



GABRIELLE MARIA ROMEIRO LOMBARDI

**HETEROSE EM SORGO SACARINO EM
DIFERENTES ÉPOCAS DE COLHEITA**

**LAVRAS – MG
2016**

GABRIELLE MARIA ROMEIRO LOMBARDI

**HETEROSE EM SORGO SACARINO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE
COLHEITA**

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

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Lombardi, Gabrielle Maria Romeiro.

Heterose em Sorgo Sacarino em Diferentes Épocas de
Colheita / Gabrielle Maria Romeiro Lombardi. – Lavras : UFLA,
2016.

68 p.

Dissertação (mestrado acadêmico)—Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): José Airton Rodrigues Nunes.

Bibliografia.

1. Sorghum bicolor (L) Moench. 2. Dialelo. 3. Macho-
esterilidade. 4. Seleção de genitores. 5. vigor híbrido. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

GABRIELLE MARIA ROMEIRO LOMBARDI

**HETEROSE EM SORGO SACARINO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE
COLHEITA**

**HETEROSIS IN SWEET SORGHUM DURING DIFFERENT TIMES OF
HARVESTING**

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 26 de agosto de 2016

Dr. Magno Antônio Patto Ramalho

Dr. Robert Eugene Schaffert

UFLA

Embrapa Milho e Sorgo

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Orientador

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

Coorientador

LAVRAS – MG

2016

*À minha irmã Nicolý Maria e à minha avó Liliana Abud.
Aos meus pais Carlos Fernando e Isabel Cristina.
Ao meu esposo Ramon Abílio.
À minha filha Laura.
DEDICO*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade fornecida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Biologia pelo conhecimento provido.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida. A FAPEMIG e CNPQ por demais auxílios.

Aos meus familiares pela compreensão da distância e por tornar possíveis meus estudos, principalmente minha irmã Nicololy Maria por tornar meus dias mais divertidos, minha avó Liliana Abud por lembrar-se das minhas obrigações e ser esse símbolo de perseverança e amor, meus pais Carlos Fernando e Isabel Cristina pelo incentivo e apoio durante toda a minha vida.

Ao meu esposo Ramon Abílio pelo amor, companheirismo e apoio.

À minha filha Laura pela calma e alegria.

Aos meus colegas do GEN e do G-SORGO pela amizade, convivência, apoio durante a condução dos trabalhos e em especial por cuidarem da Laura.

Aos professores que me guiaram até aqui

Luiz Antônio Bastos Andrade,

Adriano Teodoro Bruzi,

Magno Antonio Patto Ramalho

Ao Dr. Rafael Parrella, pelos ensinamentos e disponibilidade durante a condução do trabalho.

E em especial, ao Prof. Dr. José Airton, pela orientação, ensinamentos e dedicação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para essa conquista.

Muito Obrigada!

“Eu não vivo por viver. Sou uma locomotiva hereditária, transportando a evolução genética, semeando os alelos dos meus antepassados, lendo e escrevendo um novo capítulo até meu desgaste e substituição.”

(Autor Desconhecido).

RESUMO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] constitui-se em uma matéria-prima para produção de etanol de 1ª geração, por possuir colmos suculentos com presença de açúcares diretamente fermentáveis à semelhança da cana-de-açúcar. Os programas de melhoramento do sorgo sacarino visam à obtenção de híbridos que apresentem elevada produtividade de etanol por hectare, o que significa selecionar genótipos que associem fenótipos favoráveis para várias características, como produção de massa verde, rendimento de caldo e teor de sólidos solúveis. A variação fenotípica para estas características ao longo dos estágios de desenvolvimento da cultura influencia na recomendação de cultivares e no planejamento agroindustrial pelas usinas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial *per se* de linhagens macho-estéreis e restauradoras de sorgo sacarino, bem como detalhar a heterose manifestada quanto ao desempenho médio, taxa de acúmulo e previsibilidade para as características relacionadas direta e/ou indiretamente à produção de etanol em diferentes épocas de colheita. Foram avaliados 20 genótipos, sendo quatro linhagens restauradoras de fertilidade (R), três linhagens macho-estéreis (A) e 12 híbridos resultantes do cruzamento dialélico parcial entre A e R, além do híbrido comercial CV 198 em quatro épocas de colheita (97, 111, 125 e 139 dias após a semeadura - DAP). Os experimentos foram realizados em Lavras-MG e em Sete Lagoas - MG, seguindo o delineamento latíce retangular triplo 4 x 5. Os tratamentos foram dispostos num esquema de parcelas subdivididas 20x4, sendo os genótipos dispostos nas parcelas e as épocas de colheita nas subparcelas. As características mensuradas foram altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais (SST, °brix) e toneladas de brix por hectare (TBH). Além disso, foram obtidas as estimativas por parcela dos parâmetros b_1 e r^2 , correspondentes ao ajuste do modelo de regressão linear simples das características em função da época de colheita. Os dados fenotípicos e as estimativas de b_1 e r^2 foram submetidas às análises de variância e dialélica. Para as análises dialélicas utilizou-se o modelo de Miranda Filho e Geraldí (1984), adaptado de Gardner e Eberhart (1966). A precisão experimental foi verificada pelo coeficiente de variação experimental (CV). Houve diferença significativa entre genótipos para todas as características. A linhagem macho-estéril A1 e as linhagens restauradoras R1 e R2 apresentaram maior potencial *per se* ao considerar o desempenho médio, a taxa de acúmulo e previsibilidade do comportamento das características ao longo do desenvolvimento da cultura. Ocorreu heterose para todas as características avaliadas quanto ao desempenho médio e a previsibilidade do comportamento ao longo do desenvolvimento da cultura. Com relação à taxa de acúmulo, ocorreu

também heterose, exceto para extração de caldo. Os híbridos que apresentam maior desempenho per se seguido de maior heterose foram H3, H4 e H6.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Dialelo. Macho-esterilidade. Seleção de genitores. Vigor híbrido.

ABSTRACT

The sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is an alternative feedstock for ethanol production of first generation, due to juicy stalks with directly fermentable sugars, such as sugar cane. The sweet sorghum breeding programs aim to obtain hybrids with high ethanol yield per hectare, which means selecting genotypes that associate favorable phenotypes for the several traits, such as fresh biomass production, juice yield and total soluble solids content. The phenotypic variation in these traits over to the development stage of the crop has influence on the recommendation of cultivars and agro-industrial planning by plants. The aim of this study was to evaluate the potential *per se* of male sterile and restorer lines of sweet sorghum, as well as to detail the heterosis effect manifested on the average performance, accumulation rate and predictability for the traits related to directly and/or indirectly to the ethanol yield during different times of harvesting. We evaluated 20 genotypes, being four fertility restorer lines (R), three male sterile lines (A), 12 hybrids resulting from the partial diallel cross between A and R, and the commercial hybrid CV 198 in four harvesting time (97, 111, 125 and 139 days after sowing - DAS). The experiments were conducted in the municipalities of Lavras and Sete Lagoas, both in the state of Minas Gerais, following the triple rectangular lattice design 4 x 5. The treatments were arranged in a split plot scheme 20x4, where the genotypes were allocated in plots and harvesting times in subplots. The measured traits were plant height (AP, m), fresh biomass production (PMV, t ha⁻¹), juice extraction (EXT%), total soluble solids (TSS, °brix) and tons of brix per hectare (TBH). In addition, they were estimated the parameters b_1 and r^2 by plot, corresponding to the adjustment of the simple linear regression between the traits and times of harvest. The phenotypic data and estimates of b_1 and r^2 were submitted to analysis of variance and diallel analysis. We used the Miranda Filho and Geraldi (1984), adapted of Gardner and Eberhart (1966) diallel model. The experimental precision was assessed by experimental coefficient of variation. There was significant difference among genotypes for all traits. The male-sterile line A1 and restorer lines R1 and R2 had better potential *per se* when considering the average performance, the accumulation rate and the predictability of behavior of the traits over the harvests. The heterosis effect was significant for all traits. Regarding the accumulation rate also there was heterosis, except for the juice extraction. The hybrids H3, H4 and H6 showed higher performance *per se* and higher heterosis.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Diallel. Male sterility. Parental selection. Hybrid vigor.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Análise do solo na profundidade de 0 – 20 cm em Lavras e Sete Lagoas MG, na safra 2014/2015.....26
- Tabela 2 - Resumo da análise de variância conjunta das características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.....35
- Tabela 3 - Resumo da análise de variância conjunta da taxa linear de acúmulo (b₁) e da previsibilidade do comportamento (r²) para as características, produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e toneladas de brix por hectare (TBH) relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.....39
- Tabela 4 - Resumo da análise dialélica quanto ao desempenho médio (μ) das características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) em cruzamentos dialélicos parciais de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).....42
- Tabela 5 - Resumo da análise dialélica da taxa de acúmulo (b₁) das características: produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) em cruzamentos dialélicos parciais de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).....43
- Tabela 6 - Resumo da análise dialélica da previsibilidade do comportamento (r²) das características: produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST)

e tonelada de Brix por hectare (TBH) em cruzamentos dialélicos parciais de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).....44

Tabela 7 - Estimativas da média dos efeitos da linhagem (v_a e v_r), para as características altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, $t\ ha^{-1}$), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) nas linhagens macho-estéreis (A), linhagens restauradoras (R), estimada pela média fenotípica e pelos parâmetros b_1 e r^2 , segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).....46

Tabela 8 - Estimativas dos efeitos de heterose média (h), varietal (h_a e h_r) e específica (h_{ar}), para as características altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, $t\ ha^{-1}$), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) nas linhagens macho-estéreis (A), linhagens restauradoras (R) e doze híbridos resultantes do cruzamento entre as linhagens A e R de sorgo sacarino (H), estimada pela média fenotípica e pelos parâmetros b_1 e r^2 , segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).....47

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Representação gráfica da precipitação (mm) acumulada e temperatura (°C) média, descendiais, medidas em Lavras e Sete Lagoas entre 24/11/2014 e 01/04/2015 (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016).....	26
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Desenvolvimento do sorgo sacarino.....	17
2.2	Melhoramento genético do sorgo sacarino.....	19
2.3	Heterose em sorgo sacarino.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	Locais dos experimentos.....	25
3.2	Genótipos avaliados.....	26
3.3	Plano experimental e condução.....	27
3.4	Características avaliadas.....	28
3.5	Análise estatística.....	29
3.5.1	Análise de variância.....	29
3.5.2	Análise dialélica.....	31
4	RESULTADOS.....	33
4.2	Análises de variância por local e conjunta.....	33
4.3	Análise dialélica.....	40
5	DISCUSSÃO.....	49
6	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE.....	63

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética aliado à redução das fontes de petróleo e seus derivados, além das preocupações com a poluição ambiental, têm estimulado, em todo o mundo, pesquisas por fontes energéticas renováveis e de menor impacto ambiental. O Brasil ocupa posição de destaque quanto ao emprego de fontes renováveis. Uma cadeia produtiva importante é a de produção do etanol, o qual tem como matéria-prima básica a cana-de-açúcar. Contudo, a busca por outras culturas bioenergéticas é relevante para melhor atender a demanda.

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] tem sido apontado como uma destas fontes para a produção de etanol de modo a complementar a cana-de-açúcar (WANG et al., 2013; ELANGO VAN et al., 2014; SANTOS et al., 2015). Esta cultura possui características agroindustriais favoráveis para a produção desse biocombustível, como teor de sólidos solúveis variando entre 13 a 24° Brix, açúcares totais recuperáveis em torno de 80 a 127 kg de açúcar e ser totalmente mecanizável (plantio por sementes, tratamentos culturais e colheita) (KIM e DAY, 2010; REGASSA; WORTMANN, 2014).

Em princípio, os programas de melhoramento de sorgo sacarino visavam o desenvolvimento de cultivares constituídas de uma linhagem ou mistura de linhagens, entretanto após a descoberta da macho-esterilidade foi facilitado o desenvolvimento de híbridos (SMITH; FREDERIKSEN, 2005; REDDY et al., 2007). Todavia, o direcionamento do melhoramento para a obtenção de cultivares híbridas é baseado no possível vigor híbrido ou heterose a ser explorado, além logicamente do aspecto comercial mais vantajoso proporcionado pela proteção natural da cultivar comercializada.

