorgo têm sido desenvolvidas utilizando-se somente linhagens B (mantenedoras para linhagens macho-estéreis na produção de híbridos), somente linhagens R (restauradoras de facilidade) ou uma mistura de linhagens B e R. Sintetizam-se populações com linhagens B ou com linhagens R

pela facilidade de se extraírem linhagens B e R sem a interferência dos genes Rf nas primeiras e dos genes rf nas segundas (GARDNER, 1972; ROSS, 1973; SCHAFFERT; TREVISAN, 1979).

As plantas férteis de cada cruzamento são autofecundadas e as sementes F₂ são utilizadas para um retrocruzamento. As plantas macho-estéreis são identificadas durante o florescimento, e igual quantidade de sementes de cada uma é novamente misturada para a segunda geração de síntese. Este mesmo procedimento é utilizado na terceira geração de síntese quando a proporção de plantas férteis e estéreis se aproxima de 1:1. A manutenção da população é feita conforme o mesmo procedimento utilizado para a segunda e terceira gerações de síntese (NATH, 1982; ROSS, 1973).

2.6 Empregos de cruzamentos dialélicos

O termo dialelo tem sido utilizado para expressar um conjunto de $p(p - 1) / 2$ híbridos, resultante do acasalamento entre p genitores (linhagens, variedades, clones), podendo incluir, além dos respectivos pais, os híbridos recíprocos e, ou, outras gerações relacionadas, tais como F₂'s, retrocruzamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994).

O seu conceito foi apresentado por Griffing (1956) e Hayman (1954) e até hoje a sua utilização representa uma técnica muito importante para o melhoramento de plantas. É o método de cruzamentos dialélicos que auxilia o fitomelhorista na escolha dos parentais com base em seus valores genéticos e, principalmente, na capacidade de se combinarem em híbridos que produzam populações segregantes promissoras, além de permitir o conhecimento do controle genético de caracteres quantitativos no melhoramento vegetal, orientando na condução da população segregante e na seleção (CRUZ; REGAZZI, 2006; RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

Esse método foi introduzido, formalmente, por Sprague e Tatum (1942), que utilizaram esse esquema de cruzamento para definir os termos de capacidade geral de combinação (CGC) e a capacidade específica de combinação (CEC). Segundo esses dois autores a CGC mede o comportamento médio de uma linhagem em suas combinações híbridas. As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação fornecem informações a respeito das potencialidades do parental em gerar combinações favoráveis à formação de genes predominantemente aditivos em seus efeitos. Quanto mais altas forem essas estimativas, positivas ou negativas, determinado parental será considerado muito superior ou inferior aos demais incluídos no dialelo, e, se próximas de zero, seu comportamento não difere da média geral dos cruzamentos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Segundo Viana (2000), se os parentais forem populações de polinização aberta, linhas endogâmicas ou linhas puras, quanto maior for o valor do efeito de CGC de determinado parental, maiores serão as frequências dos genes que aumentam a expressão do caráter e maiores serão as diferenças entre as frequências gênicas desse parental e as frequências médias de todos os parentais do dialelo. Considera-se ainda que o efeito de CGC seja um indicador da superioridade do parental e de sua divergência relativa entre os demais parentais.

Por sua vez a CEC refere-se ao comportamento particular na expressão de um híbrido que é adicional aos efeitos e CGC dos pais, em outras palavras, CEC resulta da interação dos efeitos da CGC dos pais e pode melhorar ou piorar expressão do híbrido em relação ao esperado com base somente nas CGC. Falconer (1981) definiu CEC como sendo o desvio do desempenho médio de uma combinação particular em relação à média dos parentais envolvidos no cruzamento. Todavia, os efeitos da CEC enfatizam a importância de interações não aditivas resultantes da complementação gênica entre os parentais,

possibilitando antever respostas de ganho genético com a exploração da heterose (BASTOS et al., 2003).

Dessa forma conclui-se que a CEC mede o grau de complementação alélica dos genótipos da população, enquanto a CGC depende principalmente da ação aditiva dos genes, mas também contém efeitos de dominância, embora tanto a CGC como a CEC contenham efeitos epistáticos (CRUZ; REGAZZI, 2006).

A combinação híbrida mais favorável deve ser, portanto, aquela que apresentar maior estimativa de capacidade específica de combinação e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos parentais apresente elevada capacidade geral de combinação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). É válido ressaltar, porém, que dois parentais de elevada CGC nem sempre proporcionam a formação da melhor combinação do dialelo (CRUZ; VENCOVSKY, 1989).

Em programas de melhoramento é indispensável o conhecimento dos componentes da capacidade combinatória na escolha de genitores geneticamente divergentes envolvidos em esquemas de cruzamento, sobretudo quando se deseja identificar híbridos promissores e/ou desenvolver linhagens superiores a partir deles (ALLARD, 1956).

O esquema de cruzamento dialélico tem sido usado para estudar o valor das cultivares parentais e o padrão heterótico dos cruzamentos, quando duas populações diferentes são usadas para o desenvolvimento de novos híbridos. A heterose que se manifesta no híbrido entre cultivares heterogêneas é resultante de alguns genes com algum grau de dominância (parcial, completa ou sobredominância) e também das diferenças entre frequências gênicas nas duas populações (MIRANDA FILHO; VIÉGAS, 1987).

Deve-se dar atenção aos estudos genéticos dos caracteres agrônômicos, como forma de avaliar o potencial genético dos genitores de produzir

descendentes melhores e de aumentar a eficiência dos métodos de melhoramento (TAVARES; MELO; SCIVITTARO, 1999).

Os cruzamentos dialelos podem ser divididos em quatro tipos, completos ou balanceados, parciais, circulantes e os incompletos ou desbalanceados. O primeiro tipo incluem os híbridos F_1 's entre todos os pares de combinação dos progenitores, podendo adicionalmente incluir os progenitores, seus híbridos recíprocos e, algumas vezes, outras gerações relacionadas, como F_2 's e retrocruzamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994). O segundo tipo, dialelos parciais envolvem dois grupos de parentais e seus respectivos cruzamentos. Esses dialelos têm possibilitado maximizar as informações sobre os grupos estudados com um número menor de cruzamentos do que os requeridos dialelo balanceado (CRUZ, 2006).

O dialelo parcial foi designado por Vencosvsky e Barriga (1992), e equivale essencialmente a um esquema fatorial. Entende-se por dialelo parcial a utilização de dois grupos distintos ou não relacionados de linhagens ou genótipos (MIRANDA FILHO; GORGULHO, 2001). É usado quase exclusivamente para análise de heterose e / ou capacidade de combinação de polinização cruzada populações, famílias endogâmicas (topocruzamento com mais de um testador), linhagens ou linhas puras.

O terceiro tipo, os dialelos circulantes são aqueles em que os parentais são representados por um mesmo número de cruzamentos, porém inferior a $n - 1$, como ocorre nos balanceados. Esses dialelos permitem obter informações com um menor número de cruzamentos, mas, há perda de informações a respeito de certas combinações híbridas, que ficam ausentes (CRUZ, 2006).

O quarto tipo, os dialelos desbalanceados são aqueles em que todas as combinações híbridas e /ou parentais estão representadas, porém em frequência variável, em virtude do número desigual de repetições por tratamento, devido à perda de parcelas, limitações de sementes, etc. (CRUZ, 2006).

Entre os métodos propostos de análise dos dialelos, os mais conhecidos são os de Gardner e Eberhart (1966), Griffing (1956) e Jinks e Hayman (1953). Para a análise de dados experimentais, o emprego desses métodos normalmente se baseia nas médias entre as repetições.

O método proposto originalmente desenvolvido por Jinks e Hayman (1953) permite trabalhar com as gerações F_1 , F_2 retrocruzamentos, obtidos a partir de cruzamentos envolvendo parentais homocigóticos, utilizando dialelo completo com n^2 combinações ou com $n(n + 1) / 2$ combinações excluindo os recíprocos.

O método proposto por Griffing (1956) é o mais aceito. O método foi desenvolvido para avaliar a capacidade geral de combinação (CGC) e a capacidade específica de combinação (CEC) dos genótipos provenientes de cruzamentos dialélicos, bem como os efeitos gênicos extranucleares quando os recíprocos estão presentes.

E o método experimental que utiliza as maiores variações de esquemas de cruzamento, analisando quatro métodos experimentais. No método 1 são incluídos os genitores, um grupo de híbridos F_1 's e seus recíprocos; o método 2 inclui os genitores e os híbridos F_1 's, sem os recíprocos; no método 3 consideram-se os híbridos F_1 's e seus recíprocos, sem os genitores; e, no método 4, são incluídos somente os híbridos F_1 's, sem recíprocos e genitores.

Cada um desses métodos pode ser analisado considerando-se um modelo fixo ou aleatório, dependendo da natureza amostral dos parentais. No modelo fixo, os genitores são deliberadamente escolhidos, permitindo estimar os efeitos da capacidade de combinação e obter erros padrões apropriados para as diferenças entre efeitos. Nesse modelo não se estima parâmetros do tipo variância ou covariância, porque os elementos do conjunto não representam uma população de referência. Já o segundo modelo, as linhagens parentais são consideradas como sendo uma amostra ao acaso de alguma população,

permitindo estimar os componentes genéticos e ambientais da variância da população. No entanto, quando o pesquisador tem interesse em cruzar um conjunto de materiais com um ou mais testadores, deve utilizar o cruzamento dialélico parcial que é como um delineamento genético fatorial que permite o cruzamento entre grupos e não dentro de grupos (MIRANDA FILHO; GORGULHO, 2001; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

O método proposto por Gardner e Eberhart (1966), se aplica a um conjunto fixo de variedades e seus híbridos (F_1) e tem por base os efeitos das variedades (V_i) e a heterose nos híbridos (h_{ii}); o efeito da heterose é subdividido nos componentes: heterose média; heterose das variedades e heterose específica. Segundo Cruz e Regazzi (1994), o modelo de Gardner e Eberhart (1966) se aplica a dialelos parentais em equilíbrio de Hardy-Weinberg e se caracteriza por prover informações detalhadas a respeito do potencial *per se* desses parentais e da heterose manifestada em seus híbridos.

Na literatura, pesquisas têm sido relatadas em diversas culturas utilizando-se uma metodologia adequada para determinação da ação gênica de caracteres quantitativos de importância agrônômica.

Niehaus e Pickett (1966) em estudos de análises combinatórias em oito linhas puras de sorgo nas gerações F_1 e F_2 . Observaram que em cinco linhas ocorreram combinações satisfatórias para os caracteres relacionados altura e produção de grãos outras três apresentaram combinações diversas e divergentes para a altura e genes de maturidade.

Lira et al. (1989), estudando a tolerância à seca na fase de plântula, em um cruzamento dialélico com seis linhas de sorgo e a F_1 do cruzamento das mesmas, constataram que dois genitores apresentaram capacidade geral de combinação positiva, indicando que suas progênes foram, em média, mais susceptíveis a seca.

2.7 Heterose e estudo da herança genética em sorgo sacarino

Poucos foram os avanços na pesquisa sobre o efeito da heterose em sorgo sacarino, toda pesquisa se baseava em algumas informações extraídas a partir de dados do sorgo granífero. No entanto com a recente descoberta de linhas macho- estéreis de sorgo sacarino e o crescente interesse que envolve a cultura para a produção de etanol, avanços na pesquisa sobre a heterose de sorgo sacarino têm sido claramente observados (PFEIFFER et al., 2010).

Sankarapandian et al. (1994) destacou a magnitude substancial da heterose padrão para todos os caracteres relacionados à produção de etanol em até 46,9% para altura da planta, até 5,3% para colmo, até 7,4% para sólidos solúveis totais (%) e até 122,6% para rendimento de caldo.

Quinby (1963) já afirmava que a heterose no sorgo, em termos de atributos morfológicos, é consequência de floração precoce, maior perfilhamento e altura de planta, colmos, folhas e panículas mais desenvolvidas, e maior produtividade de grãos e de forragem. Acrescenta-se, com base em trabalhos posteriores, menor teor protéico (FINKER et al., 1981; SINGHANIA; DEOSTHALE; RAO, 1979).

Quando se menciona sobre heterose surge automaticamente o questionamento sobre a depressão endogâmica. Segundo Ross (1973), o sorgo apresenta pequena depressão endogâmica quando autofecundado. Entretanto, outros trabalhos demonstram considerável depressão endogâmica, principalmente quanto ao caráter rendimento de grãos, quando se passa de F1 para F2, de F2 para F3 e gerações mais avançadas (GEETA; RANA, 1987; GOYAL; JOSHI, 1984; REDDY; JOSHI, 1993). Embora a heterose se manifeste em grande número de espécies autógamias, apenas para um número muito restrito dessas espécies ela é explorada comercialmente, devido às dificuldades inerentes à produção dos híbridos nessas espécies (BORÉM, 1997).

Um experimento foi conduzido para estudar a extensão da heterose em cruzamentos de variedades de sorgo com potencial para açúcar com caule elevado e rendimento de grãos por Selvi e Palanisamy (1989). Em todos os caracteres avaliados, exceto na porcentagem de calda extraível o brix teve correlação positiva significativa com o teor de sacarose, tanto a nível genotípico quanto fenotípico. O brix foi positivamente e significativamente associado tanto com conteúdo de calda verde e volume de Caule ao nível genotípico. A redução do teor de açúcar foi negativamente associada com a porcentagem de sacarose (SELVI; PALANISAMY, 1989). O Brix e o rendimento de caule verde tiveram uma influência considerável sobre a produção de sacarose através de teor de açúcar total. Para o sorgo sacarino a compreensão da herança genética de caracteres agrônômicos como a produtividade de colmos, presença de caldo nos colmos, resistência a fatores limitantes e principalmente a presença de açúcar no caldo são a base fundamental para o sucesso da cultura como matéria-prima energética.

Nessa linha de raciocínio, é fundamental investigar, a herança dos caracteres envolvidos diretamente na produção de etanol bem como as proporções que podem ser atribuídas a fatores gênicos aditivos, dominantes e epistáticos (FINKNER et al., 1981; SINGHANIA, 1980; WILSON; WEIBEL; MCNEW, 1978). No entanto, a literatura sobre a herança de características e suas possíveis interações genéticas em sorgo sacarino é bastante escassa, tendo sempre o foco direcionados somente na produção (CLAASSEN et al., 2004; GUIYING et al., 2012; TSUCHIHASHI; GOTO, 2008; WOODS, 2000).

