

**GUILHERME CASSICALA ECULICA**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE  
SORGO SACARINO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de Magister Scientiae.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

Eculica, Guilherme Cassicala, 1986-  
E19a            Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo  
2014            sacarino / Guilherme Cassicala Eculica. – Viçosa, MG, 2014.  
                  vii, 50f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Aluizio Borém de Oliveira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.44-50.

1. Sorgo - Melhoramento genético. 2. Cultivo. 3. Interação  
genótipos x ambientes. 4. Bioenergia. 5. Etanol. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de  
Pós-graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 633.62

GUILHERME CASSICALA ECULICA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE SORGO  
SACARINO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 09 de Maio de 2014.

---

Rafael Augusto da Costa Parrella  
(Coorientador)

---

Leonardo Lopes Bhering  
(Coorientador)

---

Leonardo Duarte Pimentel

---

Aluízio Borém de Oliveira  
(Orientador)

*Ao Soberano Deus.*

*Arquiteto da minha vida.*

*Ofereço.*

*Aos meus pais, Ernesto Eulica Guilherme e Justina André  
Eulica pelo apoio incondicional ao longo do meu percurso acadêmico.  
A minha noiva, Gertrudes Mendes e nosso filho Dorivaldo  
Eulica pela compreensão e incentivo, e aos meus irmãos pelas  
bêlicas palavras de conforto e orações.*

*Dedico.*

*“É preciso força pra sonhar e  
perceber que a estrada vai além  
do que se vê”.*

(Los Hermanos)

## AGRADECIMENTOS

Ao longo da vida acadêmica, aprendi que as grandes obras científicas foram resultado da dedicação de várias pessoas trabalhando em equipe.

Primeiramente agradeço ao grandioso Deus, por me proteger e iluminar os meus passos, durante a minha estadia no Brasil e pela grandiosa oportunidade que me concedeu em alcançar mais uma etapa na carreira acadêmica.

Aos meus pais (meus professores emérito), modelos de perseverança diante dos imprevistos e momentos cruciais da vida e a quem devo tudo o que sou, agradeço pelo amor incondicional, amizade, apoio, incentivo e pela constante presença em minha vida me ensinando a ter força para lutar e transformar as dificuldades em amadurecimento.

À minha noiva Gertrudes Mendes, e filho Dorivaldo Eculica, vos sou mui grato pela companhia, carinho e amor que vocês têm por mim. Parecia durar uma eternidade e dois anos se passaram longe de vocês. Tenho a plena certeza que este sacrifício valerá apena.

À minha querida família, meu porto seguro, pela estrutura familiar proporcionada ao longo da minha vida e por me ajudarem, com compreensão, carinho e amor, em cada desafio e conquista da minha vida. A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

Ao Dr. Júlio Macias, pela amizade e enriquecimento a minha vida pessoal e profissional, sempre me incentivando na busca do crescimento, um exemplo de competência, garra, determinação e disciplina, a minha admiração.

A Universidade Federal de Viçosa, em particular a coordenação do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-graduação.

Aos professores doutor Aluizio Borém e Leonardo Lopes Bhering, pela confiança, disponibilidade, amizade e valiosas orientações.

A todo o corpo docente do Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas, em particular ao professor Cosme Damião Cruz, agradeço Pela formação acadêmica, conselhos, incentivos orientações e todo apoio que me foi dado.

À Embrapa Milho e Sorgo, em particular a equipe do Melhoramento Genético de Sorgo (funcionários e estagiários), pelo aprendizado, amizade e pela parceria para realização deste trabalho, agradeço.

Ao Pesquisador Rafael Parrella, pelos ensinamentos e orientação prática que enriqueceram a minha qualificação acadêmica e profissional, os meus agradecimentos.

Aos colegas do curso de Genética e Melhoramento da UFV pelos bons momentos que passei junto de vocês e pela ajuda mútua. Que a formação adquirida possa contribuir grandemente para a realização de muitas conquistas.

A todos os meus amigos, pelo impulso positivo nos momentos mais incertos ao longo desta caminhada e todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho. Minha gratidão!

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Sorgo Sacarino.....	4
2.1.1. Interesse do sorgo sacarino como cultura energética.....	6
2.1.2. Melhoramento Genético do Sorgo Sacarino.....	9
2.2. Variabilidade Genética e Estratégias de Melhoramento.....	10
2.3. Interação Genótipos x Ambientes.....	13
2.4. Adaptabilidade e Estabilidade fenotípica.....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1. Características avaliadas .....	20
3.2. Análises Estatísticas.....	20
3.3. Comparação de grupos de médias.....	21
3.4. Metodologias para caracterização da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo sacarino.....	21
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>



## RESUMO

ECULICA, Guilherme Cassicala, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Maio, 2014. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino.** Orientador: Aluizio Borém de Oliveira. Coorientadores: Rafael Augusto da Costa Parrella e Leonardo Lopes Bhering.