Em espécies autógamas, o efeito heterótico se manifesta, em geral, de maneira menos efetiva em relação às alogamas, mas, existem alguns exemplos

de sucesso como em arroz (PERREIRA et al., 2008), tomate (KRIEGER et al., 2010) e sorgo granífero (SCAPIM et al., 1998). Estudos em sorgo sacarino têm demonstrado a existência de heterose para características relacionadas direta e/ou indiretamente com a produção de etanol, como teor de sólidos solúveis, produção de massa verde e rendimento de caldo (PFEIFFER et al., 2010; VINAYKUMAR et al., 2011; DURÃES, 2014; BUNPHAN et al., 2015; ROCHA, 2016).

Deste modo, o estabelecimento de programas de melhoramento em sorgo sacarino com base na heterose constitui-seem uma alternativa viável. O sucesso desta estratégia de melhoramento depende de alguns fatores: escolha da população base, a qual está vinculada ao germoplasma disponível; desenvolvimento de linhagens parentais com alta capacidade de combinação para características de interesse; definição dos cruzamentos e avaliação dos híbridos experimentais obtidos.

Para se proceder à escolha de genitores, os melhoristas têm frequentemente utilizado os dialelos. A partir deste tipo de delineamento genético de cruzamentos é possível estimar parâmetros genéticos de interesse acerca das linhagens e das combinações híbridas, como capacidade combinatória e heterose e seus componentes. No caso do sorgo sacarino, o dialelo parcial é o que melhor se adéqua em se tratando do híbrido já com interesse comercial, uma vez que este é obtido a partir do cruzamento entre uma linhagem macho-estéril e outra linhagem restauradora.

Para análise de dialelos parciais com foco no detalhamento do efeito heterótico tem-se empregado o modelo de Miranda Filho e Geraldi (1984), adaptado de Gardner e Eberhart (1966). Durães (2014), ao investigar a heterose em sorgo sacarino utilizando este modelo, observou que a heterose foi mais expressiva para caracteres agrônômicos e que para caracteres tecnológicos prevaleceu o efeito aditivo. De modo geral, os estudos realizados em sorgo

sacarino têm revelado a presença de genes com ação gênica aditiva e não-aditiva na expressão de características relacionadas com a produção de etanol (BUPHAN et al., 2015; BAHADURE et al., 2015), acentuando a justificativa do melhoramento para obtenção de cultivares híbridas.

A expressão fenotípica de várias características deve ser levada em consideração para avaliar o potencial de um híbrido, principalmente aquelas relacionadas à produção de etanol, tais como tonelada de brix por hectare (TBH), sólidos solúveis totais (SST, %caldo), altura da planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹) e extração de caldo (EXT, %) (LOMBARDI et al., 2015). No entanto, essas características sofrem variação (incremento ou decréscimo) ao longo do desenvolvimento da cultura, como o início do acúmulo de sólidos solúveis no colmo a partir do florescimento até a maturação fisiológica, o que afeta na recomendação de linhagens e híbridos e no planejamento agroindustrial pelas usinas (ANDRADE; OLIVEIRA, 1988; BORÉM et al., 2014).

Neste contexto, o conhecimento sobre o efeito heterótico manifestado durante o desenvolvimento da planta pode ajudar a caracterizar melhor o comportamento diferencial de linhagens e híbridos. Dessa forma, além de investigar a heterose para o desempenho médio, faz-se interessante descrever o efeito heterótico para a acumulação das características que afetam o rendimento de etanol com o tempo, bem como para a previsibilidade do comportamento das linhagens e híbridos.

Ante o exposto, objetivou-se no presente trabalho avaliar o potencial per se de linhagens macho-estéreis e restauradoras de sorgo sacarino, bem como detalhar a heterose manifestada quanto ao desempenho médio, taxa de acúmulo e previsibilidade para as características relacionadas direta e/ou indiretamente à produção de etanol em diferentes épocas de colheita.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento do sorgo sacarino

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta perene, cultivada como anual, insensível a dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, tem como principais características o seu grande porte, com plantas de altura média de três metros, elevada produção de massa verde (60 a 80 t ha⁻¹), colmos suculentos e altos teores de açúcares fermentáveis no caldo devido à translocação de fotoassimilados para o caule (PARRELLA, 2011; BORÉM et al., 2014).

Essas características estão relacionadas direta e/ou indiretamente com produção de etanol (LOMBARDI et al., 2015), fortalecendo o uso da cultura como fonte potencial desse biocombustível de modo a complementar a produção advinda da cana-de-açúcar (WANG et al., 2013; ELANGO VAN et al., 2014; SANTOS et al., 2015).

No entanto, durante o crescimento da cultura ocorrerá variação dessas características as quais podem sofrer incremento ou decréscimo de acordo com as mudanças ambientais e biológicas, tendo genótipos precoces e tardios (BORÉM et al., 2014; SOUZA et al., 2016). As mudanças biológicas estão relacionadas com o desenvolvimento da cultura, o qual pode ser dividido em três fases: a vegetativa, a reprodutiva e o período de maturação do grão.

A fase vegetativa, etapa de crescimento 1 (EC1), caracteriza-se pela germinação, aparecimento da plântula, crescimento das folhas e estabelecimento do sistema radicular fasciculado. Nessa fase problemas causados pela competição por luz, água, nutrientes e patógenos são responsáveis pelo menor rendimento produtivo, devido à redução do número de espiguetas viáveis que serão produzidas na fase reprodutiva (BORÉM et al., 2014).

A segunda fase (EC2), reprodutiva, se inicia com a diferenciação do meristema apical e continua até a antese (florescimento) havendo uma rápida alongação dos entrenós do colmo e grande expansão das folhas, ocasionando o acúmulo de matéria seca a uma taxa quase constante até a maturação. Nessa fase, tem-se a determinação do tamanho potencial (altura da planta) visto que o alongamento dos entrenós do colmo atingiu seu máximo, o desenvolvimento total do sistema radicular, de 60 a 70% do peso seco total e ao menos 50% de florescimento (BORÈM et al., 2014).

Qualquer estresse durante a EC2 pode ocasionar efeitos marcantes sobre o rendimento, pela redução da área foliar, do sistema radicular e da acumulação de matéria seca. Assim sendo, cuidados maiores são tomados em relação ao aparecimento de plantas daninhas, doenças e pragas devendo ser controladas caso esteja em nível de danos econômicos.

A terceira fase (EC3), período que se estende desde a floração até a maturação fisiológica, se caracteriza pela maturação dos grãos e senescência das folhas. Na fase EC3 há o máximo acúmulo de massa seca, acúmulo de açúcares, 100% do florescimento e constância da extração do caldo, tendo assim maior rendimento de açúcar que varia entre 13 e 24° Brix e de açúcares totais recuperáveis (ATR) em torno de 80 a 127 kg de açúcar de acordo com o genótipo avaliado (KOLEMAN; STOKES, 1964; ANDRADE; OLIVEIRA, 1988; REGASSA; WORTMANN, 2014).

No entanto, quando colhido em um estágio avançado de maturação tem-se a redução do teor de sólidos solúveis, do conteúdo de sacarose e da produção de matéria verde e aumento dos teores de amido, havendo assim perda de produtividade (ZEGADA-LIZARAZU; MONTI, 2012). Isto ocorre, pois, quanto maior o nível de maturação da planta maior a quantidade de amido, o qual se encontra armazenado principalmente nas panículas, nos grãos, contribuindo para o aumento da viscosidade do caldo, reduzindo assim a recuperação de açúcar

pela usina (COSTA, 2013).

Dessa forma, o conhecimento da associação dessas características ao longo do crescimento da cultura é importante para o planejamento de colheita e processamento da matéria-prima, uma vez que serve como mecanismo para amenizar problemas relacionados a fatores operacionais e ambientais e possibilita o planejamento agroindustrial pelas usinas (ANDRADE; OLIVEIRA, 1988; BORÉM et al., 2014).

2.2 Melhoramento genético do sorgo sacarino

O sorgo sacarino é uma espécie diplóide com 10 pares de cromossomos ($2n = 2x = 20$) (KUMAR et al., 2011), em que ocorre a predominância de autofecundação e a taxa de fecundação cruzada pode variar de 2% a 10% (PEDERSEN et al., 1998). Devido a isso, a autofecundação 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 base no desenvolvimento dos híbridos (SMITH; FREDERIKSEN, 2005).

Os híbridos são produzidos pelo cruzamento entre uma linhagem restauradora de fertilidade, denominada “R” e uma linhagem macho-estéril. 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 do citoplasma Milo e genes Kafir (BORÉM et al., 2014).

A linhagem macho-estéril, denominada “A”, é produzida pelo cruzamento de plantas macho-estéril com pólen de uma linhagem mantenedora, denominada “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).

A produção de sementes híbridas em escala comercial deve ser realizada em campo isolado, 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 das linhagens A e R deve ser feita em campos isolados, 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). A linhagem R não é fenotipicamente similar à linhagem A, e a combinação delas deverá resultar em um híbrido de alto potencial de rendimento.

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 em sorgo sacarino para características relacionadas com a produção de etanol, como teor de sólidos solúveis, produção de massa verde e rendimento de caldo (PFEIFFER et al., 2010; VINAYKUMAR et al., 2011; DURÃES, 2014; BUNPHAN et al., 2015; ROCHA, 2016).

Deste modo, o estabelecimento de programas de melhoramento em sorgo sacarino com base na heterose constitui-seem uma alternativa viável. O sucesso desta estratégia de melhoramento depende de alguns fatores, como: escolha da população base, a qual está vinculada ao germoplasma disponível; desenvolvimento de linhagens parentais com alta capacidade de combinação para características de interesse; definição dos cruzamentos e avaliação dos híbridos experimentais obtidos. Para se proceder à escolha de genitores, os melhoristas têm frequentemente utilizado os cruzamentos dialélicos.

2.3 Heterose em sorgo sacarino

Os cruzamentos dialélicos são métodos de escolha de genitores com base no desempenho de suas progênes o qual, visa avaliar a população híbrida e possibilita antever a variabilidade genética por meio da obtenção de novos genótipos orientando na condução de população segregante e na seleção (HAYMAN, 1954; GRIFFING, 1956; RAMALHO et al., 2012a). A partir deste tipo de delineamento genético de cruzamentos é possível estimar parâmetros genéticos de interesse acerca das linhagens e das combinações híbridas, como capacidade combinatória e heterose e seus componentes (CRUZ et al., 2012).

A capacidade combinatória subdivide-se em capacidade geral e capacidade específica de combinação (SPRAGUE; TATUM, 1942). A capacidade geral de combinação (CGC) corresponde ao comportamento médio de uma linhagem em suas combinações híbridas fornecendo informações acerca da concentração de locos de efeito predominantemente aditivos (CRUZ et al., 2012). A capacidade específica de combinação (CEC) corresponde ao comportamento particular na expressão de um híbrido, isto é, o desvio do desempenho médio de uma combinação particular em relação à média dos parentais envolvidos nos cruzamentos, sendo os efeitos não explicados pela CGC (FALCONER, 1981).

Assim sendo, 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 et al., 2012). Logo, a combinação híbrida mais favorável deve ser aquela que apresentar maior estimativa de CEC e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos parentais apresente elevada CGC (CRUZ et al., 2012). É válido ressaltar, porém, que dois parentais de elevada CGC nem sempre proporcionam a

formação da melhor combinação híbrida ou de híbridos com maior heterose (CRUZ; VENCOVSKY, 1989).

O termo heterose foi proposto por Shull, em 1908, e é o fenômeno decorrente da superioridade da geração F1(híbrido) em relação à média dos seus genitores. A heterose é expressa quando há genes com algum grau de dominância entre eles, podendo ser parcial, completa ou sobredominância e os parentais possuem diferenças entre as frequências gênicas (MIRANDA FILHO; VIÉGAS, 1987; FALCONER; MACKAY, 1996).

Normalmente, a obtenção da melhor combinação híbrida é realizada a partir de cruzamentos entre diversas linhagens em um esquema de cruzamentos dialélicos que podem ser divididos em: i) dialelos balanceados: incluem os híbridos F1's entre todos os pares de combinações dos genitores; ii) dialelos desbalanceados: todas as combinações híbridas estão representadas, porém em frequência variável, em virtude do número desigual de repetições por tratamentos; iii) dialelos circulantes: cada progenitor é representado por um mesmo número de cruzamento "s", porém inferior a p-1, sendo p o número de genitores, pode ser utilizado para um maior número de progenitores, contudo há perda de informação a respeito de certas combinações híbridas; iv) dialelos parciais: envolvem dois grupos de genitores e seus respectivos cruzamentos (CRUZ et al., 2012; RAMALHO et al., 2012b).