Até agora, muitas pesquisas sobre a herança de açúcar no colmo do sorgo sacarino, encontram-se limitadas dentro da hibridação entre variedades de sorgo sacarino. Nan, Best e Carvalho Neto (1994) com a intuito de estudar o controle genético da presença de caldo no colmo e conteúdo de açúcar no caldo realizou hibridações entre cultivares de sorgo granífero de colmo seco e baixo

teor de açúcar com a cultivar Roma de sorgo sacarino. As plantas da primeira geração apresentaram colmo seco e a segregação observada na segunda geração foi 3 plantas com colmo seco para 1 com caldo (231:69), seguindo o padrão de herança monogênica com dominância do alelo que condiciona ausência de caldo no colmo. As 69 plantas da segunda geração que apresentaram caldo no colmo foram fenotipadas para o conteúdo de açúcar. Observou-se uma segregação contínua do teor de açúcar, com Brix variando de 6° a 18,5°, indicando que esta característica é controlada por muitos genes, seguindo o padrão de herança quantitativa.

Bangarwa, Grewal e Lodhi (1985) estudaram a genética da doçura do sorgo. Eles observaram que a característica não doce ou não sacarina é dominante sobre doce sem qualquer efeito citoplasmático sobre a expressão desta característica, herdada como um caráter recessivo monogênico, sem efeitos recíprocos. Esses resultados já haviam sido relatados por Ayyangar (1936) onde ele pode concluir que os genes que controlam baixo teor de açúcar são parcialmente dominantes em relação aos genes que controlam o alto teor de açúcar, demonstrando-se recessivos. Baocheng et al. (1986), Guiying et al. (2012) e Schlehuber (1945) em trabalhos realizados relataram que teor de açúcar presente no caule apresenta herança quantitativa, controlada por vários genes menores que apresentam efeitos aditivos e não aditivos, mostrando baixa e média herdabilidade para alguns locos.

Sankarapandian et al. (1994) destacam também o papel preponderante de genes não-aditivos na expressão de caracteres como altura da planta, colmo, sólidos solúveis totais e rendimento de caldo.

Ganesh et al. (1995) realizaram uma análise genética de sorgo sacarino relacionando a produção de grãos e com caracteres associados à produção de etanol. A análise testadora realizada no Centro Nacional de Pesquisa para Sorgo na Índia usando alguns dos tipos de grãos mais tradicionais de sorgo indiano

demonstrou capacidade de acumular altos níveis de açúcar no caule, produzindo boa produtividade de grãos e com caule doce revelando que o acasalamento entre os genótipos específicos podem conduzir a uma melhoria simultânea em biomassa, açúcar caule e produção de grãos.

2.8 Interação genótipos por ambientes

A expressão das características das plantas cultivadas está ligada ao controle genético, ao ambiente em que são cultivadas e á interação entre esses dois fatores (MOHAMMAD; AMRI, 2009; YAN; KANG, 2003). A resposta distinta dos genótipos em diferentes condições ambientais e denominada interação genótipo e ambiente (GE) que reduz a correlação entre os valores fenotípicos e genotípicos e dificulta a seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis (YAN; HOLLAND, 2010).

O estudo sobre o comportamento dos genótipos em distintos ambientes específicos ou gerais permite maior confiabilidade na recomendação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Existem diversos métodos para analisar a adaptabilidade de genótipos em diferentes ambientes. A escolha do método de análise depende do número de ambientes e da precisão experimental exigida e o tipo de informação desejada. O ideal é que a metodologia de avaliação seja confiável, de fácil interpretação e exija poucas análises podendo ser utilizada para muitos e poucos ambientes (SCHMILDT; KRAUSE; CRUZ, 2006).

No Brasil, alguns autores têm realizado estudos sobre adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro. No entanto as pesquisas sobre sorgo sacarino ainda são escassas (OLIVEIRA et al., 2002).

O desempenho relativo das cultivares de sorgo principalmente para características quantitativas como e o caso de rendimento são influenciadas de um ambiente para o outro (DUARTE, 2001) essa diferença de rendimento e um

adequado indicador do desempenho genotípico interação genótipo-ambiente (EZZAT; ALI; MAHMOUD, 2010; YAN; KANG, 2003).

Kang (1998) em alguns de seus trabalhos comprovou que um alelo se comporta como dominante em um ambiente e como recessivo quando o ambiente é alterado. As causas da interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado.

Ezzat, Ali e Mahmoud (2010) estudaram a interação genótipo x ambiente de 10 linhagens parentais e 25 híbridos de sorgo granífero em dois locais, em duas épocas de semeadura e em dois anos. Os efeitos da interação do genótipo x ambientes x épocas foram altamente relevantes para todas as características estudadas. A interação genótipo x ano foi significativo para florescimento, altura da planta, e produtividade de grãos; e a interação genótipo x ano x época foi significativo para a altura da planta, peso de 1000 grãos e rendimento de grãos. No entanto, a interação genótipo x ambiente x época x ano foi significativo apenas para altura de planta e rendimento de grãos.

De acordo com Chaves (2001) a interação de genótipos e ambientes deve ser encarada como um fenômeno biológico em suas aplicações no melhoramento de plantas e não como um simples efeito estatístico. O efeito ambiental representa na realidade, um confundimento de efeitos de fatores fixos (previsíveis) e aleatórios (imprevisíveis). Não deve ser visualizada como um entrave, ao contrário o bom entendimento da interação de genótipos com ambientes poderá contribuir para o aproveitamento dos seus efeitos benéficos, bem como para contornar seus efeitos indesejáveis sobre avaliação de genótipos e recomendação de cultivares.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em três localidades do estado de Minas Gerais no ano agrícola de 2012/2013:

- a) Área experimental da Embrapa Milho e Sorgo no município de Nova Porteirinha, localizada ao norte do estado à 15° 47' de latitude sul e 43° 18' de longitude oeste. O clima é semiárido, o qual se caracteriza por ser quente e seco, com temperatura média anual de 28°C e com período chuvoso irregular com média anual de 1.074,9 mm;
- b) Área experimental da Embrapa Milho e Sorgo no município de Sete Lagoas, região central do estado à 19° 27' de latitude sul e 44° 14' 49" de longitude oeste. A região apresenta clima ameno com temperatura média anual em torno de 23° C, o período chuvoso vai de outubro a março com índice médio pluviométrico anual de 1.403 mm;
- c) Área experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Muquém da Universidade Federal de Lavras-UFLA localizada na cidade de Lavras á 21° 14' de latitude sul e 45° 00' de longitude oeste. O município de Lavras está situado ao sul do estado, apresenta temperatura média anual de 19,4 °C e a precipitação pluviométrica média anual de 1.529,7 mm.

3.2 Linhagens e híbridos avaliados

Foram avaliados 45 linhagens ou híbridos de sorgo sacarino, sendo 10 linhagens restauradoras de fertilidade (R) – machos de porte alto e alto teor de açúcares, três linhagens macho - estéreis (A) – fêmeas de porte baixo e baixo teor de açúcares (Quadro 1), 30 híbridos resultantes do cruzamento dialélico parcial entre as linhagens A e R, além de dois híbridos comerciais da empresa privada Monsanto .

LINHAGENS	PEDIGREE
1	BR 007 A
2	BR 008 A
3	CMSXS222A
4	BR 500 R
5	BR 501 R
6	BR 504 R
7	BR 505 R
8	CMSXS 633 R
9	CMSXS 634 R
10	CMSXS 642 R
11	CMSXS 36643 R
12	CMSXS 644 R
13	CMSXS 647 R

Quadro 1 Identificação das Linhagens de Sorgo Sacarino

3.3 Plano experimental e condução

Os experimentos foram implantados no delineamento alfa-látice 9 x 5 com três repetições para cada local. As parcelas experimentais foram constituídas por duas linhas de 5,0 m de comprimento e espaçadas por 0,70 m entre fileiras. As linhagens macho-estéreis foram alocadas em parcelas de quatro

linhas de 5,0m, sendo consideradas apenas as duas linhas centrais como área útil.

O plantio manual dos experimentos ocorreu em novembro de 2012, o que coincide com o início do período chuvoso na região sudeste. Previamente foi realizada a adubação de fundação com 450 Kg ha⁻¹ da formulação 08: 28: 16 de NPK nos sulcos de plantio. Após 15 dias de emergência foi realizado o desbaste permitindo a manutenção de estande de 140.000 plantas por hectare.

Os experimentos foram conduzidos em condições de sequeiro sem o uso de irrigação suplementar. No caso das localidades de Nova Porteirinha e Sete Lagoas, os ensaios foram submetidos à irrigação suplementar no período de estabelecimento da cultura e nos períodos de veranicos. Em cada experimento foi feita a adubação de cobertura em torno de 30 dias após o plantio mediante aplicação de 200 Kg de uréia / ha.

O controle das plantas daninhas foi realizado com o uso de controle químico com o herbicida à base de Atrazina (3,0 L/ha) complementado pelo controle mecânico, quando necessário. O controle de insetos-praga e/ou doenças foi feito, quando necessário, seguindo as recomendações para a cultura na região. A colheita foi realizada manualmente, em média, aos 125 dias após o plantio.

3.4 Caracteres avaliados

Foram avaliados no total dezesseis caracteres, sendo estes divididos em agrônômicos, avaliados por ocasião da colheita, e tecnológicos, mensuradas no Laboratório de Análises Tecnológicas da Embrapa Milho e Sorgo, conforme dispostos a seguir:

Caracteres agronômicos:

1. Florescimento (FLOR) – Foi anotado o número de dias decorridos do plantio até o ponto em que 50% das plantas da parcela floresceram.

2. Altura de planta (AP) – A partir da altura média (m) de oito plantas tomadas aleatoriamente da área útil da parcela, sendo medidas da superfície do solo ao ápice da panícula.

3. Produção de massa verde (PMV) – Foram cortadas as plantas da área útil da parcela a cinco cm da superfície do solo. Em seguida, estas foram pesadas (planta inteira sem panículas) por meio de uma balança suspensão digitais, em kg. Os dados ao final foram expressos em toneladas/ há.

Caracteres tecnológicos:

1. Extração de caldo (EXT) – foram amostradas aleatoriamente oito plantas inteiras por parcela, sem panículas, colhidas na área útil da parcela. Em seguida as plantas foram desintegradas em desfibrador e homogeneizadas. Posteriormente, foi retirada uma subamostra de $500 \pm 0,5$ g para extração do caldo em prensa hidráulica, com pressão mínima e constante de 250 kgf/cm^2 sobre a amostra, durante o tempo de 1 minuto. A partir do caldo extraído foi anotado o peso (g) e volume (ml) de caldo extraído da sub amostra. Em Nova Porteirinha, a porcentagem de extração foi medida utilizando-se uma moenda elétrica de rolo inox (B728). A partir dos valores obtidos foi mensurada a extração através das fórmulas:

$$\text{EXT} = \text{Peso caldo/Peso de colmo} \times 100 \text{ (Nova Porteirinha)}$$

$$\text{EXT} = \text{Peso do caldo}/500 \times 100 \text{ (Lavras e Sete Lagoas)}$$

2. Sólidos solúveis totais % caldo (SST) – determinado em caldo filtrado em papel por meio de um refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de 0,1° Brix, de acordo com método proposto pela *Association of Official Analytical Chemists* - AOAC (1990).

3. Tonelada de Brix por hectare (TBH) – determinado a partir da seguinte expressão:

$$TBH = PMV \times EXT \times SST .$$

4. Sacarose % colmo (POLc): foi calculada pela seguinte expressão (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇUCAR - CONSECA, 2006):

$$POLc = POL \times (1 - 0,01 \times FIBRAc) \times C ,$$

em que: *POL* % aparente de sacarose do colmo; *C* é o coeficiente de transformação de %caldo em %colmo e *FIBRA* é a % de fibra do colmo.

5. Açúcares redutores totais % colmo (ARTc) – determinado pela equação (CONSECA, 2006):

$$ARTc = ART \times (1 - 0,01 \times FIBRAc) \times C$$

em que: *ART* é o teor de açúcares redutores totais, em % caldo.

6. Açúcares totais recuperáveis (ATR) – representa todos os açúcares contido no caldo do sorgo na forma reduzida ou açúcar invertido. O ATR (kg de açúcares por tonelada de cana) é calculado pela equação (CONSECA, 2006):

$$ATR = 10 \times POLc \times 1,05263 \times 0,905 + 10 \times ARc \times 0,905$$

$$ATR = 9,5263 \times POLc + 9,05 \times ARc$$

em que: 1,05263 é o coeficiente estequiométrico para a conversão da sacarose em açúcares redutores; 0,905 é o coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5%.

7. Produção de álcool em litros por hectare (ALPHA) - Estimado mediante equação seguinte de acordo com CONSECA (2006):

$$ALPHA = ALH \times PMV$$

em que: *ALH* é a produção de álcool hidratado, em litros por tonelada de colmo; *PMV* é a produção de massa verde, em t/ha.

Os caracteres *EXT*, *SST* e *TBH* foram mensurados nas três localidades (Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha). As características *POLc*, *ARTc*, *ATR* e *ALPHA* foram mensurados em Lavras e Sete Lagoas.

3.5 Análises estatístico – genético

3.5.1 Análises de Variância

Primeiramente foram realizadas as análises de variância por local com recuperação da informação interblocos dos dados dos caracteres avaliados de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + r_i + b_{(i)j} + g_k + e_{ijk},$$

em que: y_{ijk} é a observação da parcela do bloco j dentro da repetição i que recebeu o linhagem ou híbrido k ; μ é uma constante associada às observações; r_i é o efeito da repetição i ; $b_{(i)j}$ é o efeito do bloco j dentro da repetição i , $b_{(i)j} \sim N(0, \sigma_b^2)$; g_k é o efeito da linhagem ou híbrido k ; e_{ijk} é o erro experimental associado à y_{ijk} , $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$. Os componentes da variância σ_b^2 e σ_e^2 referem-se às variâncias associadas aos efeitos aleatórios dos blocos dentro de repetições e ao erro.