O uso do dialelo parcial é interessante quando um pesquisador visa cruzar um conjunto de acessos com vários testadores, pois é um delineamento genético fatorial que permite o cruzamento entre grupos e não dentro de grupos (RUSSEL; EBERHART, 1975; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Além disso, no caso do sorgo sacarino é o que melhor se adéqua em se tratando do híbrido já com interesse comercial, uma vez que este é obtido a partir do cruzamento entre uma linhagem macho-estéril e outra linhagem restauradora.

Para análise de dialelos parciais tem-se empregado o modelo de Gerald

e Miranda Filho (1988), adaptado do método dois e modelo 1 de Griffing (1956), no qual os genitores e F1's são incluídos na análise e fornece a decomposição da soma de quadrados dos efeitos de tratamentos em soma de quadrados para capacidade geral de combinação e para capacidade específica de combinação (CRUZ et al., 2012).

E, com foco no detalhamento do efeito heterótico, o modelo de Miranda Filho e Geraldi (1984), adaptado de Gardner e Eberhart (1966), o qual fornece a decomposição da soma de quadrados associadas aos efeitos de grupos, do contraste entre os grupos e da heterose; se caracteriza por prover informações detalhadas a respeito do potencial per se desses parentais e da heterose manifestada em seus híbridos (CRUZ et al., 2012).

Esses métodos são utilizados em algumas culturas sendo a maioria autógena, como trigo, soja e feijão (PIMENTEL et al., 2013; BALDISSERA et al., 2014). Na cultura do sorgo sacarino estudos quanto à estimativas da capacidade de combinação têm sido úteis na seleção de linhagens para hibridação e na determinação do tipo de ação gênica predominante na expressão de características associadas à produção de etanol. Estudos realizado até o presente momento, observaram a presença de genes com ação gênica aditiva e não-aditiva expressão de características alvo do melhoramento do sorgo sacarino, como: rendimento de etanol, florescimento, produção de massa verde, altura e teor de açúcar no colmo.

Makanda et al. (2009), analisando a capacidade de combinação em 64 híbridos de sorgo sacarino, em condições tropicais, observou que as características sólidas solúveis totais, altura da planta e biomassa do colmo são controladas tanto por ações gênicas aditivas quanto por não-aditivas, assim como Sandeep et al. (2010), avaliando 18 híbridos, para produção de etanol e Bunphan et al. (2015), considerando 15 híbridos, para produção de biomassa e rendimento de caldo.

Contudo, Indhubala et al. (2010), ao estimar a capacidade combinatória de 35 híbridos averigou preponderância de ação gênica não-aditiva para altura das plantas, produção total de biomassa, extração de caldo, sólidos solúveis totais e produção de etanol, bem como Vinaykumar et al., (2011), estudando 72 híbridos, para altura das plantas, produção de massa verde e extração de caldo e Reddy et al. (2011) e Bunplan et al. (2015), a partir do estudo de 171 e 15 híbridos, respectivamente, para rendimento de açúcar. E em contrapartida, Umakanth et al. (2012), Durães (2014) e Bahadure et al., (2015), analisando 16, 30 e 30 híbridos, respectivamente, averiguaram predomínio de ação gênica aditiva para sólidos solúveis totais, assim como, Schaffert e Parrella (2012) os quais observaram que as linhagens de sorgo sacarino têm consistentemente PUI melhores e mais longos quando comparadas aos híbridos.

De modo geral, os estudos realizados em sorgo sacarino têm revelado a presença de genes com ação gênica aditiva e não-aditiva na expressão de características relacionadas com a produção de etanol (BUPHAN et al., 2015; BAHADURE et al., 2015), acentuando a justificativa do melhoramento para obtenção de cultivares híbridas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

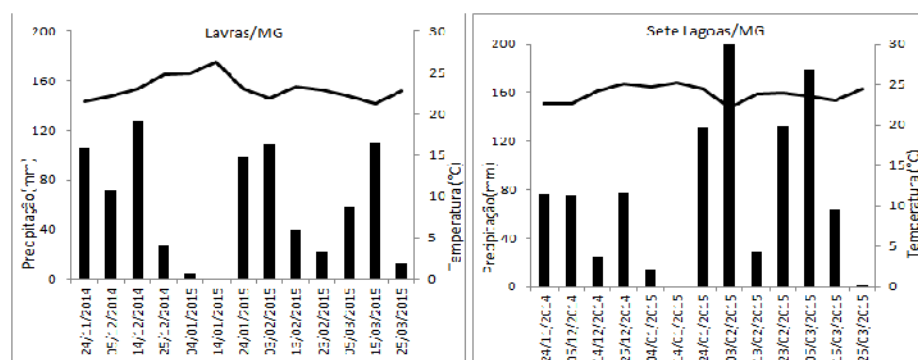
3.1 Locais dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em duas localidades do estado de Minas Gerais, Lavras e Sete Lagoas, no ano agrícola de 2014/2015. A distribuição pluviométrica e da temperatura no período de realização dos experimentos estão apresentados na Figura 1, enquanto que a análise de solo, realizada em ambas as áreas experimentais, está apresentada na Tabela 1. A descrição mais detalhada dos locais dos experimentos é mostrada a seguir:

1. A área experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Muquém da Universidade Federal de Lavras-UFLA localizada no município de Lavras a uma altitude de 932 m, 21° 14' de latitude sul e 45° 00' de longitude oeste. Lavras está situada ao sul do estado, apresenta temperatura média anual de 19,4 °C e a precipitação pluvial média anual de 1.529,7 mm. O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é o Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (fevereiro). O solo é classificado como latossolo vermelho-amarelo com relevo suave ondulado.
2. Área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas a uma altitude de 767 m, 19°27' de latitude sul e de 44°14'49'' de longitude oeste. Sete Lagoas está situada na região central do estado, apresenta temperatura média anual em torno de 23°C e precipitação pluvial média anual de 1.403 mm. O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é o Cwa, temperado

chuvoso com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com temperatura média do mês mais quente superior a 23,6°C. O solo é classificado como latossolo vermelho com relevo suave ondulado.

Figura 1. Representação gráfica da precipitação (mm) acumulada e temperatura (°C) média, descendiais, medidas em Lavras e Sete Lagoas entre 24/11/2014 e 01/04/2015.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia –INMET, 2016.

Tabela 1 - Análise do solo na profundidade de 0 – 20 cm em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.

Locais	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	C	V	Sat. Al
	H ₂ O (mg/dm ³)		----- (cmolc/dm ³)-----						----- (%)-----			
Lavras	5,5	4,5	92	3	0,7	0,1	5,64	3,7	9,38	3,8	40	2,6
Sete Lagoas	6	15	247	9	0,8	0,04	7,4	10	17,9	3	59	0,38

PH em água destilada; Extrator de P, K e micronutrientes, Mehlich-1; M.O - Matéria Orgânica; CTC: capacidade de troca catiônica - S + H + Al; V - Percentagem Base de Saturação - V = 100 S / T.

Fonte: Do autor (2016)

3.2 Genótipos avaliados

Foram avaliadas quatro linhagens restauradoras de fertilidade (R), três

linhagens macho-estéreis (A) e doze híbridos experimentais (HE) resultantes do cruzamento dialélico parcial entre as linhagens A e R, pertencentes ao Programa de Melhoramento de Sorgo Sacarino da Embrapa Milho e Sorgo, situado em Sete Lagoas – MG, além de um híbrido comercial CV198, pertencente à empresa CanaVialis, como testemunha.

3.3 Plano experimental e condução

Os experimentos foram implantados segundo o delineamento látice retangular triplo 4 x 5, sendo os tratamentos dispostos num esquema de parcelas subdivididas 20x4. Os 20 genótipos (linhagens A e R, HE e testemunha) foram aleatorizados às parcelas, enquanto as quatro épocas de colheita foram aleatorizadas às subparcelas. As subparcelas constituíram-se por uma linha de 5,0 m de comprimento e espaçadas de 0,60 m em Lavras e de 0,70 m em Sete Lagoas.

O plantio manual dos experimentos ocorreu no dia 26 de novembro de 2014 em Lavras e 07 de dezembro de 2014 em Sete Lagoas, coincidindo com o início do período chuvoso nas regiões. O preparo da área foi realizado, sob cultivo mínimo em Lavras e com prévia aração em Sete Lagoas, com aplicação do herbicida glifosato 3 Lha⁻¹ e adubação de fundação com 450 Kg ha⁻¹ da formulação 08:28:16 de NPK nos sulcos de plantio em ambos locais.

Após 15 dias de emergência realizou-se o desbaste permitindo a manutenção de 140.000 plantas por hectare. A adubação de cobertura foi realizada entre os 20 e 25 dias após a emergência mediante aplicação de 200 Kg de ureia ha⁻¹. Durante a condução dos experimentos foi realizado o controle de plantas daninhas por meio da aplicação de atrazina, na dosagem de 3 Kg I.A. ha⁻¹ do ingrediente ativo complementado por capina mecânica, quando necessário. O controle da lagarta do cartucho foi efetuado por meio da aplicação do produto comercial Iannate 0,6 L ha⁻¹. O experimento foi conduzido em Lavras em

condições de sequeiro, e em Sete Lagoas com irrigação suplementar.

A colheita foi realizada, manualmente, em quatro épocas iniciando-se aos 97 dias após a semeadura (DAP) e posteriormente espaçadas em 14 dias (97, 111, 125 e 139 DAP).

3.4 Características avaliadas

- 1. Altura de planta (AP, m)** - determinou-se a partir da altura média (m) de cinco plantas tomadas aleatoriamente da subparcela, sendo medidas da superfície do solo ao ápice da panícula com auxílio de uma régua graduada.
- 2. Produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹)** – cortaram-se todas as plantas da subparcela a 5,0 cm da superfície do solo e foram pesadas (planta inteira sem panículas) por meio de uma balança de suspensão digital, em kg. Os dados foram expressos em t ha⁻¹.
- 3. Extração de caldo (EXT, %)** – amostraram-se aleatoriamente seis colmos (planta inteira sem panículas e sem folhas) de cada subparcela. Em Lavras, a extração do caldo foi realizada na Cachaçaria Bocaína usando uma moenda de cana modelo de dois ternos com rolos de 10"x14". A porcentagem de extração foi calculada pela razão entre o peso do caldo e o peso dos seis colmos. Em Sete Lagoas, os colmos foram desintegrados em desfibrador e, em seguida, a amostra foi homogeneizada. Posteriormente, retirou-se uma subamostra de 500 ± 0,5 g para extração do caldo em prensa hidráulica, com pressão mínima e constante de 250 kgf/cm² sobre a subamostra, durante o tempo de

um minuto. A partir da pesagem do caldo extraído foi calculada a extração pela razão entre o peso do caldo e o peso da subamostra.

4. **Sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix)** – medido em amostra do caldo homogeneizado por meio refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de 0,1°Brix.
5. **Tonelada de Brix por hectare (TBH)** – determinou-se a partir da seguinte expressão:

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

3.5 Análise estatística

3.5.1 Análise de variância

As análises de variância individuais por localidades características avaliadas foram realizadas considerando as quatro colheitas e utilizando recuperação da informação interblocos, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijkl} = \mu + r_i + b_{(ij)} + g_k + p_{(i)jk} + c_l + gc_{kl} + e_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl} é a observação da subparcela no bloco j dentro da repetição i que recebeu o genótipo k na época de colheita l ; μ é uma constante associada às observações; r_i é o efeito da repetição i , $r_i \sim N(0, \sigma^2_r)$; $b_{(ij)}$ é o efeito do bloco j

dentro da repetição i , $b_{(ij)} \sim N(0, \sigma^2_b)$; g_k é o efeito do genótipo k ; $p_{(ijk)}$ é o erro experimental à nível de parcela, $p_{(ijk)} \sim N(0, \sigma^2_p)$; c_l é o efeito da época de colheita l ; g_{kl} é o efeito da interação entre o genótipo k e a época de colheita l ; e_{ijkl} é o erro experimental associado à y_{ijkl} , $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2_e)$. Os parâmetros σ^2_r , σ^2_b , σ^2_p e σ^2_e referem-se às variâncias associadas aos efeitos aleatórios das repetições, blocos dentro de repetições e ao erro em nível de parcela e subparcela, respectivamente.

Os pressupostos da análise de variância foram verificados, conforme apresentados em Ferreira (2005) e Ramalho et al. (2012a). Foi empregado o método gráfico Q-Q plot e o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos erros. Para proceder à análise conjunta, verificou-se a homogeneidade das variâncias residuais por meio do teste de Bartlett a 5% de probabilidade. A análise conjunta foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijkl} = \mu + a_t + r_{(ti)} + b_{(tij)} + g_k + ag_{tk} + p_{(tijk)} + c_l + gc_{kl} + ac_{tl} + agc_{tkl} + e_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl} é a observação da subparcela no bloco j dentro da repetição i no local t que recebeu o genótipo k na época de colheita l ; μ é uma constante associada às observações; a_t é o efeito do local t , $r_{(ti)}$ é o efeito da repetição i no local t , $r_{(ti)} \sim N(0, \sigma^2_r)$; $b_{(tij)}$ é o efeito do bloco j dentro da repetição i no local t , $b_{(tij)} \sim N(0, \sigma^2_b)$; g_k é o efeito do genótipo k ; ag_{tk} é o efeito da interação entre o local t e o genótipo k ; $p_{(tijk)}$ é o erro experimental à nível de parcela, $p_{(tijk)} \sim N(0, \sigma^2_p)$; c_l é o efeito da época de colheita l ; gc_{kl} é o efeito da interação do genótipo k com a época de colheita l ; ac_{tl} é o efeito da interação do local t com a época de colheita l ; agc_{tkl} é a interação do local t com o genótipo k e a época de colheita l ; e_{ijkl} é o erro experimental associado à y_{ijkl} , $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2_e)$.

Avaliou-se o contraste entre as médias das linhagens parentais (A - macho-estereis e R - restauradoras) e dos híbridos experimentais por meio do teste F a 5% de probabilidade. A média da testemunha comercial (CV198) foi

comparada com as médias das linhagens macho-estéreis (A), linhagens restauradoras (R) e híbridos experimentais por meio do teste de Dunnett a 5% de probabilidade com auxílio do programa SAS (SAS Institute, 2012).

A partir do ajuste da regressão linear simples dos dados em função das épocas de colheita pelo método dos quadrados mínimos foram estimados em nível de parcela os parâmetros b_1 e r^2 . O parâmetro b_1 representa a inclinação da reta, ou seja, a taxa linear de acúmulo das características ao longo das épocas, e o parâmetro r^2 é o coeficiente de determinação do modelo associado com a previsibilidade do comportamento de cada genótipo. O ajustamento do modelo de regressão foi aferido pelo teste F a 5% de probabilidade. Algumas linhagens e híbridos apresentaram valor negativo para o parâmetro b_1 em determinadas características (APÊNDICE B). Nesses casos, adicionou-se uma constante de tal forma que os valores ficassem positivos.

Foram realizadas as análises de variância conjunta das estimativas do b_1 e do r^2 , seguindo o modelo de análise multilocais, conforme Ramalho et al. (2012a). As análises de variâncias individuais (para a média fenotípica) e conjunta (média fenotípica, b_1 e r^2) foram realizadas com o auxílio do programa R (R Core Team, 2015). A precisão experimental foi aferida mediante estimação do coeficiente de variação experimental (CV) (GARCIA, 1989).

3.5.2 Análise dialélica

Procederam-se as análises dialélicas utilizando o modelo de Miranda Filho e Geraldi (1984), adaptado de Gardner e Eberhart (1966), para detalhar a heterose manifestada quanto ao desempenho médio, taxa de acúmulo (b_1) e previsibilidade (r^2) ao longo de diferentes épocas de colheita de acordo com o seguinte modelo:

$$y_{ar} = \mu + d + \frac{1}{2}(v_a + v_r) + \Theta(h_a + h_r + h_{ar}) + \epsilon_{ar}$$

em que: μ e Θ são variáveis indicadoras, sendo que μ assume os valores 0 (caso o genótipo seja uma combinação híbrida), 1 (caso o genótipo seja uma linhagem A) ou -1 (caso o genótipo seja uma linhagem R) e Θ assume valores 0 (caso seja uma linhagem (A ou R)) ou 1 (caso seja uma combinação híbrida). y_{ar} é o valor médio da expressão fenotípica do caráter, b_1 ou r^2 referente ao cruzamento da a-ésima linhagem macho estéril e a r-ésima linhagem restauradora de fertilidade; μ é uma constante; e v_a e v_r são os efeitos das linhagens A e R; μ é a heterose média; e h_a e h_r são as heteroses atribuídas às linhagens A e R; h_{ar} é a heterose específica resultante do cruzamento a-ésima linhagem macho-estéril e a r-ésima restauradora de fertilidade; ϵ_{ar} é o erro experimental médio.

As análises dialélicas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2013) e a significância dos efeitos presentes no modelo foi verificada por meio do teste F a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS

4.2 Análises de variância por local e conjunta

Pelas análises estatísticas, observou-se que o delineamento experimental em látice retangular apresentou baixa eficiência, assim procedeu-se as análises considerando o delineamento em blocos completos casualizados. Em geral, os coeficientes de variação experimental (CV) foram similares em Lavras e Sete Lagoas (APÊNDICE A), com exceção da característica extração de caldo (EXT), a qual apresentou CV em nível de parcela de 16,71% em Lavras e de 4,80% em Sete Lagoas. Essa diferença ocorreu devido ao uso da prensa hidráulica em Sete Lagoas frente à moenda de cana-de-açúcar utilizada em Lavras.

Na análise conjunta, o CV, em nível de parcela, variou entre 8,96% para a característica teor de sólidos solúveis (SST) a 28,80% para a característica toneladas de brix por hectare (TBH) e, em nível de subparcela, o CV variou de 8,08% a 23,46% para as mesmas características (Tabela 2). Quando comparado com o estudo de Rocha (2016) e de Souza et al., (2016), as características avaliadas neste estudo apresentaram CVs similares, indicando que o experimento teve erros aceitáveis.

Pela análise conjunta, detectou-se diferenças significativas entre os locais para todas as características (TABELA 2), exceto para altura de planta (AP). No qual, analisando cada local, foi possível identificar maior desempenho, em média, das linhagens A e R e dos híbridos em Sete Lagoas para o TBH (4,19 t ha⁻¹) e EXT (67,9%) e em Lavras para PMV (60 t ha⁻¹) e SST (13,54°Brix) (Apêndice A). Esse fato pode estar relacionado às diferenças em aspectos macroambientais dos locais, a exemplo da pluviosidade (FIGURA 1) e da textura do solo (TABELA 1), que têm influência na expressão das características

estudadas.

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os genótipos para todas as características avaliadas, indicando que as linhagens e os híbridos estudados apresentam variação genética, condição essa fundamental para os objetivos da pesquisa. Essa observação é evidenciada por meio do desempenho diferencial entre as linhagens, no qual as linhagem R apresentaram maior expressão fenotípica em relação as linhagem A, para todas as características avaliadas. Além disso, ao comparar as linhagens A e R e os híbridos com a testemunha, foi detectada diferença significativa ($P < 0,05$) em algumas características, como para os híbridos para extração de caldo o qual apresentou estatisticamente uma menor produção frente à testemunha (TABELA 2).

A interação genótipos por locais foi bastante evidente, dado a significância ($P < 0,05$) assinalada para todas as características mensuradas (TABELA 2). Isso indica que o comportamento das linhagens A e R e os híbridos não foram coincidentes nos diferentes ambientes.

Em relação à época de colheita houve diferença significativa para todas as características (TABELA 2), exceto para a característica AP. Conhecendo a expressão das características ao longo do desenvolvimento da cultura, as quais podem sofrer incremento ou decremento, as diferenças quanto à época de colheita já eram esperadas. Enfatizando assim, a importância do estudo quanto à taxa de acúmulo das características ao longo do tempo.

A interação genótipos por época de colheita para as características TBH, PMV e SST possui efeito significativo, indicando que os genótipos se comportaram de forma diferente quanto à expressão fenotípica das características frente às épocas de colheitas.

Houve efeito significativo quanto à interação local por época de colheita para todas as características avaliadas (TABELA 2), evidenciando que a resposta relativa média de todas as linhagens ou híbridos ao longo das épocas de colheita

foi distinta nos dois locais. Ademais, houve significância para o efeito da interação local x genótipo x época de colheita para os caracteres AP e SST (TABELA 2), demonstrando que para estas características, o padrão da interação genótipo x época não foi consistente nos dois locais.

As interações: local x genótipo, local x época de colheita e local x genótipo x época de colheita não são interessante no presente estudo, uma vez que há necessidade de conduzir experimentos em alguns locais visando selecionar cultivares que apresentem desempenhos superiores quando forem recomendadas aos agricultores (SOUZA et al., 2013). Dessa forma, este estudo focou-se no detalhamento concernente ao desempenho médio nos locais em testes, a fim de se ter uma informação mais ampla sobre os parâmetros a serem estimados.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância conjunta das características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.

F.V.	G.L.	Q.M.				
		AP	PMV	EXT	SST	TBH
Local (L)	1	0,005	8951**	11864**	352,6**	146**
Genótipos (G)	19	5,30**	2433**	242,80**	29,76**	17,3**
G x L	19	0,31**	392,8**	67,63*	9,71**	3,19**
Erro (a)	76	0,063	122,7	32,86	1,29	1,10
Época (E)	3	0,039	2954**	273,19**	118,6**	4,01**
G x E	57	0,049	140,5*	17,64	5,57**	1,36**
L x E	3	0,54**	2656**	291,31**	68,73**	45,6**
L x G x E	57	0,09**	105,2	22,12	1,70**	0,95
Erro (b)	240	0,054	98,6	23,87	1,05	0,73
Média Geral		2,76	56,22	52,18	12,68	3,64
Linhagens A		1,73 ^b	35,29 ^b	46,76 ^b	11,09 ^b	1,77 ^b
Linhagens R		3,09 ^b	64,73 ^a	54,62 ^b	12,43 ^a	4,11 ^a
Híbridos Experimentais		2,86 ^b	57,85 ^b	52,86 ^a	13,21 ^b	3,94 ^a
Híbrido Comercial		3,29 ^a	65,44 ^a	50,47 ^a	12,19 ^a	3,85 ^a
CV (a)		9,10%	19,70%	10,99%	8,96%	28,80%
CV (b)		8,43%	17,66%	9,36%	8,08%	23,46%

*,** Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. As médias seguidas da letra a foram equivalentes a média do híbrido comercial e as médias seguidas da letra b apresentam diferenças em relação ao híbrido comercial pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

Quanto ao estudo da taxa de acúmulo das características ao longo das épocas de colheita, realizada a partir do parâmetro b_1 , analisou apenas as características PMV, EXT, SST e TBH, uma vez que não observou diferença significativa para AP na análise do desempenho médio para épocas de corte. Foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os locais avaliados

para todas as características (TABELA 3).

Em relação aos genótipos, houve diferença significativa para TBH, PMV e SST, o que havia sido previamente observado na análise conjunta realizada a partir da média fenotípica das características (TABELA 3). Esse fato indica que os genótipos se comportaram de forma diferente quanto ao acúmulo dessas características ao longo do desenvolvimento da cultura, em que alguns genótipos terão maior ou menor incremento ($b_1 > 0$) ou até mesmo decréscimo ($b_1 < 0$) da expressão fenotípica de uma determinada característica. Ao analisar a taxa de acúmulo média dos genótipos observou incremento e decréscimo da expressão fenotípica para todas as características. Destacam-se as linhagens A, as quais apresentaram decréscimo para quase a totalidade das características, o que refletiu nos seus híbridos (APÊNDICE B).

Houve interação genótipo por local apenas para SST, o que indica que a taxa de acúmulo de açúcares dos diferentes genótipos não foi coincidente em Lavras e Sete Lagoas (TABELA 3).

O conhecimento do comportamento dos genótipos quanto à taxa de acumulação das características é importante para a recomendação de linhagens e híbridos e no planejamento agroindustrial pelas usinas. Contudo, além de conhecer o comportamento do genótipo faz-se necessário saber acerca da previsibilidade desse comportamento. Visto que, um genótipo mesmo apresentando alto desempenho médio e elevada taxa de acúmulo das características haverá uma menor confiabilidade na sua recomendação caso tenha baixa previsibilidade, uma vez que o modelo adotado seria pouco explicativo para a variação existente.