Para a validade dos resultados obtidos nas análises de variância, foram verificados previamente os pressupostos, conforme apresentado em Ferreira (2005) e Ramalho et al. (2012). Foram empregados o teste de Shapiro-Wilk à 5% de probabilidade e o método gráfico Q-Q plot para verificar a normalidade dos erros (SHAPIRO; WILK, 1965).

Para proceder à análise multilocalis foi previamente verificada a homogeneidade das variâncias residuais por meio do teste de Bartlett à 5% de probabilidade (BARTLETT, 1937). Esta análise conjunta foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijkl} = \mu + a_l + r_{i(l)} + b_{(il)j} + g_k + ga_{kl} + e_{ijkl},$$

em que: y_{ijkl} é a observação da parcela do bloco j dentro da repetição i no local l que recebeu a linhagem ou híbrido k ; μ é uma constante associada às observações; $r_{i(l)}$ é o efeito da repetição i dentro do local l ; $b_{(il)j}$ é o efeito do bloco j dentro da repetição i no local l , $b_{(il)j} \sim N(0, \sigma_b^2)$; g_k é o efeito da linhagem ou híbrido k ; a_l é o efeito do local l ; ga_{kl} é o efeito da interação das linhagens/híbridos k com o local l ; e_{ijkl} é o erro experimental associado à y_{ijkl} , $e_{ijkl} \sim N(0, \overline{\sigma_e^2})$.

As análises de variância individuais e multilocais foram realizadas com o auxílio do *Proc Mixed* do programa SAS - *Statistical Analysis System* (LITTEL et al., 2006; STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2012). Ademais, estimou-se a acurácia seletiva de cada experimento, conforme apresentado em Resende e Duarte (2007).

Procedeu-se a análise de agrupamento das médias fenotípicas ajustadas das linhagens ou híbridos pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade com auxílio do programa Genes (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

3.5.2 Análises de Variância dialélica

Será feito o desdobramento do efeito de genótipos e da interação genótipos x ambiente de acordo com a estrutura de delineamento de cruzamento adotada, no caso um dialelo parcial a partir das médias fenotípicas ajustadas dos genótipos. Para isso, adotar-se-á o seguinte modelo proposto por Miranda Filho e Geraldi (1984), que se constitui numa adaptação do modelo de Gardner e

Eberhart (1966) para o estudo da heterose em dialelos parciais envolvendo os genitores e F₁'s (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012):

$$\bar{y}_{kk'} = \mu + \alpha d + \frac{1}{2}(v_k + v_{k'}) + \theta(\bar{h} + h_k + h_{k'} + s_{kk'}) + \bar{e}_{kk'},$$

em que: α e θ são variáveis indicadoras, sendo que α assume os valores 0 (caso o genótipo seja uma combinação híbrida), 1 (caso o genótipo seja uma linhagem do grupo 1 – macho-estéril) ou -1 (caso o genótipo seja uma linhagem do grupo 2 - restauradora) e θ assume valores 0 (caso seja uma linhagem) ou 1 (caso seja uma combinação híbrida). $\bar{y}_{kk'}$ é a média fenotípica ajustada do cruzamento da k -ésima linhagem do grupo 1 (macho-estéreis) e a k' -ésima linhagem do grupo 2 (restauradora) ou da linhagem do grupo 1 (\bar{y}_{k0}) ou da linhagem do grupo 2 ($\bar{y}_{0k'}$); μ é uma constante; v_k e $v_{k'}$ são os efeitos das linhagens k e k' dos grupos 1 e 2, respectivamente; \bar{h} é a heterose média; h_k e $h_{k'}$ são as heteroses atribuídas às linhagens k e k' dos grupos 1 e 2, respectivamente; $s_{kk'}$ é a heterose específica resultante do cruzamento da k -ésima linhagem do grupo 1 (macho-estéreis) e a k' -ésima linhagem do grupo 2 (restauradora); $\bar{e}_{kk'}$ é o erro experimental médio.

A significância dos efeitos presentes no modelo dialélico será verificada pelo teste t-Student a 5% de probabilidade. As análises dialélicas serão realizadas com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

4 RESULTADOS

4.1 Análises de variância

A precisão experimental foi avaliada por meio das estimativas das acurácias seletivas calculadas a partir das análises individuais nos diferentes locais para os caracteres estudados. Esse parâmetro reflete a confiabilidade na estimação dos valores genotípicos das linhagens/híbridos de sorgo sacarino testados a partir dos dados fenotípicos observados. Para os caracteres agronômicos, as magnitudes da acurácia oscilaram de 80,33%, para produção de massa verde (PMV) em Sete Lagoas, a 99,59% para o florescimento (FLOR) em Nova Porteirinha (Tabela 1). Para os caracteres tecnológicos, o valor mínimo de acurácia foi de 68,82%, para extração (EXT) em Lavras, enquanto que o valor máximo foi de 94,23% para toneladas de brix por hectare (TBH) em Lavras (Tabela 2).

Foram detectadas diferenças significativas entre os locais para quase totalidade dos caracteres (Tabelas 1 e 2), exceto para os caracteres tecnológicos ATR e POLc. Esse fato está relacionado às diferenças em aspectos macroambientais dos locais, especialmente climáticos, a exemplo da temperatura e da pluviosidade, que têm influência na expressão dos caracteres agronômicos e tecnológicos estudados.

Houve divergência genética significativa entre as linhagens e híbridos sob teste para praticamente todos os caracteres agronômicos e tecnológicos (Tabelas 1 e 2). Este fato demonstra a existência variabilidade genética e reforça a possibilidade de ganho seletivo. Os dois híbridos comerciais utilizados como testemunhas (XBSW80007 e XBSW8014) não apresentaram diferenças significativas para todos os caracteres, no entanto apresentaram desempenho médio superior ao estimado para as linhagens/ híbridos sob teste para a maioria

dos caracteres, exceto para o caráter EXT (Tabelas 1 e 2). Vale ressaltar que a baixa magnitude das médias das linhagens e híbridos se deve à influência do desempenho das linhagens macho-estéreis, as quais se caracterizam por apresentar estatura baixa, e baixos níveis de caldo e açúcares.

A interação genótipos por ambientes é um fenômeno biológico caracterizado pelo comportamento relativo não coincidente de genótipos quando avaliados em diferentes condições ambientais e que tem implicações nas atividades do melhorista (KANG, 1998). Concernente às linhagens/híbridos sob teste, este efeito foi bastante evidente, dado a significância ($P < 0,05$) assinalada para todas as características mensuradas (Tabelas 1 e 2). As testemunhas, de modo geral, apresentaram desempenho relativo coincidente nos diferentes locais. Pode-se observar também que, no geral, às diferenças nas respostas médias das linhagens e híbridos em teste e das testemunhas para os caracteres estudados foram coincidentes nos locais, com exceção dos caracteres agrônômicos PMV e FLOR (Tabela 1) para os quais houve efeito significativo da interação linhagens /híbridos versus testemunhas por locais.

Tabela 1 Resumo da análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos altura de plantas (AP, m), produção de massa verde (PMV, t/ha) e florescimento (FLOR, dias) relativo à avaliação de linhagens e híbridos de sorgo sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012/2013

Fonte de Variação	GL	Estatística F		
		AP	PMV	FLOR
Locais (L)	2	7,18*	42,48*	69,22*
Linhagens/híbridos (LH)	42	21,50*	6,50*	19,95*
Testemunhas (T)	1	0,29	0,01	2,15
LH vs T	1	5,00*	108,41*	120,28*
LH x L	84	1,44*	2,68*	2,35*
T x L	2	4,68*	0,35	1,04
(LH vs T) x L	2	2,20	8,43*	7,81*
Erro Médio	192			168 ⁽¹⁾
QME		0,05952	127,65	5,8481
Média Geral		2,93	52,75	72,81
Média Linhagens/Híbridos		2,92 ^b	51,49 ^b	72,50 ^b
Médias Testemunhas		3,05 ^a	79,85 ^a	79,49 ^a
Acurácia Mínima (%)		87,87	80,33	87,85
Acurácia Máxima (%)		97,54	94,04	99,59

⁽¹⁾ Grau de liberdade do erro. * significativo a 5 % de probabilidade.

QME: Quadrado Médio do Erro

Tabela 2 Resumo da análise variância conjunta dos caracteres tecnológicos produção de álcool por hectare (L/ha), teor de açúcares redutores totais (ARTc, %colmo), quantidade de açúcares totais reduzidos (ATR, %colmo), teor de sacarose aparente (POLc, %colmo), extração de caldo (EXT, %) , teor de sólidos totais (SST, %caldo) e toneladas de brix por hectare (TBH) relativo à avaliação de linhagens de sorgo sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012/2013

Fonte de Variação	GL	Estatística F				GL	Estatística F	
		ALPHA	ARTc	ATR	POLc		EXT	SST
Locais (L) ⁽¹⁾	1	21,86*	34,88*	3,52	4,00	2	280,84*	12,00
Linhagens/Híbridos (LH)	42	3,66*	5,11*	5,19*	4,92*	42	3,94*	7,60
Testemunhas (T)	1	0,28	0,02	0,02	0,00	1	1,52	0,50
LH vs T	1	52,98*	22,18*	23,68*	22,32*	1	0,00	31,95
LH x L	42	2,47*	2,40*	2,00*	1,96*	84	1,41*	2,22
T x L	1	0,09	0,36	0,46	0,32	1	0,62	0,05
(LH vs T) x L	1	1,53	1,60	0,85	0,71	1	1,29	0,08
Erro Médio	126					192		
QME		810060	2,0926	131,10	1,9559		20,983	3,221
Média Geral		2078,70	8,50	69,27	5,92		57,89	13,2
Media Linhagens/Híbridos		2622,70 ^b	8,41 ^b	68,53 ^b	5,83 ^b		57,89 ^a	13,1
Média das Testemunhas		4557,76 ^a	10,44 ^a	85,16 ^a	7,80 ^a		57,93 ^a	15,6
Acurácia Mínima		77,66	74,93	80,71	78,73		68,82	81,1
Acurácia Máxima		92,75	87,54	87,63	87,44		75,79	88,5

⁽¹⁾ Os caracteres ALPHA, ARTc, ATR, e POLc foram mensurados em Lavras e Sete Lagoas .

* significativo a 5 % de probabilidade.

QME: Quadrado Médio do Erro.

4.2 Análises de variância dialélica

Pela análise dialélica realizada de acordo com o modelo proposto de Gardner e Eberhart (1966), adaptado por Miranda Filho e Geraldi (1984) pode-se observar que, independente do local, houve diferenças significativas entre as linhagens macho-estéreis (A) e restauradoras (R) para a maioria dos caracteres agrônômicos e tecnológicos mensurados (Tabelas 3 e 4).

De modo geral, as linhagens A foram estatisticamente bem dissimilares em relação às linhagens R relativo aos variados caracteres agrônômicos e tecnológicos mensurados (Tabelas 3 e 4). As linhagens macho-estéreis se caracterizaram por apresentar maior precocidade, com florescimento ocorrendo, em média, aos 69,34 dias após a semeadura, estatura baixa 1,63m relativo às linhagens R que atingiram em média 2,98m, menor produção de massa verde, sendo, em média 50% inferior às linhagens R, e menor teor de caldo, de sólidos solúveis e de sacarose. Dentre as linhagens A, vale destacar a linhagem CMSXS222A que se mostrou superior às demais em relação aos caracteres AP, ARTc, ATR e POLc (Tabelas 5 e 6).

Dentre as linhagens R, pode-se verificar que a linhagem BR501R foi a que apresentou florescimento mais tardio (83,75 dias) (Tabela 5). Essa variável tem importância para fins de melhoramento genético, visto que o acúmulo de sólidos solúveis no colmo da planta passa a ser crescente após o início do florescimento (GUTJAHR et al., 2013). No que concerne, independentemente, aos caracteres agrônômicos AP e PMV, evidencia-se que o teste de agrupamento de Scott e Knott (1974) permitiu a discriminação das linhagens R em dois grupos, mas que não foram totalmente coincidentes em relação às linhagens constantes nos dois grupos para estes três caracteres. Em se tratando do objetivo de melhoramento de sorgo sacarino, um ponto em destaque é a obtenção de genótipos que associem alta produção de colmos e baixa massa de sementes ou

panículas, pois assim se teria mais açúcares a serem depositados no colmo ao invés de serem drenados para formar amido nas sementes (GUTJAHR et al., 2013). Ante a afirmação, pode-se destacar as linhagens CMSXS634R e CMSXS643R (Tabela 5).

Para a seleção de genótipos superiores de sorgo sacarino é necessário que estes associem além de elevada performance agrônômica, também apresentem boa qualidade da matéria prima para um melhor rendimento no processamento industrial em etanol. A questão da qualidade de matéria prima está diretamente relacionada com alguns caracteres tecnológicos. Neste contexto, pode-se destacar a linhagem CMSXS642R por ter apresentado maior teor de açúcares redutores totais (ARTc, 12,28%), bem como maior teor de sólidos solúveis totais (17,83 °Brix) (Tabela 6). Já em se tratando do caráter TBH, o qual configura como um índice que associa os caracteres PMV, EXT e SST, evidenciou-se superioridade para as linhagens BR505, CMSXS634R, CMSXS643R e CMSXS647R. Todavia, em relação ao caráter de maior interesse no melhoramento de sorgo sacarino, no caso à produção de álcool por hectare, pode-se destacar as linhagens BR505R, CMSXS634R, CMSXS642R, CMSXS643R e CMSXS647R como sendo as mais promissoras.

Observando a comparação das médias entre as linhagens A, R e os híbridos (Apêndice A e B em anexo) pode-se observar superioridade na maioria dos caracteres agrônômicos para as linhagens R o que constitui um ponto favorável e para o caráter tecnológico ATR (Tabelas 3 e 4). O comportamento dos híbridos para alguns caracteres apresentou média inferior ou semelhante ao das linhagens A e R.