Ao analisar a previsibilidade do comportamento, realizado a partir do parâmetro r^2 , observou diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os locais avaliados para todas as características. Em relação aos genótipos houve diferença significativa apenas para TBH (TABELA 3). Esse fato indica que os

genótipos se comportaram de forma diferente quanto à previsibilidade do seu comportamento ao longo do desenvolvimento da cultura, em que alguns genótipos foram mais e outros menos previsíveis. No geral, para esta característica, as linhagens foram mais previsíveis do que os híbridos (Apêndice B). Quanto à interação genótipos x locais, houve significância deste efeito para TBH e SST (TABELA 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância conjunta da taxa linear de acúmulo (b_1) e da previsibilidade do comportamento (r^2) para as características, produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e toneladas de brix por hectare (TBH) relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio							
		b_1				r^2			
		PMV	EXT	SST	TBH	PMV	EXT	SST	TBH
Local (L)	1	22827**	0,4074**	0,16971**	0,07063**	13511**	14303**	3416**	0,8769**
Genótipos (G)	18	0,2047**	0,0265	0,01573**	0,00253**	0,0981	0,1134	0,098	0,1324*
G x L	18	0,0784	0,0315	0,00230*	0,00076	0,0689	0,06	0,179**	0,1213*
Erro	72	0,0916	0,0268	0,00119	0,00076	0,0828	0,0783	0,058	0,0671
Média Geral		-0,2529	-0,0573	0,0517	-0,008	0,4196	0,4078	0,6487	0,4443
Linhagens A		-0,3232	-0,0147	-0,0458	-0,03	0,5006	0,2397	0,4762	0,5873
Linhagens R		-0,2089	-0,0797	0,1094	0,0127	0,4554	0,4365	0,7029	0,5281
HE		-0,25	-0,0604	0,0569	-0,009	0,3874	0,4403	0,6737	0,3806

**, ** Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Do autor (2016)

4.3 Análise dialéctica

Pela análise dialéctica 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, as linhagens A, de modo geral, foram significativamente diferentes das linhagens R (TABELAS 4, 5 e 6). As linhagens A se caracterizaram por apresentarem estatura média baixa, em torno de 1,72m, menor PMV, em média, 45% inferior às linhagens R e menor EXT, SST e TBH.

Dentre as linhagens A, vale destacar as linhagens A1 e A2 que apresentaram, em média, desempenho médio, maior taxa de acúmulo e melhor previsibilidade da expressão fenotípica das características ao longo das épocas de colheita (TABELAS 7 e 8 e APÊNDICE B). Dentre as linhagens R, quanto ao desempenho médio, a linhagem R4 se destacou para EXT e a R2 para AP, PMV e SST. Em relação à taxa de acúmulo, a R1 apresentou superioridade para todas as características mensuradas, exceto AP. Enquanto que a linhagem R3 associou maior previsibilidade do comportamento, no geral, para as características estudadas (TABELA 7 e APÊNDICE B).

Os híbridos experimentais apresentaram desempenho superior para todas as características quando comparados com as médias fenotípicas das linhagens parentais (A e R), isto é, tiveram um desempenho superior. Os híbridos, em média, apresentaram desempenho semelhante às linhagens R, com alto desempenho e maior taxa de acúmulo das características e previsibilidade do comportamento. Esse fato é um ponto favorável para os programas de melhoramento de sorgo sacarino visando à obtenção de cultivares híbridas indicando a presença de heterose na expressão das características estudadas (APÊNDICE B).

A partir da análise dialéctica foi possível verificar que, no geral,

aheterosefoi significativa para quase todas as características quanto ao desempenho médio, taxa de acúmulo e à previsibilidade, com exceção da EXT para taxa de acúmulo (TABELAS 4, 5 e 6). Este resultado demonstra a participação de genes com interação alélica não-aditiva na expressão fenotípica dos características mensuradase, por conseguinte, reforça a possibilidade de exploração de híbridos em sorgo sacarino (TABELAS 4, 5 e 6).

O modelo de Gardner e Eberhart (1966), adaptado por Miranda Filho e Geraldi (1984), para dialelos parcial permitir desdobra o efeito heterótico e, assim, contribuir para a melhor caracterização desse efeito para as linhagens e híbridos em teste. Para o desempenho médio das linhagens ou híbridos, a heterose média foi significativa para todas as características (TABELAS 4 e 8).

Diferenças significativas nos efeitos heteróticos das linhagens A e R quanto ao desempenho médio apenas foi observado para o caráter AP (TABELA 4). Dentre as linhagens A, pode-se destacar a A3 (0,060), a qual apresentou maior efeito heterótico positivo (TABELA 8), enquanto que para as linhagens R, o destaque ficou para a R2 (0,035).

Tabela 4- Resumo da análise dialélica quanto ao desempenho médio (μ) das características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) em cruzamentos dialélicos parciais de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

F.V.	G.L.	Q.M.				
		AP	PMV	EXT	SST	TBH
Genótipos	18	5,16**	2447,76**	252,08**	31**	18,14**
Entre Linhagens	1	68,1**	32722,2**	2321,5**	48**	194,3**
Linhagens A	2	0,05	126,32	15,37	6,3**	2,74**
Linhagens R	3	0,89**	815,64**	461,5**	86**	1,51
Heterose	12	1,9**	719,82**	66,74**	19**	10,16**
H. Média	1	21,6**	6429,6**	491,5**	219**	104**
H. Linhagem (A)	2	0,25**	29,83	3,67	1,11	0,12
H. Linhagem (R)	3	0,16**	250,69	19,41	1,21	1,71
H. Específica	6	0,01	232,76**	40,62	2,45**	2,09**
Erro	228	0,05	99,70	24,62	1,04	0,74
Média Geral		2,76	56,22	52,18	12,68	3,64
Linhagens A		1,73	35,29	46,76	11,09	1,77
Linhagens R		3,09	64,73	54,62	12,43	4,11
Híbridos Experimentais		2,86 ^{1/}	57,85 ^{1/}	52,86 ^{1/}	13,21 ^{1/}	3,94 ^{1/}

** Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.^{1/} Significativo pelo contraste entre a média das linhagens A e R e dos híbridos pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

Em relação à taxa de acúmulo das características, a heterose média foi apenas significativa para SST (0,025) (TABELAS 5 e 8). Foram detectadas diferenças significativas entre os efeitos heteróticos das linhagens A para a característica PMV, com destaque para A1 (0,110), a qual apresentou maior efeito de magnitude positiva (TABELA 8). As linhagens R divergiram quanto ao efeito heterótico para as características TBH, PMV e SST, com destaque para a linhagem R2 (0,012 TBH e 0,161 PMV) e linhagem R1 (0,018 SST)

(TABELAS 5 e 8).

Tabela 5- Resumo da análise dialélica da taxa de acúmulo (b_1) das características: produção de massa verde (PMV, $t\ ha^{-1}$), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) em cruzamentos dialélicos parciais de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

F.V.	G.L.	Q.M.			
		PMV	EXT	SST	TBH
Genótipos	18	0,819**	0,106**	0,0629**	0,010**
Entre Linhagens	1	0,518**	0,164**	0,946**	0,076**
Linhagem A	2	0,429**	0,0284	0,0035	0,0006
Linhagem R	3	2,249**	0,407**	0,019**	0,019**
Heterose	12	0,551**	0,0392	0,010**	0,004**
H. Média	1	0,0270	0,0184	0,066**	0,0000
H. Linhagem (A)	2	0,545**	0,0177	0,0004	0,0016
H. Linhagem (R)	3	0,568**	0,0299	0,012**	0,003**
H. Específica	6	0,632**	0,0544	0,003**	0,006**
Erro	72	0,0916	0,0268	0,0012	0,0008

** Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

Para a previsibilidade do comportamento heterótico das linhagens/híbridos ao longo do desenvolvimento da cultura, a heterose média foi significativa para as características PMV (-0,0906), EXT (0,10225), SST (0,0842) e TBH (-0,177). Para as linhagens A, detectou-se diferenças significativas para os efeitos heteróticos para as características TBH, EXT e SST, com destaque para linhagem A1 a qual apresentou maior efeito de magnitude positiva para TBH e SST (TABELA 6). As linhagens R divergiram quanto ao efeito heterótico para as características TBH, PMV, EXT e SST, com destaque para a linhagem R1, a qual apresentou maior efeito positivo para todas essas características (TABELAS 6 e 8).

Tabela 6 - Resumo da análise dialélica da previsibilidade do comportamento (r^2) das características: produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) em cruzamentos dialélicos parciais de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

F.V.	G.L.	Q.M.			
		PMV	EXT	SST	TBH
Genótipos	18	0,393**	0,687**	0,392**	0,529**
Entre Linhagens	1	0,034	1,325**	1,863**	0,031
Linhagem A	2	0,010	2,043**	0,167	0,134
Linhagem R	3	0,212**	0,181**	0,616**	0,221**
Heterose	12	0,531**	0,535**	0,251**	0,714**
H. Média	1	0,859**	1,095**	0,742**	3,287**
H. Linhagem (A)	2	0,205	0,852**	0,277**	0,398**
H. Linhagem (R)	3	0,498**	0,583**	0,226**	0,852**
H. Específica	6	0,602**	0,312**	0,172**	0,321**
Erro	72	0,083	0,078	0,058	0,067

** Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

A presença de efeitos heteróticos específicos foi evidenciada quanto ao desempenho médio, taxa de acúmulo e previsibilidade permitindo a identificação de combinações híbridas que apresentaram boa complementariedade. Quanto ao desempenho médio, a presença de efeitos heteróticos específicos foi evidenciada para as características PMV, SST e TBH com destaque para as combinações híbridas H4 para PMV (3,308), H6 para SST (0,387) e para TBH (0,366) (TABELAS 4 e 8).

Quanto à taxa de acúmulo a presença de efeitos heteróticos específicos foi evidenciada para as características TBH, PMV e SST com destaque para as combinações híbridas H6 (0,021) para TBH, H1 (0,217) para PMV e H6 (0,017) para SST (TABELAS 5 e 8).

E quanto à previsibilidade do comportamento a presença de efeitos heteróticos específicos foi evidenciada para todas as características com destaque para as combinações híbridas H4 (0,148) para TBH, H8 (0,181) para PMV, H5 (0,142) para EXT e H10 (0,106) para SST (TABELAS 6 e 8).

Tabela 7- Estimativas da média dos efeitos da linhagem (v_a e v_r), para as para as características altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) nas linhagens macho-estéreis (A), linhagens restauradoras (R), estimada pela média fenotípica e pelos parâmetros b_1 e r^2 , segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

Genitores	Características												
	AP		PMV		EXT			SST			TBH		
	μ	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2
A1	-0,04	2,52	-0,07	0,063	-0,103	-0,01	0,358*	0,223*	0,01	-0,118*	0,190*	-0,004	-0,064
A2	0,07	-0,34	-0,10	0,023	0,347	0,037	-0,12*	-0,037	0,002	0,049	0	-0,005	-0,073
A3	-0,03	-2,18	0,17*	-0,09	-0,24	-0,03	-0,24*	-0,19*	-0,012*	0,069	-0,19*	0,009	0,138*
R1	-0,08	0,398	0,32*	-0,11*	1,14	-0,004	-0,016	0,16	0,013*	0,090*	0,27*	0,025*	-0,096*
R2	0,18	-3,93*	-0,28*	0,15*	-5,1*	-0,12*	-0,011	1,29*	0,002	-0,007	-0,30*	-0,034*	-0,013
R3	-0,09	-5,313*	0,18*	-0,08	0,59	0,05	0,081	0,45*	-0,01	-0,071	-0,08	0,009	0,089
R4	-0,02	8,848*	-0,22*	0,041	3,34*	0,08*	-0,054	-1,90*	-0,005	-0,012	0,11	0	0,02

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de t.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 8- Estimativas dos efeitos de heterose média (h), varietal (h_a e h_r) e específica (h_{ar}), para as características altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) nas linhagens macho-estéreis (A), linhagens restauradoras (R) e doze híbridos resultantes do cruzamento entre as linhagens A e R de sorgo sacarino (H), estimada pela média fenotípica e pelos parâmetros b_1 e r^2 , segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