Tabela 3 Resumo da análise dialélica dos caracteres agronômicos, altura de plantas (AP, m), produção de massa verde (PMV, t/ha) e florescimento (FLOR, dias) relativo à avaliação de linhagens e híbridos de sorgo sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012/2013

Fonte de Variação	GL	Estatística F		
		AP	PMV	FLOR
Linhagens A	9	8,69*	2,81	3,09*
Linhagens R	2	8,17*	5,24*	30,67*
A vs R	1	252,19*	78,66*	574,97*
Heterose (H)	(60)	21,37*	4,71*	4,39*
Média (Hm)	1	555,72*	60,49*	35,76*
Linh, A (HA)	2	6,57*	5,57*	0,47
Linh, R (HR)	9	6,05*	5,87*	7,51*
Específica (HE)	18	0,99	0,94	1,53
A x Locais	4	1,49	3,57*	3,70*
R x Locais	18	1,21	5,54*	5,98*
(A vs R) x Locais	2	20,22*	6,98*	10,19*
H x Locais	(60)	1,05	1,62	2,01*
Hm x Locais	2	0,58	8,28*	5,39*
HA x Locais	4	0,34	1,42	3,25*
HRx Locais	18	0,80	1,85	2,59*
HE x Locais	36	1,29*	1,15	1,39
Erro Médio	192			168 ⁽¹⁾
Média Linhagem A		1,63 ^b	27,24 ^b	69,34 ^b
Média Linhagem R		2,98 ^a	55,72 ^a	77,84 ^a
Média Híbridos		3,03	52,42	71,27

⁽¹⁾ Grau de liberdade do erro.

* significativo a 5 % de probabilidade.

Tabela 4 Resumo da análise dialélica dos caracteres tecnológicos produção de álcool por hectare (ALP), de açúcares redutores totais (ARTc, %colmo), quantidade de açúcares totais reduzidos (ATR), teor de sacarose aparente (POLc, %colmo), extração de caldo (EXT, %) , teor de sólidos solúveis (SST, %caldo) e toneladas de brix por hectare (TBH) relativo à avaliação de linhagens e híbridos de milho em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha safra 2012/2013

Fonte de Variação	GL	Estatística F				GL	Estatística F	
		ALPHA ⁽¹⁾	ARTc ⁽¹⁾	ATR ⁽¹⁾	POLc ⁽¹⁾		EXT	SST
Linhagens A	2	2,91	6,08*	4,96*	6,00*	2	0,92	3,35*
Linhagens R	9	2,72*	4,33*	4,17*	4,24*	9	10,85*	2,68*
A vs R	1	80,21*	118,05*	126,09*	110,75*	1	19,03*	248,57*
Heterose (H)	(30)	1,55	1,77*	1,76*	1,71*	(60)	2,10*	1,89*
Média (Hm)	1	5,24*	5,06*	7,00*	5,41*	1	2,94	4,51*
Linhagem A (HA)	2	2,83	0,98	1,46	1,37	2	0,15	1,27
Linhagem R (HR)	9	2,02*	1,77	1,30	1,41	9	5,26*	2,66
Específica (HE)	18	0,96	1,67	1,73*	1,69*	18	0,69	1,44
A x Locais	2	2,49	2,75	1,78	1,91	4	0,66	2,04
R x Locais	9	5,56*	3,74*	2,48*	2,34*	18	2,38*	2,13
(A vs R) x Locais	1	15,90*	27,32*	22,84*	22,42*	2	1,37	26,19*
H x Locais	(30)	1,30	1,26	1,29	1,25	(60)	1,29	1,62
Hm x Locais	1	7,29*	0,27	0,27	0,24	2	2,90	0,16
HA x Locais	2	2,37	0,80	0,88	0,81	4	0,88	1,04
HR x Locais	9	1,33	1,61	1,52	1,37	18	1,36	1,81
HE x Locais	18	0,83	1,20	1,29	1,31	36	1,20	1,66
Erro Médio	126					192		
Média Linhagem A		1139,03 ^b	6,83 ^b	56,29 ^b	4,40 ^b		54,48 ^b	10,4 ^b
Média Linhagem R		3310,93 ^a	10,15 ^a	82,93 ^a	7,47 ^a		59,16 ^a	15,5 ^a
Média Híbridos		2541,65	7,99	64,95	5,43		57,81	12,5

Um aspecto relevante a ser investigado no melhoramento do sorgo sacarino é a questão da existência da heterose e, mais detalhadamente, sobre a magnitude e/ou participação deste efeito no desempenho de combinações híbridas. A partir da análise dialélica foi possível verificar que, no geral, houve efeito heterótico significativo para todos os caracteres agronômicos e tecnológicos (Tabelas 3 e 4), demonstrando a participação de genes com interação alélica não-aditiva na expressão fenotípica e, por conseguinte, levantando a possibilidade de exploração de híbridos em sorgo sacarino.

Para os caracteres agronômicos, a heterose média foi significativa para todos os caracteres agronômicos, indicando dominância unidirecional (Tabela 3). Para as linhagens A, foram detectadas diferenças significativas para os efeitos heteróticos associados a estas linhagens macho-estéreis para os caracteres AP e PMV, com destaque para o efeito heterótico manifestado nos híbridos obtidos a partir da linhagem BR008A (Tabela 5). As linhagens R divergiram quanto ao efeito heterótico para todos os caracteres agronômicos (Tabela 3). Algumas linhagens R se destacaram significativamente em relação aos efeitos heteróticos nos híbridos em que participaram a exemplo das linhagens CMSXS644R e BR501R com efeitos heteróticos significativos para o caráter PMV e as linhagens BR500R, CMSXS633R e CMSXS642R, com efeito, heterótico negativo para o caráter florescimento (Tabela 5).

Para a quase totalidade dos caracteres tecnológicos, a heterose média foi significativa com exceção da extração demonstrando a existência de dominância unidirecional para estes caracteres c (Tabela 4). Para as linhagens A, não foram detectadas diferenças significativas entre os efeitos heteróticos para a quase totalidade dos caracteres tecnológicos, exceto TBH, sendo que para este último caráter, a linhagem BR008A se destacou com efeito heterótico positivo (Tabela 6 e Tabela 6 conclusão). As linhagens R diferiram quanto ao efeito heterótico para os caracteres tecnológicos ALPHA, EXT, SST e TBH (Tabela 4). No

entanto, apenas se destaca a linhagem CMSXS644R, que apresentou efeito heterótico positivo para os caracteres ALPHA, e SST, e efeito heterótico negativo para o caráter EXT (Tabela 5).

A heterose para os caracteres agronômicos e tecnológicos são apresentadas nos apêndice A, B e B conclusão. Entre os caracteres agronômicos foi observados valores de heterose de 31,60, 28,11 e -2,50 para os caracteres AP, PMV e FLOR respectivamente. Entre os caracteres tecnológicos os valores para heterose foram de 17,53, - 5,69, -6,48, -8,08, 1,70, -3,48 e 18,55 para os caracteres ALPHA, ARTc , ATR ,POLc ,EXT ,SST e TBH respectivamente .

Tabela 5 Médias ajustadas e efeitos heteróticos (*Hi*) das linhagens A e R na média dos locais para os caracteres de plantas (AP, m), produção de massa verde (t/ha) e florescimento (FLOR, dias) relativos às linhagens e híbridos de sorgo sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2011/12.

Linhagens	AP		PMV		FLOR
	Médias Aj	<i>Hi</i>	Médias Aj,	<i>Hi</i>	Médias Aj,
BR007A	1,55 ^b	-0,04	26,06 ^a	-1,89	68,36 ^b
BR008A	1,44 ^b	0,14*	21,03 ^a	5,94*	71,90 ^a
CMSXS222A	1,90 ^a	-0,10*	34,62 ^a	-4,05*	67,75 ^b
Erro Padrão		0,04		1,82	
BR500R	3,11 ^a	-0,04	57,36 ^a	-9,71*	76,93 ^b
BR501R	2,77 ^b	0,08	54,01 ^b	14,11*	83,75 ^a
BR504R	3,09 ^a	0,04	45,61 ^b	0,67	77,26 ^b
BR505R	3,06 ^a	-0,13*	62,50 ^a	-5,73	76,85 ^b
CMSXS633R	2,99 ^a	-0,16*	47,91 ^b	3,73	77,66 ^b
CMSXS634R	2,95 ^a	-0,13*	56,99 ^a	-3,69	75,87 ^b
CMSXS642R	2,98 ^a	-0,01	53,28 ^b	-0,16	77,39 ^b
CMSXS643R	2,88 ^b	0,06	59,51 ^a	-3,42	79,00 ^b
CMSXS644R	3,07 ^a	0,36*	51,36 ^b	7,69*	77,70 ^b
CMSXS647R	2,86 ^b	-0,06	68,63 ^a	-3,49	75,95 ^b
Erro Padrão		0,06		2,72	

Médias seguidas de mesma letra, pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott- Knott a 5 % de probabilidade.

* Efeito significativamente não nulo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

Tabela 6 Medias Ajustada e efeitos heteróticos (Hi) na media dos locais para os caracteres tecnológicos álcool por hectare (ALPHA, L/ha), teor de açucares redutores totais (ARTc , %colmo), quantidade de açucares totais reduzidos (ATR, kg/t colmo, teor de sacarose aparente (POLc, %colmo)de sorgo sacarino Sete Lagoas e Nova Porteirinha safra 2012/2013

Linhagens	ALPHA ⁽¹⁾		ARTc ⁽¹⁾		ATR ⁽¹⁾		Médias Aj
	Médias Aj	Hi	Médias Aj	Hi	Médias Aj	Hi	
BR007A	1024,03 ^a	-177,13	6,25 ^b	-0,19	52,66 ^b	-1,80	3,4
BR008A	825,04 ^a	420,22*	6,49 ^b	0,40	52,41 ^b	3,86	4,5
CMSXS222A	1568,03 ^a	-243,09	7,75 ^a	-0,20	63,79 ^a	-2,06	5,7
Erro Padrão		177,48		0,28		2,26	
BR500R	3202,25 ^b	-308,35	10,09 ^b	0,11	81,30 ^b	1,18	7,8
BR501R	2183,50 ^b	397,45	8,24 ^c	-0,18	67,40 ^b	-1,13	5,7
BR504R	2582,14 ^b	212,07	9,78 ^c	0,67	81,60 ^b	4,99	7,8
BR505R	4116,33 ^a	-503,89	10,73 ^b	-1,04*	88,37 ^a	-8,15*	8,9
CMSXS633R	2827,04 ^b	216,13	10,29 ^b	-0,19	85,24 ^a	-0,64	7,8
CMSXS634R	3901,83 ^a	-329,99	10,58 ^b	-0,13	87,78 ^a	-1,09	8,9
CMSXS642R	3666,07 ^a	-65,33	12,28 ^a	-0,63	97,90 ^a	-3,87	9,0
CMSXS643R	3645,08 ^a	-88,69	10,57 ^b	-0,03	86,93 ^a	-0,07	7,8
CMSXS644R	2846,04 ^b	784,51*	9,73 ^c	0,99*	76,43 ^b	4,94	6,9
CMSXS647R	4139,00 ^a	-313,90	9,17 ^c	0,43	76,38 ^b	3,83	6,9
Erro Padrão		266,23		0,43		3,39	

“Tabela 6, conclusão”

Linhasgens	EXT		SST		TBF
	Médias Aj,	Hi	Médias Aj,	hi	Médias Aj,
BR007A	55,80 ^a	-0,36	10,42 ^a	-0,33	1,49 ^a
BR008A	54,40 ^a	0,35	9,78 ^a	0,44	1,09 ^a
CMSXS222A	53,25 ^a	0,33	11,27 ^a	-0,11	2,07 ^a
Erro Padrão		0,78		0,29	
BR500R	56,41 ^b	-0,38	16,06 ^b	0,11	4,77 ^b
BR501R	60,00 ^a	1,09	13,91 ^c	0,74	4,17 ^b
BR504R	57,37 ^b	-0,49	15,36 ^c	0,16	3,80 ^b
BR505R	61,45 ^a	1,43	15,30 ^c	-0,53	5,79 ^a
CMSXS633R	60,62 ^a	0,79	15,98 ^b	-0,32	4,30 ^b
CMSXS634R	59,98 ^a	1,86	15,56 ^c	-0,13	5,24 ^a
CMSXS642R	55,81 ^b	0,49	17,83 ^a	-0,89	4,98 ^b
CMSXS643R	58,89 ^b	0,59	16,18 ^b	-0,49	5,31 ^a
CMSXS644R	58,16 ^b	-7,25*	14,51 ^c	1,68*	4,13 ^b
CMSXS647R	62,95 ^a	1,87	15,08 ^c	-0,33	6,29 ^a
Erro Padrão		1,11		0,43	

Médias seguidas de mesma letra, pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.
 * Efeito significativamente não nulo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

A partir do modelo de Gardner e Ebehart (1966), adaptado por Miranda Filho e Geraldi (1984), é possível estudar a presença de efeitos heteróticos específicos, o que permite a identificação de combinações híbridas que apresentaram boa complementariedade. No presente estudo, dentre os caracteres agronômicos e tecnológicos, este efeito foi apenas evidenciado, na média dos locais, para os caracteres ATR e POLc (Tabela 4). No caso, pode-se destacar o híbrido CMSXS222A x CMSXS643R que apresentou heterose específica positiva para ATR e POLc (Tabela 7).

Tabela 7 Heterose específica dos híbridos para os caracteres altura de plantas (AP, m), quantidade de reducidos (ATR, kg/t colmo), teor de sacarose aparente (POLc, %colmo), relativo à avaliação de sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012/2013

Híbridos	AP				ATR
	Lavras	Sete	Nova	Média	Média
BR007A x BR500R	0,06	-0,09	-0,02	-0,02	6,34
BR007A x BR501R	0,06	-0,18	0,03	-0,03	-1,58
BR007A x BR504R	0,11	-0,02	0,10	0,06	-7,67*
BR007A x BR505R	-0,01	0,12	-0,04	0,02	-2,30
BR007AxCMSXS633R	-0,19	0,09	-0,06	-0,06	0,34
BR007AxCMSXS634R	0,04	-0,01	0,05	0,03	2,16
BR007AxCMSXS642R	-0,04	0,00	-0,07	-0,04	6,83
BR007AxCMSXS643R	-0,04	0,22*	-0,01	0,05	-8,10*
BR007AxCMSXS644R	-0,06	-0,41*	0,00	-0,16*	1,40
BR007AxCMSXS647R	0,09	0,29*	0,01	0,13*	2,56
BR008A x BR500R	-0,01	0,25*	0,01	0,08	-3,04
BR008A x BR501R	-0,06	0,16	0,03	0,04	2,81
BR008A x BR504R	-0,16	-0,11	0,00	-0,09	0,79
BR008A x BR505R	.	0,07	0,00	0,02	5,98
BR008AxCMSXS633R	0,17	-0,14	0,01	0,01	3,59
BR008AxCMSXS634R	0,10	0,05	-0,09	0,02	-5,04
BR008AxCMSXS642R	-0,06	0,17	0,02	0,04	0,76
BR008AxCMSXS643R	0,00	-0,09	-0,11	-0,06	-4,10
BR008AxCMSXS644R	0,03	0,11	0,04	0,06	2,16
BR008AxCMSXS647R	-0,01	-0,47*	0,08	-0,13*	-3,90
CMSXS222AxBR500R	-0,05	-0,16	0,01	-0,07	-3,30
CMSXS222AxBR501R	0,00	0,02	-0,06	-0,02	-1,22
CMSXS222AxBR504R	0,05	0,13	-0,11	0,02	6,89

“Tabela 7, conclusão”

Híbridos	AP				ATR
	Lavras	Sete	Nova	Média	Média
CMSXS222AxBR505R	0,01	-0,19	0,04	-0,05	-3,68
CMSXS222AxCMSXS633R	0,03	0,05	0,05	0,04	-3,92
CMSXS222AxCMSXS634R	-0,13	-0,03	0,04	-0,04	2,87
CMSXS222AxCMSXS642R	0,10	-0,17	0,04	-0,01	-7,59*
CMSXS222AxCMSXS643R	0,04	-0,13	0,12	0,01	12,2*
CMSXS222AxCMSXS644R	0,03	0,30*	-0,05	0,09	-3,59
CMSXS222AxCMSXS647R	-0,08	0,18	-0,08	0,01	1,34
Erro Padrão	0,11	0,11	0,11	0,06	3,62

* Efeito significativamente não nulo a 5 % de probabilidade pelo teste t

Por ocasião das análises dialélicas multiambientais foi também possível estudar os efeitos da interação entre as linhagens (efeitos varietais) e híbridos (efeitos heteróticos) com os locais testados (Tabelas 3 e 4). Entre os caracteres agrônômicos as linhagens A e R apresentaram uma resposta diferencial para os caracteres PMV e FLOR nos diferentes locais (Tabelas 3 e 8).

Tabela 8 Médias ajustadas individuais para os caracteres, produção de massa verde (PMV, t/ha) e florescimento (FLOR, dias) relativo à avaliação de linhagens de sorgo sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012/2013

Linhagens	PMV			FLOR		
	Lavras	Sete	Nova	Lavras	Sete	Nova
BR007A	18,58 ^a	33,33 ^b	26,28 ^b	71,93 ^a	72,35 ^a	60,81 ^a
BR008A	13,58 ^a	28,57 ^b	20,95 ^b	71,81 ^a	72,90 ^a	59,92 ^a
CMSXS222A	19,94 ^a	45,24 ^a	38,67 ^a	74,52 ^a	66,93 ^b	61,79 ^a
BR500R	46,66 ^b	61,42 ^c	63,99 ^b	82,27 ^b	77,93 ^a	70,58
BR501R	45,83 ^b	47,62 ^d	68,57 ^a	87,05 ^a	82,16 ^a	82,05 ^a
BR504R	38,83 ^c	50,00 ^d	47,99 ^d	82,78 ^b	78,45 ^a	70,54 ^c
BR505R	52,16 ^b	80,47 ^b	54,85 ^c	80,98 ^b	80,54 ^a	69,03 ^c
CMSXS633R	42,22 ^c	50,48 ^d	51,05 ^c	83,31 ^b	80,11 ^a	69,55 ^c
CMSXS634R	61,64 ^a	65,71 ^c	43,61 ^d	79,11 ^b	78,95 ^a	69,56 ^c
CMSXS642R	48,42 ^b	52,38 ^d	59,04 ^b	83,85 ^b	77,09 ^a	71,23 ^c
CMSXS643R	67,77 ^a	42,38 ^d	68,38 ^a	89,27 ^a	73,66 ^b	74,07 ^b
CMSXS644R	48,55 ^b	53,33 ^d	52,19 ^c	81,67 ^b	77,93 ^a	73,50 ^b
CMSXS647R	51,60 ^b	97,14 ^a	57,14 ^c	79,20 ^b	79,99 ^a	68,66 ^c

Médias seguidas de mesma letra, pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Entre os caracteres tecnológicos as linhagens A quase que em sua totalidade não apresentaram efeito diferencial, exceto para o caráter TBH, esse efeito diferiu em relação às linhagens R que só não apresentou efeito diferencial pra os caracteres ARTc, ATR e POLc (Tabelas 4, 9 e 9 conclusão).

Tabela 9 Médias ajustadas dos caracteres tecnológicos produção de álcool por hectare (ALPHA, L/ha), t redutores totais (ARTc, %colmo), quantidade de açúcares totais reduzidos (ATR, kg/t de sacarose aparente (POLc, %colmo) relativo à avaliação de linhagens e híbridos de sorgo sacarinos Sete Lagoas e Nova Porteirinha safra 2012/2013

Linhagens	ALPHA		ARTc		ATR		Lavr
	Lavras	Sete	Lavras	Sete	Lavras	Sete	
BR008A	513,7 ^a	1136,4 ^a	6,8 ^a	6,2 ^a	48,9 ^a	55,8 ^a	3,7 ^a
CMSXS222A	792,9 ^a	2343,2 ^a	7,7 ^a	7,8 ^a	56,6 ^a	70,9 ^a	4,6 ^a
BR500R	3048,1 ^b	3356,3 ^b	11,9 ^b	8,3 ^a	87,7 ^b	74,9 ^a	8,2 ^b
BR501R	2515,6 ^b	1851,4 ^b	10,3 ^b	6,2 ^b	78,5 ^b	56,3 ^b	7,0 ^b
BR504R	2279,2 ^b	2885,1 ^b	10,5 ^b	9,1 ^a	80,9 ^b	82,3 ^a	7,2 ^b
BR505R	3616,2 ^a	4616,5 ^a	12,6 ^a	8,9 ^a	96,4 ^a	80,4 ^a	9,1 ^a
CMSXS633R	2588,4 ^b	3065,7 ^b	10,9 ^b	9,6 ^a	83,6 ^b	86,9 ^a	7,6 ^b
CMSXS634R	3865,0 ^a	3938,7 ^a	11,7 ^b	9,4 ^a	90,2 ^b	85,3 ^a	8,4 ^b
CMSXS642R	4041,4 ^a	3290,7 ^b	15,1 ^a	9,4 ^a	110,5 ^a	85,4 ^a	10,8 ^a
CMSXS643R	5194,3 ^a	2095,8 ^b	13,1 ^a	8,1 ^a	100,7 ^a	73,2 ^a	9,5 ^a
CMSXS644R	3479,8 ^a	2212,3 ^b	13,1 ^a	6,4 ^b	94,9 ^a	57,8 ^b	9,0 ^a
CMSXS647R	2746,7 ^b	5531,3 ^a	9,6 ^b	8,7 ^a	73,8 ^b	78,9 ^a	6,5 ^b

“Tabela 9, conclusão”

Linhasgens	EXT			SST			TBL	
	Lavras	Sete	Nova	Lavras	Sete	Nova	Lavras	Sete
BR501R	69,6 ^a	72,2 ^a	38,2 ^b	15,2 ^a	10,6 ^b	15,9 ^b	4,7 ^b	3,6 ^b
BR504R	72,4 ^a	69,5 ^a	30,3 ^c	13,7 ^a	14,3 ^a	18,1 ^b	3,8 ^b	4,9 ^b
BR505R	71,3 ^a	72,2 ^a	40,8 ^b	15,3 ^a	13,8 ^a	16,8 ^b	5,5 ^b	8,1 ^b
CMSXS633R	75,8 ^a	71,9 ^a	34,2 ^c	14,4 ^a	14,4 ^a	19,1 ^a	4,2 ^b	5,2 ^b
CMSXS634R	71,0 ^a	71,4 ^a	37,5 ^b	15,4 ^a	13,9 ^a	17,3 ^b	6,4 ^a	6,6 ^b
CMSXS642R	63,4 ^b	67,8 ^a	36,2 ^c	18,0 ^a	14,9 ^a	20,6 ^a	5,4 ^b	5,3 ^b
CMSXS643R	70,7 ^a	71,7 ^a	34,3 ^c	16,7 ^a	12,3 ^b	19,5 ^a	7,8 ^a	3,6 ^b
CMSXS644R	65,8 ^b	69,4 ^a	39,3 ^b	16,3 ^a	10,8 ^b	16,4 ^b	5,0 ^b	4,0 ^b
CMSXS647R	72,9 ^a	72,1 ^a	43,9 ^a	13,0 ^a	13,4 ^a	18,9 ^a	4,7 ^b	9,5 ^b

Médias seguidas de mesma letra, pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de

Com relação ao efeito heterótico, foi observada interação com os locais mais evidentes para o FLOR (Tabela 3), sendo esta relacionada às diferenças no efeito heterótico manifestado pelas linhagens A e R frente aos locais, conforme evidenciado na (Tabela 10). Para o caráter AP, observou-se efeito significativo para a interação heterose específica por locais (Tabela 3).

Para os caracteres tecnológicos, não houve efeito significativo para a interação linhagens A x locais, demonstrando que as linhagens macho-estéreis se comportaram de maneira coincidente nos diferentes locais (Tabela 4). Cenário contrastante foi visto para as linhagens R, as quais exibiram efeito de interação significativa para a totalidade dos caracteres. Todavia, a classificação das linhagens R, em geral, não foi fortemente alterada nos locais avaliados (Tabela 9 e Tabela 9 conclusão), indicando uma maior fração de interação do tipo simples. De modo geral não se constatou significância para a interação locais com efeitos heteróticos (Tabela 4). Para os caracteres ALPHA e TBH somente foi detectada significância para interação heterose média x locais. Este resultado indica que para estes caracteres o efeito heterótico expresso não foi coincidente nos locais em que as linhagens e híbridos foram testado.

Tabela 10 Efeitos heteróticos para o caráter agrônômico florescimento (FLOR, dias) relativo à avaliação de linhagens e híbridos de sorgo sacarino em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012

Linhagens	FLOR		
	Lavras	Sete	Nova
BR007A	-0,07	0,46	0,69
BR008A	1,15	-1,80*	0,36
CMSXS222A	-1,08	1,34*	-1,06
Erro Padrão	0,67	0,67	0,67
BR500R	-1,60	-3,75*	-0,67
BR501R	2,36*	1,50	5,17*
BR504R	1,09	3,04*	1,48
BR505R	-1,06	-1,10	-0,98
CMSXS633R	-1,25	-2,03*	-0,89
CMSXS634R	0,57	-0,03	-0,68
CMSXS642R	-1,72	-1,95	-1,64
CMSXS643R	-1,79	3,45*	-0,63
CMSXS644R	1,59	3,86*	-0,73
CMSXS647R	1,81	-2,99*	-0,44
Erro Padrão	1,01	1,01	1,01

* Efeito significativamente não nulo a 5 % de probabilidade pelo teste t

5 DISCUSSÃO

Os programas de melhoramento de sorgo sacarino têm atuado no sentido de alterar as frequências de alelos favoráveis no intuito de incrementar ou reduzir a expressão de caracteres agronômicos de interesse que tenham associação com a produção de etanol como, por exemplo, alta produtividade de biomassa verde, baixa relação folha /colmo, baixa produtividade de grãos, insensibilidade ao fotoperíodo, resistência ao acamamento, bem como caracteres tecnológicos como, o rendimento de caldo, produção de açúcares totais e sacarose, elevação do período de utilização industrial, etc. (DURÃES, 2011).

O sucesso com a seleção em qualquer programa de melhoramento invoca a existência de variação genética significativa entre os genótipos sob teste, fato este evidenciado para as linhagens e híbridos experimentais de sorgo sacarino para todos os caracteres agronômicos e tecnológicos mensurados. A presença desta variação genética atrelada à boa qualidade das informações experimentais contribui para a estimação com melhor rigor dos componentes genéticos, no presente caso, componentes da média fenotípica, a exemplo dos efeitos das linhagens (efeitos varietais) e mais, especificamente, efeitos heteróticos.

Foi observada precisão experimental moderada a muito alta para os caracteres agronômicos e tecnológicos estudados, conforme Tabelas 1 e 2 (RESENDE; DUARTE, 2007). Com isso, evidencia-se um cenário de boa confiabilidade para as inferências a serem realizadas. A oscilação na magnitude da acurácia para os caracteres em questão, já era aguardada devido à ampla variação genética expressa nas linhagens e híbridos testados, uma vez que este parâmetro leva em conta, simultaneamente, além da variância residual, o número de repetições e o coeficiente de variação genotípico.

Considerando o ideotipo de sorgo sacarino para os caracteres agronômicos, o caráter PMV apresenta grande destaque, porque reflete diretamente a produção de caldo, uma vez que há sempre uma correlação positiva entre essas duas características (PEREIRA FILHO et al., 2012). A PMV mostrou-se altamente significativa entre as linhagens/híbridos sob teste (Tabela 1). Apresentando média geral de 51,49 t/ha, que concordam com resultados obtidos na literatura (ALMODARES; HADI, 2009; PARRELLA et al., 2010; TEIXEIRA et al., 1999). Na decomposição deste efeito na variação entre as linhagens A e R, o destaque ocorreu para as linhagens BR500R, BR505R, CMSXS634R, CMSXS643R e CMSXS647R (Tabela 5).

Um paralelo importante deve ser levantado com relação aos caracteres PMV e FLOR. O sorgo sacarino inicia o seu processo de acúmulo de açúcar no colmo após o florescimento, encerrando dessa forma o seu período vegetativo, onde ocorre a acumulação de massa verde (GUTJAHR et al., 2013). A obtenção de genótipos que equilibrem precocidade e acúmulo de produção de massa verde é de grande interesse para os programas de melhoramento. De maneira geral foi observado uma maior precocidade das linhagens A em relação aos híbridos, enquanto que as linhagens R se mostraram mais tardias.