Efeitos	Características												
	AP		PMV		EXT			SST			TBH		
	μ	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2
H. Média (h)	0,45*	7,8*	0,02*	-0,09*	2,17*	-0,013*	0,102*	1,45*	0,025*	0,084*	0,99*	-0,0002*	-0,18*
H. Varietal (h_a ou h_r)													
A1	0,02	-0,7	0,11*	-0,05	0,07	-0,012	-0,121*	0,17	-0,003	0,067*	0,05	0,005	0,083*
A2	-0,08*	-0,1	-0,01	-0,03	0,24	-0,01	-0,021	-0,05	0	0,016	-0,01	0,001	0,014
A3	0,06*	0,8	-0,1	0,07	-0,3	0,02	0,143*	-0,12	0,003	-0,083*	-0,04	-0,006	-0,972*
R1	-0,05	0,1	-0,03	0,14*	-0,79	-0,019	0,089*	0,23	0,018*	0,105*	-0,05	0,002	0,107*
R2	0,04	0,5	0,16*	-0,13	0,43	-0,001	0,074	0,01	-0,001	-0,03	0,13	0,012*	-0,095*
R3	0,07*	2,7	-0,12	-0,02	0,7	-0,019	-0,170*	-0,08	0,006	-0,007	0,19	-0,006	-0,100*
R4	-0,06	-3,3	-0,01	0,01	-0,35	0,04	0,007	-0,17	-0,023*	-0,068*	-0,27	-0,008*	-0,012

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de t.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 8- Conclusão Estimativas dos efeitos de heterose média (h), varietal (h_a e h_r) e específica (h_{ar}), para as características altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) nas linhagens macho-estéreis (A), linhagens restauradoras (R) e doze híbridos resultantes do cruzamento entre as linhagens A e R de sorgo sacarino (H), estimada pela média fenotípica e pelos parâmetros b_1 e r^2 , segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

Efeitos	Características												
	AP		PMV		EXT			SST			TBH		
	μ	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2
	H. específica (h_{ar})												
A1 x R1 (H1)	-0,02	0,6	-0,06	0,07	-0,91	0,017	0,001	0,25	0,005	-0,03	0,05	-0,005	0,091*
A1 x R2 (H2)	0,01	-3,8*	-0,02	0,07	-0,7	0,029	0,003	-0,29	-0,015*	0,106*	-0,4	-0,004	-0,014
A1 x R3 (H3)	-0,003	-0,1	-0,05	0,11*	1,25	0,004	0,001	0,07	0,004	-0,027	0,08	-0,001	0,086*
A1 x R4 (H4)	0,02	3,3*	0,12	-0,25	0,36	-0,05	0,002	-0,02	0,006	-0,05	0,27*	0,010*	-0,163*
A2 x R1 (H5)	-0,01	-0,4	-0,16	-0,02	-0,09	-0,042	0,142*	-0,2	-0,002	-0,047	-0,14	-0,012*	0,015
A2 x R2 (H6)	0,01	2,9*	0,17*	-0,12	0,22	0,038	0,004	0,38*	0,017*	-0,024	0,37*	0,021*	-0,001
A2 x R3 (H7)	0,02	-2,5	0,05	-0,04	0,78	-0,008	-0,028	-0,36	-0,010*	-0,019	-0,19	-0,003	-0,028
A2 x R4 (H8)	-0,01	-0,1	-0,07	0,18*	-0,91	0,012	-0,118*	0,18	-0,005	0,090*	-0,03	-0,007	0,015
A3 x R1 (H9)	0,04	-0,1	0,22*	-0,05	1	0,025	-0,160*	-0,04	-0,003	0,077*	0,09	0,017*	-0,106*
A3 x R2 (H10)	-0,01	0,9	-0,15	0,05	0,48	-0,067	-0,01	-0,09	-0,002	-0,082*	0,04	-0,018*	0,015
A3 x R3 (H11)	-0,01	2,5	-0,01	-0,07	-2,03	0,004	0,069*	0,29	0,006	0,045	0,12	0,003	-0,058
A3 x R4 (H12)	-0,01	-3,2*	-0,06	0,07	0,55	0,038	0,101*	-0,15	-0,002	-0,04	-0,25	-0,003	0,148*

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de t.

Fonte: Do autor (2016)

5 DISCUSSÃO

Os programas de melhoramento de sorgo sacarino têm atuado no sentido de selecionar cultivares superiores quanto ao rendimento de etanol. Nesse contexto, algumas características agrônômicas e tecnológicas apresentam efeitos diretos e/ou indiretos expressivos relativo a este caráter alvo de melhoramento, tais como altura da planta (AP), produção de massa verde (PMV), extração de caldo (EXT), sólidos solúveis totais (SST), açúcares totais recuperáveis (kg açúcar / t colmo), além de índices naturais que concatenam algumas dessas características como toneladas de brix por hectare (TBH) (DURÃES, 2011; LOMBARDI et al., 2015).

O conhecimento dessas características tem auxiliado na definição do ideótipo de sorgo sacarino com padrões mínimos de produtividade e qualidade da matéria-prima, como: produtividade mínima de massa verde de 60 t ha⁻¹; extração mínima de açúcar total de 120 kg t⁻¹ de colmo, considerando a eficiência de extração de 90-95%; teor de sólidos solúveis totais de 18°Brix; produção mínima de etanol de 70 L t⁻¹ de biomassa e período de utilização industrial (PUI) mínimo de 30 dias (PARRELLA, 2011; BORÉM et al., 2014).

Considerando o ideótipo da cultura, neste trabalho, nenhum genótipo atendeu todos os padrões mínimos exigidos. Ressalta-se a característica SST, considerada a mais importante para a cultura, no qual genótipos com valores maiores que 8°Brix no caldo são considerados sacarinos (PFEIFFER et al., 2010). Com base nisso, todas as linhagens e híbridos avaliados foram considerados sacarinos, visto que apresentaram valores superiores a 8°Brix, exibindo, em média, 12,68°Brix (TABELA 2). Contudo, acredita-se que esse baixo teor comparado com o ideótipo ocorreu devido à realização de algumas colheitas em semanas chuvosas (FIGURA 1), o que segundo Humbert (1984) promove uma diminuição na armazenagem de açúcares. Todavia, outros fatores

podem influenciar o SST, como mudanças no comprimento do dia, intensidade de radiação e resposta diferencial a adubação, uma vez que essa característica sofre grande influência ambiental (KUMAR et al., 2011).

O sucesso do melhoramento de qualquer cultura está condicionado à existência de variabilidade, uma vez que possibilita a seleção de genótipos superiores. Neste estudo, foram observadas variações entre genótipos para todas as características estudadas, evidenciando a possibilidade de se obter cultivares de alto desempenho pelo melhoramento do sorgo sacarino. Vários trabalhos têm indicado existência de ampla variabilidade em genótipos de sorgo sacarino, Elangovan et al. (2014), Regassa e Wortmann (2014) e Durães (2014) encontraram variações na altura da planta (2,77 - 3,11 m), extração de caldo (29,0 - 75,8%), teor de sólidos solúveis totais (9,35-24,00%), produção de massa verde (36-140 t ha⁻¹) e TBH (0,6 - 8,1 t ha⁻¹).

Todas as linhagens R e híbridos apresentaram performance similares aos estudos. Destacam-se as linhagens A por apresentarem menor expressão fenotípica em relação às linhagens R e aos híbridos, para todas as características avaliadas. Este resultado está associado às atividades de produção de sementes, no qual a semente híbrida é colhida a partir dessas linhagens, as quais visando favorecer o processo não deve apresentar porte elevado, no entanto deve associar elevado teor de açúcares. Neste contexto, aA1 sobressai as demais, por apresentar maior desempenho per se para SST, TBH e PMV e menor AP (APÊNDICE B). Os resultados obtidos, em média, para essas linhagens foram coerentes com os de Dinesh et al. (2013) e Souza et al. (2016), contudo as linhagens A nesse trabalho já mostraram maior desenvolvimento vegetativo, fruto da seleção que vem sendo realizada.

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. Em princípio os programas de melhoramento de sorgo sacarino visavam o

desenvolvimento de linhagens, entretanto após a descoberta da macho-esterilidade foi facilitado o desenvolvimento de combinações híbridas (SMITH; FREDERIKSEN, 2005; REDDY et al., 2007). O objetivo para obtenção das combinações híbridas é baseado no possível vigor híbrido ou heterose a ser explorado. Estudos têm demonstrado a existência de heterose para as características consideradas alvo do melhoramento, como teor de sólidos solúveis, produção de massa verde e rendimento de caldo em sorgo sacarino (PFEIFFER et al., 2010; VINAYKUMAR et al., 2011; DURÃES, 2014; BUNPHAN et al., 2015; ROCHA, 2016).

De maneira geral, a partir do presente estudo, ocorreu heterose para todas as características avaliadas (TABELA 2). Este fato indica que no controle genético dessas características estão envolvidos genes de ação não-aditiva havendo a possibilidade de se obter combinações híbridas promissoras. Esse resultado corrobora com os de Indhubala et al. (2010) que ao estimar a capacidade combinatória de 35 híbridos observou ação gênica não-aditiva para altura das plantas, produção total de biomassa, extração de caldo, sólidos solúveis totais e produção de etanol. Resultado semelhante ao observado por Vinaykumar et al. (2011) ao avaliarem 72 híbridos quanto à altura das plantas, produção de massa verde e extração de caldo e por Reddy et al. (2011) e Bunplan et al. (2015), a partir do estudo de 171 e 15 híbridos, respectivamente, para rendimento de açúcar.

Ao analisar detalhadamente a heterose manifestada observou que as características apresentaram significância quanto à heterose média (TABELA 2) indicando que há divergência da frequência alélica nas linhagens, resultando em situação favorável para o melhoramento (KVITSCHAL et al., 2004; CRUZ; VENCOVSKY, 1989). Nesse caso, as estimativas da heterose varietal é de fundamental importância com relação ao seu significado genético, tanto no seu sinal quanto na sua magnitude para todas as características avaliadas. Quando

maior a magnitude positiva da heterose varietal (h_a ou h_r) melhor será a contribuição híbrida obtida (CRUZ et al., 2012).

Para AP, observou efeito heterótico positivo para a linhagem A3, resultando em combinações híbridas mais altas. Dentre as linhagens R, esse mesmo tipo de efeito heterótico foi observado para a R3. Resultados similares foram encontrados por Kulkarni e Shinde (1985) e Durães (2014).

Para PMV, EXT, SST e TBH tanto as linhagens A quanto as linhagens R não diferiram quanto ao efeito heterótico varietal. Esses resultados divergem dos estudos de Durães (2014) e Pothisoong e Jasil (2011), os quais apresentaram efeito heterótico varietal significativo, com relação às linhagens R, para EXT, SST e TBH. Como cada estudo foi realizado com um conjunto de genótipos específicos essa divergência é justificável, uma vez que os resultados não podem ser extrapolados.

Para as características PMV, SST e TBH houve efeito heterótico específico significativo (TABELAS 2 e 8). As combinações híbridas H4 e H6 foram às de maiores destaque apresentando efeito heterótico específico significativo e de magnitude positiva. No entanto, ao observar o desempenho per se, o híbrido H6 sobressai em relação ao H4 apresentando performance superior para todas as características, exceto EXT (TABELA 8).

Ao se avaliar somente o desempenho médio dos genótipos não se tem informações sobre seu comportamento ao longo do desenvolvimento da cultura, especialmente, no que se refere às fases fenológicas nas quais ocorre a expressão fenotípica para as características relacionadas à produção de etanol (BORÉM et al., 2014). Durante essas fases ocorrem variações das características as quais podem sofrer incremento ou decremento de acordo com as mudanças ambientais e biológicas, tendo genótipos precoces e tardios. Essas variações já foram demonstradas em alguns estudos de curvas de maturação (ANDRADE; OLIVEIRA, 1988; SOUZA et al., 2016), no qual os pontos máximos de

produção (e.g. altura, teor de sólidos solúveis) foram alcançados em épocas diferentes entre os materiais e entre as características avaliadas.

Dessa forma, além de investigar o desempenho médio, faz-se necessário descrever a taxa de acúmulo das características PMV, EXT, SST e TBH visando identificar linhagens e híbridos promissores. Bem como, a previsibilidade do comportamento dos genótipos para essas características. Isto, pois um genótipo mesmo apresentando alto desempenho médio e elevada taxa de acúmulo das características haverá uma menor confiabilidade na sua recomendação caso tenha baixa previsibilidade, uma vez que o modelo adotado seria pouco explicativo para a variação existente.

Para tanto utilizou os parâmetros b_1 e r^2 obtidos por meio de uma regressão linear simples dos dados em função das épocas de colheita. O parâmetro b_1 representa a inclinação da reta, ou seja, a taxa de acúmulo das características no decorrer do desenvolvimento da cultura e o parâmetro r^2 é o coeficiente de determinação e indica a previsibilidade do comportamento do genótipo durante o período de desenvolvimento da cultura.

O comportamento das linhagens e híbridos ao longo do desenvolvimento da cultura não foi altamente previsível. Indicando que a resposta dos genótipos ao longo das épocas de colheita não foi linear (APÊNDICE B). Esse resultado é concordante com o de Andrade e Oliveira (1988) e Souza et al., 2016 os quais observaram curvas de maturação diferenciadas entre genótipos, tendo genótipos precoces e tardios. No estudo de Souza et al. (2016), observou uma relação marcante entre a data de florescimento e a época no qual os genótipos atingiram o ponto máximo para SST e PMV. Para a PMV após o florescimento da cultura houve um decréscimo contínuo. Enquanto que para o SST observou um incremento após o florescimento. Essas situações são justificadas uma vez que o acúmulo de sólidos solúveis no colmo inicia a partir do florescimento e se estende até a maturação fisiológica dos grãos e a produção de massa verde tende

a diminuir após o florescimento (BORÉM et al., 2014).

Neste estudo, foram evidenciadas estimativas relativamente maiores para PMV e SST. De modo geral, para o PMV observou decréscimo enquanto que para SST observou incremento, concordando com o resultado observado por Souza et al, (2016). Contudo, não inferiu a cerca da variação dessas características com o florescimento dos genótipos, uma vez que essa característica foi avaliada apenas em Lavras, não podendo ser utilizada na análise conjunta dos dois locais, uma vez que estudos apontaram interação do florescimento com o local de avaliação (PARRELLA e PARRELLA, 2011; DURÃES 2014).

Em relação à taxa de acúmulo das características, houve heterose para PMV, SST e TBH. De modo geral, a linhagem A A1 e as linhagens R R1 e R2 apresentaram efeito heterótico varietal positivo, resultando em combinações híbridas mais altas. E os híbridos H4, H6 e H9 tiveram efeito heterótico específico positivo (TABELAS 5 e 8). Ao avaliar o desempenho per se dessas linhagens e híbridos, observa-se que elas nem sempre apresentaram incremento da expressão fenotípica. Ao considerar o desempenho per se e o ganho heterótico destaca-se a linhagem R1 e os híbridos H4 e H6 (TABELA 8 e APÊNDICES B, C, D e E).

Para a previsibilidade ocorreu heterose para todas as características (TABELA 6). De modo geral, a linhagem R R1 e as linhagens A A1 e A3 sobressairam quanto ao efeito heterótico varietal positivo (TABELA 8). E os híbridos H12, H8 e H3 quanto ao efeito heterótico específico positivo (TABELA 8). No entanto, ao avaliar o desempenho per se dessas linhagens e híbridos, observa-se que elas nem sempre foram previsíveis, isto é, o modelo adotado (linear) nem sempre explicou a variação existente, tendo uma menor confiabilidade na sua recomendação. Dessa forma, ao observar a previsibilidade média e o ganho heterótico destaca-se a linhagem A1 e R1 e os híbridos H1 e H3

(APÊNDICE B).

Ao considerar as heteroses obtidas para o desempenho médio, a taxa de acúmulo e a previsibilidade do comportamento nem sempre as linhagens e os híbridos foram coincidentes quanto ao efeito heterótico positivo. Neste estudo, optou-se por enfatizar as linhagens e híbridos que sobressaíram quanto o desempenho médio, todavia quando houver duas linhagens e ou híbridos com heterose positiva para o desempenho médio buscou-se selecionar aquela com maior taxa de acúmulo e previsibilidade de comportamento. Dessa forma, destacam-seas linhagens A A1 e A3 e as linhagens R R1, R2 e R3. E os híbridos H3, H4, H6, H8, H9 e H12.

Não obstante, a heterose não informa acerca do desempenho do genótipo per se, assim sendo, os genótipos considerados mais promissores foram aqueles que apresentam maior desempenho per se seguido de maior heterose. Destacando as linhagens A1, R1 e R2 e os híbridos H3, H4 e H6.

6 CONCLUSÃO

A linhagem macho-estéril A1 e as linhagens restauradoras R1 e R2 apresentaram maior potencial *per se* ao considerar a previsibilidade do comportamento, o desempenho médio e a taxa de acúmulo das características ao longo do desenvolvimento da cultura para as características relacionadas com a produção de etanol.

Ocorreu heterose para todas as características avaliadas quanto o desempenho médio e a previsibilidade do comportamento ao longo do desenvolvimento da cultura. Com relação à taxa de acúmulo ocorreu também heterose, exceto para extração de caldo. Os híbridos que apresentam maior desempenho *per se* seguido de maior heterose foram H3, H4 e H6.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R.V.; OLIVEIRA, A.C. **Maturação fisiológica do colmo e da semente de sorgo sacarino**. Revista Brasileira de Sementes, v.10, n.3, p.19-31, 1988.
- BAHADURE, D.M. et al. **Combining ability and heterosis on millable stalk and sugar concentration for bioethanol production across environments in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)**. Electronic Journal of Plant Breeding, v.6, n.1, p. 58-65, 2015.
- BALDISSERA, J.N.C.; VALENTINI, G.; COAN, M.M.D.; GUIDOLIN, A.F.; COIMBRA, J.L.M. **Fatores genéticos relacionados com a herança em populações de plantas autógamas**. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.13, n.2, p.181-189. 2014.
- BORÈM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R.A.C. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, p.275, 2014.
- BUNPHAN, D. et al. **Heterosis and Combining Ability of F1 Hybrid Sweet Sorghum in Thailand**. Crop Science, v. 55, p.178-187, 2015.
- COSTA, G. H. G. **Emprego do extrato de moringa (*Moringa oleífera* Lamarck) na clarificação do caldo de cana para produção de açúcar**. 2013. 115f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013.
- CRUZ, C.D. **GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics**. Acta Scientiarum. v. 35, n.3, p.271-276, 2013.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, p.223-375, 2012.
- CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R. **Comparação de alguns métodos de análise dialélica**. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v.12, n.12, p. 425-438, jun. 1989.
- DINESH, H.B; RAO, M. R. G.; RAMESH, S.; RAO, A. M.; NAIK, S. J. S.; SIDRAMAPPA TALEKAR. **Influence of maleterility inducing cytoplasm on hybrid heterosis for bioenergy traits in sweet sorghum [*Sorghum bicolor***

(L.) Moench]. *Journal International Journal of Plant Sciences* (Muzaffarnagar) 2013 v.8 n.1 p.169-172

DURÃES, N.N.L. **Heterose em sorgo sacarino**. Dissertação de Mestrado. UFLA, Lavras. 2014.

ELANGO VAN, M. et al. **Genetic Diversity and Heritability Characters Associated in Sweet Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]**. *Sugar Tech*, v. 16, n.2, p.200-210, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo de Sorgo Sacarino**, 2012. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/>. Acesso em: 20 de novembro de 2014.

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

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Edinburg: Longman Group Limited, 1996. 464p.

FERREIRA, D.F. *Estatística Básica*. Lavras, Editora UFLA, 2005.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 12p. (Circular Técnica, 171).

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

GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. **Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses**. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p.419-430, 1988.

GRIFFING, B. **Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems**. *Australian Journal of Biological Sciences*, v.9, n.4, p.462-93, 1956.

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

HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña-de-azucar**. 6. ed. México: Continental, 1984. 719p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 02/10/2016.

INDHUBALA, M.; GANESAMURTHY, K.; PUNITHA, D. **Combining Ability Studies for Quality Traits in Sweet Sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench)**. The Madras Agricultural Journal, v. 97, p.17-20, 2010.

KIM, M.; DAY, D.F. **Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar Mills**. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, vol.38, p.803-807. 2010.

KOLEMAN, O.H. e STOKES, I.E. **Storage studies of sorgho**. Washington. **Agriculture Research Service**. United States Department of Agriculture.1964.

KRIEGER, U.; LIPPMAN, Z. B.; ZAMIR, D. **The flowering gene SINGLE FLOWER TRUSS drives heterosis for yield in tomato**. Nature Genetics, v. 42, n.5. p.459-463, 2010.

KUMAR, A.A. et al. **Recent Advances in Sorghum Genetic Enhancement Research at ICRISAT**. American Journal of Plant Sciences, v. 2, p. 589-600, 2011.

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.

KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; TONET, A.; PINTO, R.J.B.; RETUCI, V.S.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; BRACCINI, A.L.. **Análise dialélica de populações de milho na região noroeste do Paraná, na “safrinha”**. Revista Ceres, v.51, p.19-32, 2004.

LOMBARDI, et al. **Path analysis of agro-industrial traits in sweet sorghum**. Genetics and Molecular Research, v.14, n.4, p.16392-16402, 2015.

MAKANDA, I.; TONGOONA, P.; DERERA, J. **Combining ability and heterosis of sorghum germplasm for stem sugar under off-season conditions in tropical lowland environments**. Field Crops Research v.114, p.272-279.2009.

MIRANDA FILHO, J.B.; GERALDI, I.O. **An adapted model for the analysis of partial diallel crosses.** Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v.7, n.4, p.677-88, 1984.

MIRANDA FILHO, J. B.; VIÉGAS, G. P. **Milho híbrido.** In: PARTENIANI, E.; VIÉGAS, G. P. Melhoramento e produção de milho. Campinas. Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 275-340.

PARRELLA, R.A.C. **Melhoramento genético do sorgo sacarino.** Revista Agroenergia. Brasília, v.2, n.3, p.13-15, ago.2011.

PARRELLA, R.A.C.; PARRELLA, N.N.L.D.; **Produção de sementes de sorgo sacarino.** Revista Agroenergia. Brasília, v.2, n.3, p.13-15, ago.2011.

PERREIRA, J.A.; MORAIS, O.P.; BRESEGHELLO, F. **Heterosis analysis in crosses among red rice varieties.** Pesq.Agropec.Bras., Brasília, v. 43, n.9, p. 1135-1142, 2008.

PEDERSEN, J. F.; TOY; JOHNSON, J. J. **Natural Out-crossing of Sorghum and Sudangrass in the Central Great Plains.** Crop Science, v. 38, n. 4, p. 937-939, 1998.

PFEIFFER, T.W.; BITZER, M.J.; TOY, J. ; PETERSEN, J.F. **Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in Appalachia.** Crop Science v.50. p.1788-1794, 2010.

PIMENTEL, A.J.B; RIBEIRO, G.; SOUZA, M.A.; MOURA, L.M.; ASSIS, J.C.; MACHADO, J.C. **Comparação de métodos de seleção de genitores e populações segregantes aplicados ao melhoramento de trigo.** Bragantia, Campinas, v.72, n.2, p. 113-121. 2013.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas.** 3. Ed., rev. – Lavras: Ed. UFLA, 2012a. 328 p.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ABREU, A.F.B; NUNES, J.A.R. **Aplicação da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Ed. – Lavras: Ed. UFLA, 2012b. 522p.

REDDY, B.V.S.; RAMESH,S.; REDDY, P.S.; RAMAIAH, B. **Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]**. Euphytica, v.154. p.153-164. 2007

REDDY, P.S.; REDDY, B.V.S.; RAO, P.S. **Genetic analysis of traits contributing to stalk sugar yield in sorghum**. Cereal Research Communications v.39. n.3. p.453-464. 2011.

REGASSA, T.H. e WORTMANN, C.S. **Sweet Sorghum as a bioenergy crop: Literature review**. Biomass and Bioenergy. p. 1 – 8. 2014.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**.R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015.

ROCHA, M. J. **Capacidade combinatória de linhagens e seleção de híbridos de sorgo sacarino**. Dissertação (mestrado acadêmico) – Lavras: UFLA, 2016.

RUSSEL, W. A. e EBERHART, S.A. **Hybrid performance of select maize lines from reciprocal recurrent selection and testcross selection programs**. Crop Science, Madison, v.15. p.1-4, 1975.

SANDEEP, R.G. et al. **Parental combining ability as a good predictor of productive crosses in sweet sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]**.Journal of Applied and Natural Science, v.2, n.2, p.245-250, 2010.

SANTOS, F.S. *et al.* **Sorgo sacarino na produção de agroenergia**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.4, p.01- 12, 2015.

SAS System for Windows 9.3.**SAS Institute Inc.** Cary, NC, USA, 2012.