Trabalhos têm apontado que o tempo para florescimento é controlado por quatro genes cuja expressão está diretamente relacionada às condições ambientais, principalmente, pelo fotoperíodo e temperatura (QUINBY; HESKETH; VOIGT, 1973). Caddel e Weibel (1972) observaram que em maiores temperaturas a indução floral ocorria de maneira mais precoce. Na média geral das linhagens/híbridos foi observado florescimento em torno de 72,50 dias, entretanto considerando o efeito dos ambientes, para o caráter em questão, o destaque ocorreu em Nova Porteirinha que com temperatura média de 28 °C apresentou maior precocidade, evidenciando variação de 59,92 a 69,56 dias de florescimento para as linhagens A e de 68,66 a 82,05 dias para as

linhagens R (Tabela 8). Tôrres et al. (2012), trabalhando com genótipos sacarinos semelhantes na mesma região no Norte de Minas obteve estimativas que oscilaram entre 63 a 80 dias de florescimento.

As linhagens BR500R, BR505R, CMSXS634R, CMSXS643R E CMSXS647R se destacaram por apresentarem divergência para os caracteres PMV e FLOR, apresentando as maiores médias para PMV e menores médias para FLOR, caracterizando-se como materiais produtivos e precoces (Tabela 5).

A avaliação de caracteres relacionados à produção e principalmente a qualidade do caldo de sorgo sacarino são imprescindíveis para aumentar a produção de etanol. Com relação à EXT foram observadas divergências significativas entre as linhagens/híbridos para a produção de caldo. Entre as linhagens mais produtivas pode-se destacar a BR501R, BR505R, CMSXS633R, CMSXS634R e a CMSXS647R com médias que variaram entre 59,98% a 62,95% de extração (Tabela 6), lembrando que essa variação é dependente do equipamento utilizado. Essas médias são consideradas satisfatórias quando comparadas a outros trabalhos em que a média alcançada foi de 32,91% (RIBEIRO FILHO et al., 2008).

A produção de caldo está diretamente relacionada com a quantidade de massa verde produzida ao longo do ciclo da planta de sorgo, teor de fibra, destacando-se a maior quantidade em plantas sacarinas ao longo da fase reprodutiva até a fase de maturação fisiológica (RIBEIRO et al., 2012; SOUZA et al., 2005). Isso foi evidenciado entre as linhagens BR505R, CMSXS634R e a CMSXS647R que obtiveram maiores médias para a PMV e EXT.

A estimação de variáveis ligadas à qualidade do caldo de sorgo sacarino figuram como prioridade em programas de melhoramento de sorgo sacarino. O teor de sólidos solúveis totais (SST) é uma das características mais importantes para sorgo sacarino. Genótipos de sorgo com valores de brix maiores que 8% no caldo do caule são geralmente definidos como doces ou sacarinos (PFEIFFER et

al., 2010). Todos os materiais dessa maneira foram considerados sacarinos uma vez que, em média, o teor de SST ficaram acima de 9,78 °brix. Desse modo, as linhagens/híbridos em teste apresentaram caldo com teor de açúcares interessantes para servirem como matéria-prima das leveduras na produção de etanol, sendo desejável maior valor possível (TEETOR et al., 2011).

Comparando as médias de SST entre as linhagens e híbridos, é possível constatar a superioridade das linhagens R (15,58°brix) em relação às linhagens A (10,49°brix) e híbridos (12,56 °brix). O baixo teor de SST observado nos híbridos experimentais se deveu principalmente à performance inferior das linhagens macho-estéreis (A) em relação às linhagens R.

De acordo com trabalhos de Teixeira et al. (1999), outros fatores podem influir no teor final dos sólidos solúveis totais, uma vez que esse caráter sofre grande influência ambiental, principalmente em relação a mudanças no comprimento do dia e intensidade de radiação, além de alterações nas condições de solo, fertilidade do solo, respostas diferenciadas a adubação (KUMAR; SHROTRIA; DESHMUKH, 2008). Essa variação dos valores de SST pode ser comprovada pelo efeito divergente do caráter nos diferentes locais para esse caráter (Tabela 2). Tórres et al. (2012) trabalhando com algumas linhagens sacarinas semelhantes as do presente trabalho como CMSXS643R, CMSXS634R e CMSXS644R obteve valores entre 6,20 a 21,03°Brix na região Norte de Minas Gerais. Estas mesmas linhagens no presente trabalho para a mesma região obtiveram valores entre 14,5 a 19,5°brix.

Progressos têm sido relatado na obtenção de linhagens de sorgo sacarino destinadas a produção de etanol (REDDY; RAMESH, 2005). A produção estimada de etanol para sorgo sacarino é inferior à cana de açúcar. Segundo Pinho e Vasconcelos (2002) o sorgo apresenta produção estimada de ordem 3.775 L/ha em relação à cana- de-açúcar que produz 4.125 L/ha. É preciso ressaltar que a produção dessa fração de etanol no sorgo sacarino e obtida em

quatro meses, com um custo menor em relação à cana que alcança essa produção em até doze meses de cultivo. No presente trabalho a média entre as linhagens A e R e os híbridos ficaram abaixo dessa estimativa, no entanto algumas linhagens R se destacaram com médias bastante elevadas sendo essas as linhagens BR505R, CMSXS634R E A CMSXS647R (Tabela 6). Resultados bastante promissores quando comparadas com outras cultivares de sorgo sacarino como o BRS506 que apresenta variação de 4,544 a 6,636 L/ha (PINHO; VASCONCELOS, 2002; RATNAVATHI et al., 2010; ZHAO et al., 2009).

Para a viabilidade econômica na produção de etanol a partir do sorgo sacarino, é necessário que se atinja níveis mínimos de produção de açúcar (SCHAFFERT et al., 2011). Para o caráter ATR, esse valor mínimo chega a 80 kg/t de colmo, o que equivale a uma produção de 2.000 a 2.200 litros de etanol por hectare com rendimento de 40 t/ha. No presente trabalho somente as linhagens R ficaram mais próximas desse valor mínimo com produção de 82 kg/t de colmo (Tabela 4). Valores de extração de até 90 kg/ t de colmo já foram encontrados em sorgo sacarino (MOURA et al., 2010). Para o caráter ARTc, o nível mínimo corresponde ao valor 12,5%. Maior desempenho médio foi observado nas linhagens R (10,15%), demonstrando a necessidade de incremento desta característica para produção de etanol, uma vez se encontra abaixo do valor mínimo estipulado para as leveduras utilizadas no processo possam converter completamente todo o açúcar em etanol (SENA et al., 2013). O caráter ARTc também está associado ao período de utilização industrial (PUI), o qual se constitui num atributo importante para fins de planejamento da colheita e processamento da matéria-prima. O PUI compreende o período que a cultivar estará apta para colheita no campo, mantendo os padrões mínimos de rendimento acima estabelecidos (SCHAFFERT et al., 2011).

Ante o exposto acerca do ideótipo de sorgo sacarino, outro aspecto relevante a ser discutido é o tipo de cultivar a ser obtida, se linhagem ou híbrido.

O sorgo é uma espécie autógama, o que remete a uma dificuldade operacional para a obtenção de híbridos, havendo a necessidade de polinização artificial. No entanto com a identificação do sistema de macho esterilidade por Stephens e Holanda (1954), a produção de híbridos sacarinos se tornou viável (DURÃES, 2011). A grande vantagem dos híbridos em relação às linhagens é a possibilidade de explorar o vigor híbrido ou heterose, uma vez existente. Além disso, a cultivar híbrida apresenta forte apelo em virtude de se constituir numa proteção natural inibindo a reutilização das sementes híbridas, com isso ganhando grande apreço pela indústria sementeira.

Apesar do efeito heterótico se manifestar, em geral, de maneira menos efetiva em espécies autógamas em relação às alogamas, existem alguns exemplos de sucesso do seu uso, como no caso do arroz, sorgo granífero e forrageiro que usando a macho-esterilidade tem possibilitado incrementos na produção em torno de 20 a 25% em relação as variedades convencionais (COIMBRA et al., 2006). Poucas investigações a cerca da heterose em sorgo sacarino tem sido relatadas a partir de um *background* exclusivamente sacarino (PFEIFFER et al., 2010). Alguns trabalhos apresentam estimativas da heterose, todavia em híbridos sacarino x granífero (SCAPIM et al., 1998).

De maneira geral, a partir do presente estudo, o sorgo sacarino apresentou efeito heterótico para os diferentes caracteres agrônômicos e tecnológicos avaliados (Tabelas 3 e 4). Este fato indica que no controle genético desses caracteres estão envolvidos genes de ação não-aditiva e, assim, ventilando a possibilidade de se obter híbridos.

Para os caracteres agrônômicos, este efeito heterótico foi bem evidente para os caracteres AP e PMV, com efeito, positivo e FLOR, com efeito negativo. Considerando o caráter florescimento, vale destacar a linhagem BR008A, que apresentou efeito heterótico significativo, resultando em combinações híbridas mais precoces. Dentre as linhagens R, esse mesmo tipo de efeito heterótico foi

observado para as linhagens BR500R, CMSXS633R e CMSXS642R (Tabela 5). Relatos concordantes são encontrados na literatura (GEETA; RANA, 1987; KULKARNI; SHINDE, 1985; POTHISOONG; JAESIL, 2011). Pothisoong e Jaesil (2011) trabalhando com 20 híbridos de sorgo sacarino provenientes dos cruzamentos de dez linhagens R com duas linhagens A observaram efeito heterótico negativo para o caráter FLOR. Para os caracteres PMV e AP, tem sido relatada a presença de efeito heterótico positivo com relação à altura da planta (KULKIAMI; SHINDE, 1985; QUINBY, 1963). Alguns relatos destacam os híbridos produzindo maior rendimento devido a maior altura de plantas e maior diâmetro de caule resultando em maior produtividade de colmos o se traduz consequentemente em maior rendimento de caldo (PFEIFFER et al., 2010).

Entre os caracteres tecnológicos o maior valor observado da heterose foi para o caráter TBH (Apêndice B conclusão). As linhagens A, em geral, se mostraram limitadas quanto aos caracteres agrônômicos e também valores médios inferiores para os atributos tecnológicos. Estes resultados depõem para a necessidade de obtenção de linhas macho-estéreis melhoradas, ou seja, que associem bons atributos agrônômicos e, especialmente, tecnológicos. Com relação às linhagens R, alguns caracteres de grande importância apresentaram efeito heterótico significativo como ALPHA, EXT, SST e TBH (Tabela 4). Resultados semelhantes tem sido relatados por Pothisoong e Jasil (2011) para os caracteres SST e EXT. Alguns resultados que se mostraram significativos e de acordo com os padrões de interesse para programas de melhoramento de sorgo sacarino foram para os caracteres ALPHA e SST com destaque também para a linhagem CMSXS644R.

Para o caráter ATR chama atenção somente a linhagem (CMSXS643R) por apresentar efeito heterótico positivo, aumentando a expressão desse caráter. Considerando o caráter POLc o híbrido (CMSXS222A x CMSXS643R) foi o

único que se mostrou significativo positivo no sentido de elevar a expressão do carácter .

Alguns relatos de heterose em sorgo sacarino abrem a perspectiva de exploração do vigor híbrido (MAKANDA et al., 2010; PFEIFFER et al., 2010), contudo praticamente não se observou a presença de heterose específica para os caracteres agroindustriais mensurados, permitindo identificar combinações híbridas de alta performance e que apresentassem boa complementariedade entre estas linhagens cruzadas. Assim, o melhoramento das linhagens, especialmente das macho-estéreis torna-se imprescindível, bem como a busca por linhagens que associem elevada desempenho per se e elevada capacidade de combinação para os principais caracteres agroindustriais, a exemplo do TBH, que concatena informações acerca do desempenho agrônômico (PMV) e tecnológicos (EXT e SST).

6 CONCLUSÕES

Houve expressão de heterose para a maioria dos caracteres avaliados para produção de etanol, sendo esta mais expressiva para a altura de planta ($h = 31,60\%$), produção de massa verde ($h = 28,11\%$) e tonelada de brix por hectare ($h = 18,55\%$).

As linhagens macho-estéreis (A) e restauradoras (R) divergiram na contribuição para o efeito heterótico, sendo esta de maior magnitude para as linhagens BR008A, BR501R e CMSXS644R.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W. Estimation of prepotency from lima bean diallel cross. **Agronomy Journal**, Madison, v. 48, p. 537-543, 1956.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- ANDERSSON, Y.; HEDLUND, B. Extruded wheat flour: correlation between processing and product quality parameters. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 2, n. 4, p. 201-216, 1990.
- ANDRADE, R. V.; MARTINS NETTO, D. A. Banco ativo de germoplasma de sorgo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: EMBRAPA, 2000. p. 56.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Washington, 1990. 1018 p.
- AUDILAKSHMI, S. et al. Inheritance of sugar concentration in stalk (brix), sucrose content, stalk and juice yield in sorghum. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 34, n. 6, p. 813-820, June 2010.
- AXTELL, J. et al. Heterosis in sorghum and pearl millet. In: COORSAND, J. G.; PANDEY, S. (Ed.). **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1999. p. 375-386.
- AYYANGAR, G. M. et al. Mendelian segregation for juiciness and sweetness in sorghum stalk. **Madras Agricultural Journal**, Coimbatore, v. 24, p. 247, Jan. 1936.
- BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H. T.; MURPHY, J. P. (Ed.). **CAB International plant breeding**. Wallingford: Plant Breeding, 1992. p. 69-100.
- BALARAVI, S.; BISWAS, P. K.; ELANGO VAN, M. Advances in the improvement of the sweet sorghum in India. In: INTERNATIONAL SWEET SORGHUM CONFERENCE, 1., 1997, Beijing. **Proceedings...** Beijing: SSC, 1997. p. 304-313.