SCAPIM, C. A.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, C. D.; CECON, P. R.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; BRACCINI, A. L. **Efeitos gênicos, heterose e depressão endogâmica em caracteres de sorgo granífero**. Bragantia, v.57. n.1. 1998.

SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A.C. Planejamento industrial. In: MAY, A. (Ed.) **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol: Sistema BRS1G – tecnologia qualidade Embrapa**. Planejamento Industrial. p. 85-92. 2012

SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. **Sorghum: origin, history, technology, and production.** Wile Series in Crop Science, Series Editor Texas A & M University, p. 824. 2005.

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

SOUZA, V.F.; PARRELLA, R.A.C.; TARDIN, F.D.; COSTA, M.R.; CARVALHO, G.A.; SCHAFFERT, R.E. **Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars.** Crop Breeding and Applied Biotechnology v.13. p. 144-151, 2013.

SOUZA, R.S.; PARRELLA, R.A.C.; SOUZA, V.F.; PARRELLA, N.N.L.D. **Maturation curves of sweet sorghum genotypes.** Ciência e Agrotecnologia v.40. n. 1. p. 46-56, Jan/Feb. 2016

UMAKANTH, A.V et al. **Combining ability and heterosis over environments for stalk and sugar related traits in sweet sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench].** Sugar Tech, v.14. n.3, p.237-246, 2012.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, p.496. 1992.

VINAYKUMAR, R., B. N. et al. **Combining ability of parents and hybrids for juice yield and its attributing traits in sweet sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench].** Electronic Journal of Plant Breeding, v.2, n.1, p.41-46, 2011.

WANG, M.L. et al. **Genetic diversity in parent lines of sweet sorghum based on agronomical traits and SSR markers.** Field Crops Research, v.149, p.11-19, 2013.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. **Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices.** Biomass and Bioenergy, v.40, p. 1-12, 2012.

APÊNDICE

APÊNDICE A Resumo da análise de variância dos caracteres agroindustriais tonelada de Brix por hectare (TBH), altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %) e sólidos solúveis totais % caldo (SST) relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras e em Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio									
		Lavras					Sete Lagoas				
		AP	PMV	EXT	SST	TBH	AP	PMV	EXT	SST	TBH
TR	19	2,95**	1597,5**	254,17**	23,06**	10,09**	2,67**	1228**	56,23**	16,41**	10,36**
RE	2	0,119	70,28	0,592	1,292	0,397	0,481	2130	70,35	2,489	1,582
Erro (a)	38	0,048	139,4	49,09	0,759	1,146	0,08	106	16,63	1,83	1,055
Época	3	0,328**	773,8**	293,17**	171,34**	11,59**	0,25**	4837**	271,24**	15,99**	38,04**
Época x TR	57	0,047*	143,7	28,91	4,34**	1,16*	0,09	102	10,86	2,94*	1,15*
Erro (b)	120	0,029	117,7	37,12	0,58	0,696	0,08	79	10,62	1,53	0,76
Média Geral		2,761	60,539	36,455	13,539	3,089	2,754	51,902	67,9	11,825	4,195
Linhagens A		1,768	40,764	28,316	10,761	1,241	1,725	30,183	65,5	11,394	2,318
Linhagens R		3,241	74,586	39,919	13,563	4,024	2,932	54,752	69,375	11,317	4,198
Híbridos Experimentais		2,808	59,832	37,44	14,198	3,199	2,928	56,429	68,091	12,321	4,74
Híbrido Comercial		3,405	74,758	36,692	14,027	3,807	2,985	53,876	67,5	10,758	4,001
CV erro (a)		7,94%	19,50%	19,22%	6,43%	34,65%	10,27%	19,84%	6,01%	11,44%	24,49%
CV erro (b)		6,17%	17,92%	16,71%	5,62%	27,01%	10,27%	17,13%	4,80%	10,46%	20,78%

*,** Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

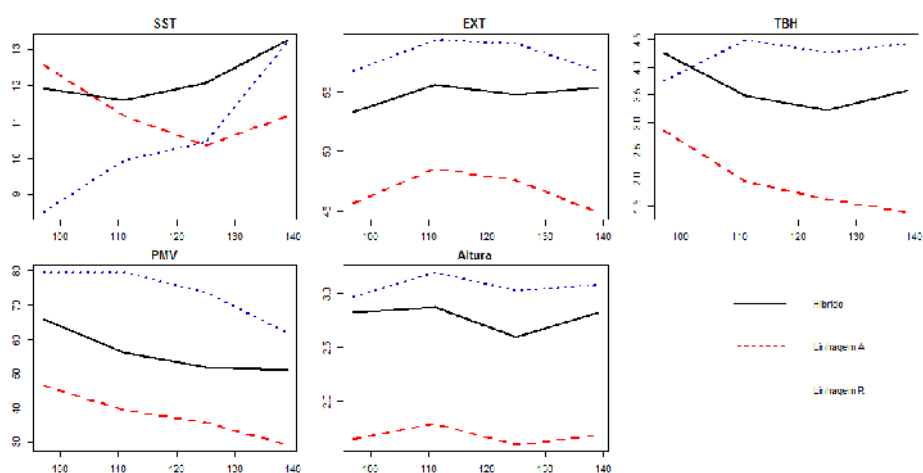
Fonte: Do autor (2016)

APÊNDICE B Resumo das médias das linhagens macho-estéreis (A), das linhagens restauradoras (R), dos híbridos experimentais (A x R) e do híbrido comercial de sorgo sacarino para as características TBH, AP, SST, PMV e EXT de acordo com as estimativas do desempenho médio, b_1 e r^2 , (Lavras e Sete Lagoas, MG, 2014-2015).

TR	AP		PMV		EXT			SST			TBH		
	μ	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2	μ	b_1	r^2
A1	1,68	37,8	-0,3962	0,5639	46,66	-0,0236	0,5979	11,31	-0,0358	0,3587	1,95	-0,034	0,5231
A2	1,79	34,94	-0,4238	0,5235	47,11	0,0223	0,1212	11,05	-0,0435	0,525	1,76	-0,035	0,5139
A3	1,7	33,1	-0,1498	0,4145	46,52	-0,0427	0,1	10,9	-0,0582	0,545	1,57	-0,021	0,7252
R1	3,0	65,12	0,1076	0,3467	55,76	-0,084	0,4208	12,59	0,1219	0,7926	4,37	0,038	0,4326
R2	3,27	60,8	-0,4883	0,6063	49,55	-0,2028	0,4254	13,72	0,1113	0,6961	3,81	-0,021	0,5148
R3	3,0	59,42	-0,0288	0,3723	55,21	-0,0297	0,5171	12,88	0,0995	0,6322	4,02	0,021	0,6167
R4	3,07	73,58	-0,426	0,4966	57,96	-0,0023	0,383	10,53	0,1048	0,6909	4,22	0,012	0,5484
(A1 x R1) H1	2,8	58,54	0,1677	0,4086	53,66	-0,073	0,4189	13,76	0,0801	0,9085	4,25	0,026	0,4854
(A1 x R2) H2	2,97	57,76	-0,309	0,3737	51,25	-0,2059	0,5568	14,05	0,0571	0,5655	4,1	-0,028	0,3454
(A1 x R3) H3	2,87	60,93	-0,2149	0,2344	51,84	-0,0662	0,4375	13,93	0,0667	0,6853	4,35	-0,004	0,3178
(A1 x R4) H4	2,78	56,32	-0,3503	0,4694	54,75	0,0378	0,5799	12,22	0,0317	0,5682	3,63	-0,016	0,5786
(A2 x R1) H5	2,72	57,41	-0,3393	0,4393	52,96	-0,1156	0,5825	13,25	0,0794	0,8164	3,87	-0,007	0,5316
(A2 x R2) H6	2,95	58,97	-0,1119	0,2017	51,39	-0,0764	0,4324	14,18	0,0755	0,6561	4,27	0,006	0,2549
(A2 x R3) H7	2,86	55,15	-0,2845	0,2662	55,04	-0,054	0,2021	12,93	0,0493	0,6532	3,88	-0,015	0,2736
(A2 x R4) H8	2,73	58,63	-0,4932	0,5809	53,68	0,0373	0,222	12,2	0,0281	0,7304	3,69	-0,025	0,3706
(A3 x R1) H9	2,8	58,44	-0,1976	0,5775	51,31	-0,056	0,5617	13,55	0,0825	0,7451	3,92	-0,001	0,6028
(A3 x R2) H10	3,03	52,26	-0,2655	0,4395	49,63	-0,0859	0,5387	13,35	0,0387	0,698	3,37	-0,019	0,2367
(A3 x R3) H11	2,93	57,64	-0,3408	0,4641	54,68	-0,0419	0,2911	13,21	0,0587	0,5567	4,03	-0,013	0,3818
(A3 x R4) H12	2,85	62,07	-0,2607	0,1945	54,11	-0,0252	0,461	11,85	0,0346	0,5021	3,85	-0,008	0,1877

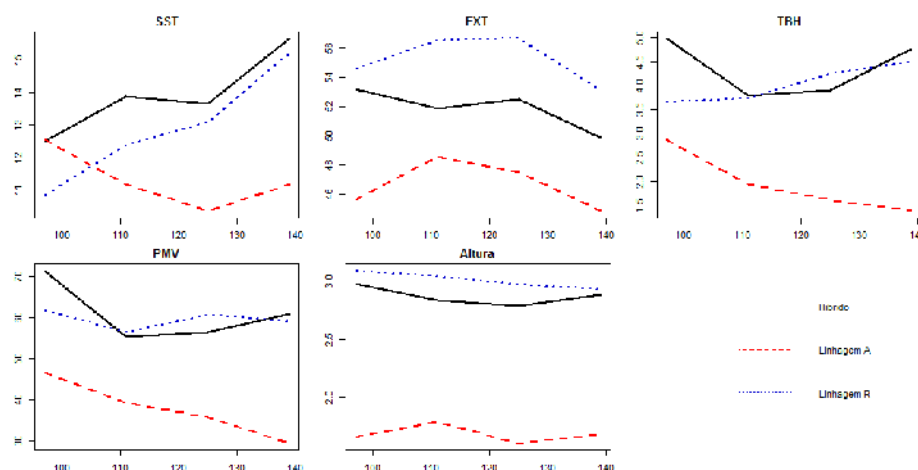
Fonte: Do autor (2016)

Apêndice C. Gráficos do desempenho per se do híbrido H3 (A1 X R3) e seus genitores para as características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) relativo à avaliação em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.



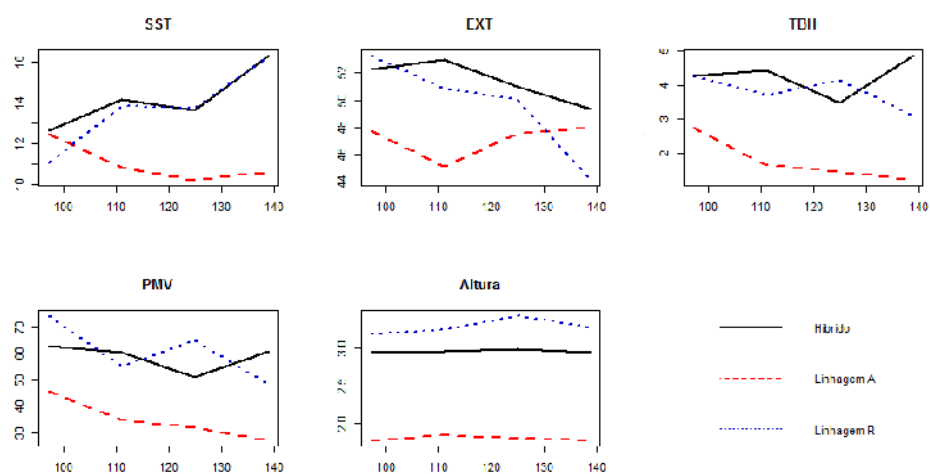
Fonte: Do autor (2016)

Apêndice D. Gráficos do desempenho per se do híbrido H4(A1 x R4) e seus genitores para as características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) relativo à avaliação em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.



Fonte: Do autor (2016)

Apêndice E. Gráficos do desempenho per se do híbrido H6 (A2 x R2) e seus genitores para as características: altura de planta (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), extração de caldo (EXT, %), sólidos solúveis totais % caldo (SST) e tonelada de Brix por hectare (TBH) relativo à avaliação em Lavras e Sete Lagoas, MG, na safra 2014/2015.



Fonte: Do autor (2016)