- BANGARWA, K. S.; GREWAL, R. P. S.; LODHI, G. P. Genetics of sweetness in sorghum. **Sorghum Newsletter**, Maharashtra, v. 28, p. 75, 1985.
- BAOCHENG, C. et al. An analysis of genetic effects of containing the sugar on different stems in sorghum. **Acta Agronomica Sinica**, Beijing, v. 12, p. 39-42, 1986.
- BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Statistical Society**, London, v. 160, p. 901, May 1937.
- BASTOS, I. T. et al. Análise dialéctica em clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 4, p. 199-206, 2003.
- BHATTRAMAKKI, D. et al. An integrated SSR and RFLP linkage map of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Genome**, College Station, v. 43, n. 6, p. 988-1002, Dec. 2000.
- BINELLI, G. L. et al. Similarity of maize and sorghum genomes as revealed by maize RFLP probes. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 84, n. 1/2, p. 10-16, June 1992.
- BORÉM, A. Endogamia e heterose. In: _____. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 163-188.
- CADDEL, J. L.; WEIBEL, D. E. Photoperiodism in sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, p. 473-476, 1972.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento-plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.
- CLAASSEN, P. A. M. et al. Biological hydrogen production from sweet sorghum by thermophilic bacteria. In: WORLD CONFERENCE ON BIOMASS FOR ENERGY, INDUSTRY AND CLIMATE PROTECTION, 2., 2004, Rome. **Proceedings...** Rome: FAO, 2004. 1 CD-ROM.
- COIMBRA, J. L. M. et al. Heterose em arroz híbrido. **Revista Brasileira de Agrobiologia**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 257-264, jul./set. 2006.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Décimo levantamento da safra agrícola 2011/2012, agosto 2012**. Acesso em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Açúcar e álcool do Estado de São Paulo**: manual de instruções. 5. ed. Piracicaba, 2006. 54 p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: biometria. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 1, 382 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 390 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480 p.
- CRUZ, C. D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 12, p. 425-438, jun. 1989.
- DAMASCENO, C. M. B. Genômica do sorgo sacarino e análise de marcadores genéticos moleculares para características de interesse agrônomo e industrial. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 10-13, ago. 2011.
- DAYAKAR, R. B. et al. **Sweet sorghum cane for bio-fuel production**: a swot analysis in Indian context. Hyderabad: National Research Centre for Sorghum, 2004. 20 p.
- DOGGET, H. **Sorghum**. 2nd ed. New York: Wiley, 1988. 117 p.
- DUARTE, A. P. Como fazer uma boa segunda safra. **Cultivar**, Pelotas, v. 3, n. 25, p. 10-18, fev. 2001.
- DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônomo e industrial para alimentos e energia. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 2-5, ago. 2011.

EMANI, C.; SUNILKUMAR, G.; RATHORE, K. S. Transgene silencing and reactivation in sorghum. **Plant Science**, College Station, v. 162, n. 2, p. 181-192, Feb. 2002.

EZZAT, E. M.; ALI, M. A.; MAHMOUD, A. M. Agronomic performance, genotype X environment interactions and stability analysis of Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Asian Journal of Crop Science**, Beijing, v. 2, n. 4, p. 250-260, 2010.

FAIAD, M. G. R. et al. **Manual de procedimentos para conservação de germoplasma-semente a longo prazo na Embrapa**. Brasília: EMBRAPA Cenargen, 2001. 30 p.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 279 p.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.

FINKNER, R. E. et al. Genetic control for percentage grain protein and grain yield in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 139-142, 1981.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/010/ai466e/ai466e04.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

GANESH, S. et al. Character association for grain yield in sweet sorghum. **Madras Agricultural Journal**, New Delhi, v. 82, n. 5, p. 36-37, 1995.

GARDNER, C. O. Development of superior populations of sorghum and role in breeding programs. In: RAO, N. G. P.; HOUSE, L. R. (Ed.). **Sorghum in seventies**. New Delhi: IBH, 1972. p. 180-195.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, London, v. 22, p. 439-452, Sept. 1966.

GEETA, S.; RANA, B. S. Genetic changes over six generations in a pedigree breeding programme in sorghum. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, Hyderabad, v. 27, n. 41, p. 61-66, Sept. 1987.

GOYAL, S. N.; JOSHI, P. Genetics yield and panicle components in grain sorghum hybrids. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v. 44, p. 96-101, Mar. 1984.

GRIFFING, B. Concept general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, June 1956.

GUIYING, L. et al. **A training manual for sweet sorghum**. Disponível em: <http://ecoport.org/ep?SearchType_earticleView&earticleId-172&page-2>. Acesso em: 21 jul. 2012.

GUTJAHR, S. et al. Grain, sugar and biomass accumulation in photoperiod-sensitive sorghum II: biochemical processes at internode level and interaction with phenology. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 40, n. 4, p. 355-368, Feb. 2013.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, Birmingham, v. 39, n. 6, p. 789-809, Nov. 1954.

HULBERT, S. et al. Genetic mapping and characterization of sorghum and related crops by means of maize DNA probes. **Proceedings National Academy of Sciences**, Washington, v. 87, p. 4251-4255, June 1990.

HUNSIGI, G.; YEKKELI, N. R.; KONGAWAD, B. Y. Sweet stalk sorghum: an alternative sugar crop for ethanol production. **Sugar Tech**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 79-80, Mar. 2010.

HUSKINS, C. L.; SMITH, S. G. A cytological study of the genus sorghum Pers: I., the somatic chromosomes. **Journal of Genetics**, Bangalore, v. 25, n. 2, p. 241-249, 1932.

JINKS, J. L.; HAYMAN, B. I. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics Corporation News Letter**, Ithaca, v. 27, n. 1, p. 48-54, 1953.

KANG, M. S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 62, n. 3, p. 199-252, Sept. 1998.

KIM, J. S. et al. Integrated karyotyping of sorghum by *in situ* hybridization of landed BACs. **Genome**, College Station, v. 45, n. 2, p. 402-412, Apr. 2002.

- KULKARNI, N.; SHINDE, V. K. Heterosis and inbreeding depression in grain sorghum. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 55, p. 505-509, 1985.
- KUMAR, S. R.; SHROTRIA, P. K.; DESHMUKH, J. P. Characterizing nutrient management effect on yield of sweet sorghum genotypes. **World Journal of Agricultural Sciences**, Pradesh, v. 4, n. 6, p. 787-789, 2008.
- LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Clima: cultivo do sorgo**. 5. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2009. 30 p.
- LAURIE, D. A.; BENNETT, M. D. Nuclear DNA content in the genera *Zea* and *Sorghum*: intergeneric, interspecific, and intraspecific variation. **Heredity**, Cary, v. 55, p. 307-313, 1985.
- LIMA, G. S. de. **Estudo comparativo da resistência à seca no sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em diferentes estádios de desenvolvimento**. 1998. 128 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.
- LIRA, M. de A. Considerações sobre o potencial do sorgo em Pernambuco. In: CURSO DE EXTENSÃO SOBRE A CULTURA DO SORGO, 1., 1980, Vitória de Santo Antão. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DID, 1981. p. 87-88.
- LIRA, M. de A. et al. Tolerância à seca na fase de plântula em um cruzamento dialélico de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 6, p. 151-168, 1989. Número especial.
- LITTELL, R. C. et al. **SAS for mixed models**. 2nd ed. Cary: SAS Institute, 2006. 813 p.
- MAKANDA, I. et al. Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low- and mid-altitude environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 116, n. 1/2, p. 75-85, Mar. 2010.
- MAY, A. et al. Variedades de Sorgo Sacarino em diferentes espaçamentos e populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 3, p. 278-290, 2012.
- MELAKE-BERHAN, A. et al. Structure and evolution of the genomes of *Sorghum bicolor* and *Zea mays*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 86, n. 5, p. 598-604, 1993.

- MENZ, M. A. et al. A high-density genetic map of *Sorghum bicolor* (L.) Moench based on 2926 AFLP, RFLP and SSR markers. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 48, n. 5/6, p. 483-499, 2002.
- MIRANDA FILHO, J. B.; GERALDI, I. O. Adapted model for the analysis of partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 677-688, 1984.
- MIRANDA FILHO, J. B.; GORGULHO, E. P. Cruzamentos com testadores e dialelos. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2004. p. 650-671.
- MIRANDA FILHO, J. B.; VIÉGAS, G. P. Milho híbrido. In: PARTENIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 275-340.
- MOHAMMADI, R.; AMRI, A. Analysis of genotype x environment interactions for grain yield in durum wheat. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 4, p. 1177-1186, 2009. Disponível em: <<https://www.crops.org/publications/cs/articles/49/4/1177>>. Acesso em: 10 maio 2010.
- MOURA, S. M. et al. Distribuição de açúcares nos entrenós de genótipos de sorgo sacarino. In: CONGRESSO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2010, Búzios. **Anais...** Búzios: SBMP, 2010. 1 CD-ROM.
- NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. **Integrated energy systems in China: the Cold Northeastern region experience**. Rome: UNUP, 1994. 475 p.
- NATH, B. Populations breeding techniques in sorghum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM, 8., 1981, Patancheru. **Proceedings...** Patancheru: ICRISAT, 1982. p. 421-434.
- NIEHAUS, M. H.; PICKETT, R. C. Heterosis and combining ability in a diallel cross in *Sorghum vulgare* Pers. **Crop Science**, Madison, v. 1, n. 6, p. 33-36, Jan. 1966.
- OLIVEIRA, J. S. et al. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 883-889, 2002.

OLIVETTI, M. P. de A.; CAMARGO, A. M. M. P. de. Aspectos econômicos e desenvolvimento da cultura do sorgo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 1-16, 1997.

PARRELA, R. A. C. Melhoria genética do sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 13-15, ago. 2011.

PARRELA, R. A. C. et al. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando à produção de etanol. Resumos expandidos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2010. 1 CD-ROM.

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X. dos. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C. V.; DUARTE, W. (Ed.). **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p. 11-41.

PEREIRA FILHO, I. A. et al. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando à obtenção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: EMBRAPA, 2012. 1 CD-ROM.

PETERSON, D. G. et al. Integration of cot analysis, DNAcloning, and high-throughput sequencing facilitates genome characterization and gene discovery. **Genome Research**, Cold Spring Harbor, v. 12, n. 5, p. 795-807, May 2002.

PFEIFFER, T. W. et al. Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in Appalachia. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1788-1794, Sept. 2010.

PINHO, R. Z. von; VASCONCELOS, R. C. de. **Cultura do sorgo**. Lavras: UFLA, 2002. 75 p.

POTHISOONG, T.; JAISIL, P. Yield potential, heterosis and ethanol production in F1 hybrids of sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench. **Kmitl Science and Technology Journal**, Bangucoque, v. 11, n. 1, p. 17-20, June 2011.

PURCINO, A. A. C. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 6, ago. 2011.

QUINBY, J. R. Manifestations of hybrid vigor in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 3, n. 4, p. 288-291, July 1963.

QUINBY, J. R.; HESKETH, J. D.; VOIGT, R. L. Influence of temperature and photoperiod on floral initiation and leaf number in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 243-246, 1973.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RAMALHO, M. A.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RATNAVATI, C. V.; DAYAKAR, B.; SEETHARAMA, N. Sweet sorghum stalk: a suitable raw material for fuel alcohol production. **Research Bulletin**, New York, v. 17, n. 5, p. 8-11, 2003.

RATNAVATHI, C. V. et al. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Karnataka Journal of Agricultural Science**, Hyderabad, v. 34, n. 7, p. 947-952, July 2010.

REDDY, B. V. S.; RAMESH, S. R. Sweet sorghum a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. **International Sorghum and Millets Newsletter**, Southampton, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2005.

REDDY, J. N.; JOSHI, P. Heterosis, inbreeding depression and combining ability in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v. 53, n. 2, p. 138-146, Aug. 1993.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 3, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

RIBEIRO, W. P. et al. Rendimento industrial de duas cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) em diferentes densidades de plantas e épocas de corte. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: EMBRAPA, 2012. 1 CD-ROM.

RIBEIRO FILHO, M. N. et al. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de água ardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 9-16, 2008.

RODRIGUES, J. A. S. **Progresso genético e potencial de risco do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil**. 1990. 170 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1990.

ROONEY, L. W. **Food and nutritional quality of sorghum and millet**. Nebraska: INTSORMIL, 2007. 115 p.

ROONEY, W. L. Sorghum improvement: integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. **Advances in Agronomy**, College Station, v. 83, n. 4, p. 37-109, July 2004.

ROSS, W. M. Use of population breeding in sorghum: problems and progress. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 28., 1973, Chicago. **Proceedings...** Chicago: ASTA, 1973. p. 30-43.

SANKARAPANDIAN, R. et al. Heterosis and combining ability studies for juice yield related characteristics in sweet sorghum. **Annals of Agricultural Research**, Ghaziabad, v. 15, n. 2, p. 199-204, 1994.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 605-658.

SCAPIM, C. A. et al. Efeitos gênicos, heterose e depressão endogâmica em caracteres de sorgo granífero. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1847-1857, nov. 1998.

SCHAFFERT, R. E. et al. Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 3, n. 3, p. 47, ago. 2011.

SCHAFFERT, R. E.; TREVISAN, W. L. Aspectos gerais da cultura do sorgo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 1., 1979, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA, 1979. p. 25-29.

SCHLEHUBER, A. M. Inheritance of stem characters: in certain sorghum varieties and their hybrids. **Journal of Heredity**, Washington, v. 36, n. 7, p. 219-222, 1945.

- SCHMILDT, E. R.; KRAUSE, W.; CRUZ, C. D. Melhoria na eficiência dos experimentos de indicação de cultivares de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 72-80, jan./fev. 2006.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.
- SELVI, B.; PALANISMY, S. Partitioning analysis o quality charcters in sweet sorghum. **Annals of Agricultural Research**, Ghaziabad, v. 10, n. 2, p. 204-206, 1989.
- SENA, F. M. et al. Distribuição e acumulação de açúcares nos entrenós de dois genótipos de sorgo sacarino sensíveis ao fotoperiodismo. In: CONGRESSO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2013. p. 3417-3420.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.
- SINGHANIA, D. L. Heterosis and combining ability studies in grain sorghum. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v. 40, n. 2, p. 463-470, 1980.
- SINGHANIA, D. L.; DEOSTHALE, Y. G.; RAO, N. G. P. Study of gene action for protein and lysine content in sorghum. **Indian Journal of Heredity**, Uttar Pradesh, v. 11, p. 25-35, 1979.
- SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. **Sorghum: origin, history, technology, and production**. College Station: Texas A & M University, 2000. 824 p. (Wile Series in Crop Science).
- SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. **Sorghum: origin, history, technology, and production**. College Station: Texas A & M University, 2005. 824 p. (Wile Series in Crop Science).
- SOUZA, C. C. et al. Produtividade do sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimento**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 512-517, 2005.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS release 9.3**. Cary, 2012. Software.

STEPHENS, J. C.; HOLLAND, R. F. Cytoplasmic male-sterile for hybrid sorghum seed production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 46, p. 20-23, 1954.

TAVARES, M.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 41-47, abr. 1999.

TEETOR, V. H. et al. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**, Tucson, v. 34, n. 2, p. 1293-1300, Sept. 2011.

TEIXEIRA, C. G. et al. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1601-1606, set. 1999.

TESSO, T. T. et al. Analysis of stalk rot resistance and genetic diversity among drought tolerant sorghum genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 2, p. 645-652, Mar. 2005.

TORRES, A. et al. Caracterização de sorgo sacarino no Norte de Minas Gerais, visando a produção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: EMBRAPA, 2012. 1 CD-ROM.

TSUCHIHASHI, N.; GOTO, Y. Year-round cultivation of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] through a combination of seed and ratoon cropping in Indonesian Savanna. **Plant Production Science**, Shinkawa, v. 11, n. 3, p. 377-384, 2008.

VENCOSVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

- VIANA, J. M. S. The parametric restrictions of the Gardner and Eberhart diallel analysis model: heterosis analysis. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 23, n. 4, p. 869-875, 2000.
- WANG, M. L. et al. Genetic diversity and population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 120, n. 13, p. 13-23, Sept. 2009.
- WHITKUS, R.; DOEBLEY, J.; LEE, M. Comparative genome mapping of sorghum and maize. **Genetics**, Austin, v. 132, p. 1119-1130, Dec. 1992.
- 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, v. 18, n. 3, p. 491-495, May 1978.
- WOODS, J. **Integrating sweet sorghum and sugarcane for bioenergy:** modeling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe. London: University of London, 2000. 266 p.
- YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, Wageningen, v. 171, n. 3, p. 355-360, 2010.
- YAN, W.; KANG, M. S. **GGE Biplot analysis:** a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Boca Raton: CRC, 2003. 288 p.
- YU, H.; LIANG, G. H.; KOFOID, K. D. Analysis of C-banding chromosome patterns of sorghum. **Crop Science**, Manhattan, v. 31, n. 6, p. 1524-1527, Nov. 1991.
- ZHAO, Y. L. et al. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p. 55-64, Mar. 2009.
- ZHAO, Z. et al. Transformação mediada por *Agrobacterium* de sorgo. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 44, n. 3, p. 789-798, 2000.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Resumo das médias ajustadas e % de Heterose dos híbridos para os caracteres agrônômicos plantas (AP, m), produção de massa verde (PMV, kg) e florescimento (FLOR, dias) em Lagoas e Nova Porteirinha na safra 2012/2013

Híbridos	AP		PMV		FLOR
	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas
007A x BR500R	2,95 ^c	26,89	42,17 ^c	1,09	69,40 ^d
007A x BR501R	2,90 ^c	34,21	65,46 ^a	63,50	76,84 ^a
007A x BR504R	3,11 ^b	34,03	44,59 ^b	24,42	72,19 ^c
007A x BR505R	2,88 ^c	25,08	48,94 ^b	10,53	70,41 ^d
007AxCMSXS633R	2,74 ^c	20,53	51,80 ^b	40,05	69,39 ^d
007AxCMSXS634R	2,83 ^c	25,88	46,31 ^b	11,53	70,59 ^d
007AxCMSXS642R	2,91 ^c	28,50	47,51 ^b	19,77	69,23 ^d
007AxCMSXS643R	3,01 ^b	35,99	52,11 ^b	21,80	73,00 ^b
007AxCMSXS644R	3,20 ^b	38,72	52,80 ^b	36,41	73,50 ^b
007AxCMSXS647R	2,96 ^c	34,19	48,52 ^b	2,47	71,90 ^c
008A x BR500R	3,18 ^b	39,55	49,13 ^b	25,35	69,47 ^d
008A x BR501R	3,09 ^b	46,68	65,64 ^a	74,95	78,25 ^a
008A x BR504R	3,08 ^b	35,85	50,29 ^b	50,91	71,88 ^c
008A x BR505R	3,00 ^b	33,33	51,99 ^b	24,49	68,87 ^d
008AxCMSXS633R	2,93 ^b	31,85	53,10 ^b	54,03	70,17 ^d
008AxCMSXS634R	2,94 ^b	34,02	47,71 ^b	22,29	69,51 ^d
008AxCMSXS642R	3,11 ^b	40,53	56,95 ^b	53,27	69,83 ^d
008AxCMSXS643R	3,02 ^b	39,40	49,09 ^b	21,89	71,70 ^c
008AxCMSXS644R	3,54 ^a	57,01	66,47 ^a	83,63	72,18 ^c
008AxCMSXS647R	2,82 ^c	30,88	63,04 ^a	40,61	69,28 ^d

222AxBR500R	3,02 ^b	20,49	39,55 ^c	-14,00	67,22 ^d
222AxBR501R	3,02 ^b	29,39	66,18 ^a	49,36	76,27 ^a
222AxBR504R	3,18 ^b	27,38	49,49 ^b	23,37	74,16 ^b
222AxBR505R	2,92 ^c	17,89	49,55 ^b	2,04	69,56 ^d
222AxCMSXS633R	2,95 ^c	20,43	52,08 ^b	26,21	69,47 ^d
222AxCMSXS634R	2,87 ^c	18,57	54,32 ^b	18,59	70,30 ^d
222AxCMSXS642R	3,04 ^b	24,87	48,91 ^b	11,29	68,44 ^d
222AxCMSXS643R	3,08 ^b	28,76	51,73 ^b	9,91	71,54 ^c
222AxCMSXS644R	3,56 ^a	43,41	54,77 ^b	27,42	72,30 ^c
222AxCMSXS647R	2,94 ^c	23,74	54,83 ^b	6,23	67,84 ^d
Média Híbridos	3,03	31,60	52,42	28,11	71,27

Médias seguidas de mesma letra , pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de

APÊNDICE B - Médias ajustadas e % de Heterose dos híbridos para os caracteres tecnológicos produção de açúcar por hectare (ALPHA, L/ha), teor de açúcares redutores totais (ARTc, %colmo), quantidade de açúcares redutores totais reduzidos (ATR, kg/t colmo), teor de sacarose aparente (POLc, %colmo) em híbridos de milho de milho de Lagoas e Nova Porteirinha safra 2012/2013

Híbridos	ALPHA		ARTc		ATR		Médias Ajustadas
	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	
007A x BR500R	2165,76 ^a	2,49	8,42 ^a	3,09	68,05 ^a	1,59	5,8
007A x BR501R	1881,88 ^a	17,34	6,27 ^b	-13,38	50,87 ^b	-15,27	3,6
007A x BR504R	2025,65 ^a	12,34	6,99 ^b	-12,79	57,99 ^b	-13,61	4,5
007A x BR505R	2026,84 ^a	-21,14	6,47 ^b	-23,80	53,61 ^b	-23,97	4,0
007AxCMSXS633R	2407,35 ^a	25,02	7,54 ^b	-8,80	62,19 ^b	-9,81	5,0
007AxCMSXS634R	2553,74 ^a	3,69	7,82 ^b	-7,10	64,83 ^b	-7,67	5,4
007AxCMSXS642R	2645,48 ^a	12,81	8,68 ^b	-6,30	71,78 ^b	-4,65	6,2
007AxCMSXS643R	2089,06 ^a	-10,52	6,65 ^b	-20,94	55,16 ^b	-20,96	4,1
007AxCMSXS644R	2852,16 ^a	47,40	8,41 ^b	5,34	64,46 ^b	-0,14	5,5
007AxCMSXS647R	2422,30 ^a	-6,17	7,72 ^b	0,21	64,45 ^b	-0,11	5,3
008A x BR500R	2516,24 ^a	24,96	7,91 ^b	-4,60	64,20 ^b	-3,98	5,4
008A x BR501R	2733,70 ^a	81,73	7,32 ^b	-0,56	60,79 ^b	1,48	4,8
008A x BR504R	2661,62 ^a	56,24	8,8 ^a	8,51	71,99 ^a	7,43	6,3
008A x BR505R	3267,89 ^a	32,27	8,18 ^a	-5,06	67,42 ^a	-4,22	5,7
008AxCMSXS633R	2711,53 ^a	48,49	8,52 ^a	2,13	70,98 ^a	3,12	6,1
008AxCMSXS634R	2245,97 ^a	-4,97	7,68 ^b	-9,96	63,17 ^b	-9,88	5,2
008AxCMSXS642R	3062,68 ^a	36,39	8,76 ^a	-6,68	71,25 ^a	-5,20	6,2
008AxCMSXS643R	2478,59 ^a	10,90	7,87 ^b	-7,78	64,70 ^b	-7,13	5,4
008AxCMSXS644R	3620,07 ^a	97,22	9,28 ^a	14,42	70,73 ^a	9,79	6,3
008AxCMSXS647R	2750,53 ^a	10,82	7,79 ^b	-0,48	63,53 ^b	-1,35	5,2
222AxBR500R	1854,89 ^a	-22,23	7,89 ^b	-11,60	63,72 ^b	-12,17	5,3
222AxBR501R	2510,60 ^a	33,84	6,95 ^b	-13,15	56,53 ^b	-13,82	4,2
222AxBR504R	2480,74 ^a	19,55	9,63 ^a	9,82	77,86 ^a	7,10	6,9
222AxBR505R	2026,66 ^a	-28,69	7,06 ^b	-23,65	57,54 ^b	-24,38	4,4

“APÊNDICE B, conclusão”

Híbridos	ALPHA		ARTc		ATR		Médias Ajustadas
	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	
222AxCMSXS633R	2428,66 ^a	10,52	7,50 ^b	-16,90	63,24 ^b	-15,14	5,1
222AxCMSXS634R	2721,62 ^a	-0,49	8,72 ^a	-4,86	70,85 ^a	-6,51	6,0
222AxCMSXS642R	2253,51 ^a	-13,89	7,83 ^b	-21,81	62,67 ^b	-22,48	5,2
222AxCMSXS643R	3292,45 ^a	26,31	9,99 ^a	9,05	80,77 ^a	7,18	7,3
222AxCMSXS644R	2808,95 ^a	27,27	8,63 ^a	-1,27	64,75 ^a	-7,65	5,7
222AxCMSXS647R	2752,53 ^a	-3,54	8,29 ^a	-2,08	68,54 ^a	-2,21	5,8
Média Híbridos	2541,65	17,53	7,99	-5,69	64,95	-6,48	5,4

Médias seguidas de mesma letra, pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de

APÊNDICE C - Médias ajustadas e % de Heterose dos híbridos para os caracteres tecnológicos ext (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais (SST, %caldo) e toneladas de brix por hectare (T) em Lavras, Sete Lagoas e Nova Porteirinha safra 2012/2

Híbridos	EXT		SST		T
	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	
007A x BR500R	56,58 ^b	0,84	12,95 ^a	-2,22	3,06 ^b
007A x BR501R	60,27 ^a	4,10	12,33 ^b	1,35	4,38 ^a
007A x BR504R	55,98 ^b	-1,07	12,38 ^b	-3,95	2,99 ^b
007A x BR505R	62,09 ^a	5,90	11,68 ^b	-9,20	3,42 ^b
007AxCMSXS633R	58,78 ^a	0,98	12,26 ^b	-7,16	3,66 ^b
007AxCMSXS634R	59,48 ^a	2,74	12,03 ^b	-7,41	3,44 ^b
007AxCMSXS642R	54,56 ^b	-2,23	12,72 ^b	-9,96	3,43 ^b
007AxCMSXS643R	60,48 ^a	5,47	11,44 ^b	-14,01	3,50 ^b
007AxCMSXS644R	50,66 ^c	-11,09	13,12 ^a	5,25	3,42 ^b
007AxCMSXS647R	62,18 ^a	4,72	11,00 ^b	-13,73	3,84 ^a
008A x BR500R	55,45 ^b	0,08	12,64 ^b	-2,21	3,40 ^b
008A x BR501R	58,69 ^a	2,60	13,41 ^a	13,17	4,95 ^a
008A x BR504R	57,28 ^a	2,50	12,20 ^b	-2,96	3,56 ^b
008A x BR505R	59,73 ^a	3,12	11,73 ^b	-6,46	4,09 ^a
008AxCMSXS633R	60,18 ^a	4,64	13,00 ^a	0,94	4,13 ^a
008AxCMSXS634R	59,30 ^a	3,69	12,29 ^b	-3,03	3,35 ^b
008AxCMSXS642R	57,84 ^a	4,97	13,49 ^a	-2,28	4,37 ^a
008AxCMSXS643R	56,64 ^b	-0,02	11,50 ^b	-11,46	3,14 ^b
008AxCMSXS644R	50,81 ^c	-9,72	14,14 ^a	16,43	4,46 ^a
008AxCMSXS647R	62,11 ^a	5,85	12,06 ^b	-2,97	4,51 ^a
222AxBR500R	56,15 ^b	2,39	13,14 ^a	-3,91	2,77 ^b

“APÊNDICE C, conclusão”

Híbridos	EXT		SST		T
	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas	% Heterose	Médias Ajustadas
222AxBR501R	59,02 ^a	4,22	11,67 ^b	-7,36	4,39 ^a
222AxBR504R	56,00 ^b	1,26	13,25 ^a	-0,53	3,49 ^b
222AxBR505R	59,31 ^b	3,43	12,27 ^b	-7,65	3,45 ^a
222AxCMSXS633R	59,03 ^a	3,67	12,05 ^b	-11,56	3,68 ^a
222AxCMSXS634R	61,44 ^a	8,53	12,95 ^a	-3,48	4,15 ^b
222AxCMSXS642R	57,49 ^a	5,43	12,15 ^b	-16,54	3,30 ^a
222AxCMSXS643R	57,66 ^a	2,83	14,15 ^a	3,09	4,21 ^b
222AxCMSXS644R	48,69 ^c	-12,59	13,87 ^a	7,58	3,49 ^b
222AxCMSXS647R	60,43 ^a	4,00	12,86 ^a	-2,40	4,17 ^b
Média Híbridos	57,81	1,70	12,56	-3,48	3,74

Médias seguidas de mesma letra, pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste de Scott-Knott a 5%