O setor bioenergético brasileiro vem experimentando o uso de sorgo sacarino para otimizar a produção de etanol. Entretanto, existem poucas variedades e pouco conhecimento da adaptabilidade dos materiais disponíveis. O estudo da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos é imprescindível na fase final do programa de melhoramento de sorgo sacarino, para corretas indicações dos genótipos apropriados nas regiões de cultivo. A produtividade de massa verde (PMVtn/ha) do sorgo sacarino é influenciada por efeitos genotípicos (G), efeitos ambientais (A) e das interações genótipos x ambientes (G x A), que levam ao comportamento diferencial dos genótipos nos diversos ambientes. O objetivo deste trabalho foi estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos com base nos efeitos da interação genótipos x ambientes para a seleção dos melhores genótipos de sorgo sacarino visando a produção de etanol, na entressafra da cana de açúcar em diferentes regiões do Brasil. Os ensaios foram conduzidos em 8 ambientes nas regiões do sudeste (Minas Gerais, São Paulo) e Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal) no ano agrícola 2013-2014. Para a seleção dos melhores genótipos, fez-se um estudo de adaptabilidade e estabilidade, utilizando-se o método de Eberhart e Russel e a metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky. Foram realizadas as análises de variância e posteriormente as análises de adaptabilidade e estabilidade. Pela metodologia de Eberhart e Russel, foi recomendado o genótipo BRS 511, por apresentar comportamentos altamente previsíveis e responsivos às variações dos ambientes em condições específicas ou amplas em todas as características avaliadas. Ela também recomendou os genótipos CMSXS644, CMSXS647, e Sugargraze, para a produção de massa verde (PMVtn/ha); CMSXS629, CMSXS630, CMSXS646, CMSXS647, BRS 508, BRS509, e CV198 para a variável TBH; e CMSXS629, CMSXS630, CMSXS643, CMSXS646, BRS 506, e BRS 509 para o teor de SST. A regressão bissegmentada proposta pelo método de Cruz, Torres e Venconvsky, caracterizou apenas os genótipos quanto à adaptabilidade em condições específicas em ambientes favoráveis ou de adaptação geral, e quanto à estabilidade como estáveis. Porém, não identificou genótipos recomendáveis.

## ABSTRACT

ECULICA, Guilherme Cassicala, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa , May, 2014. **Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars.** Advisor: Aluizio Borém de Oliveira. Co-advisors: Rafael Augusto da Costa Parrella and Leonardo Lopes Bhering.

The bioenergy sector in Brazil has been experimenting the use of saccharine sorghum to optimize ethanol production. However, there are few varieties and little knowledge about the adaptability of available materials. To study the genotypes adaptability and stability is indispensable at the final stages of a saccharine sorghum improvement/amelioration program, in order to signal correctly appropriate genotypes to regions of cultivated lands. Green mass productivity (PMVtn/ha) of saccharine sorghum is influenced by genotype effects (G), environmental effects (E), and by the genotype – environment interactions (G x E), that yield different genotype behavior in different environments. The research aimed at studying the genotype adaptability and stability based on (G x E) in order to select the best genotypes of saccharine sorghum driven by ethanol production in intercrop periods of sugar cane plantation. The experiments were carried out in 8 environments encompassing different regions in Brazil (Minas Gerais and São Paulo States in the Southeast Region), as well as (Mato Grosso and Mato Grosso do Sul States plus the Federal District in the West-Central Region), in the tillage years of 2013-2014. In order to select the best genotypes, their adaptability and stability was studied by means of the Eberhart & Russel method, and the methodology Cruz, Torres & Vencovsky proposed. Variance analyses were followed by adaptability and stability analyses. The Eberhart & Russel methodology recommended the genotype BRS 511 for its showing highly predictable behavior and good response to environmental variations under both specific or general conditions regarding all characteristics that were evaluated. It also recommended the genotypes CMSXS644, CMSXS647 and Sugargraze for green mass production (PMVtn/ha), CMSXS629, CMSXS630, CMSXS646, CMSXS647, BRS 508, BRS509, e CV 198 for the variable TBH, and CMSXS629, CMSXS630, CMSXS643, CMSXS646, BRS 506, e BRS509 for the SST contents. The bisegmented regression proposed by Cruz, Torres & Vencovsky only characterized the genotypes concerning their adaptability under specific conditions in favorable environments or their adaptability in general, and concerning their stability as stable. Yet, it has not identified recommendable genotypes.

## 1- INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor de transportes é responsável por cerca de 25% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, relacionadas com o consumo de combustíveis fósseis, e é igualmente responsável pelo consumo de cerca de 50% do petróleo (AIE, 2010). Num contexto de previsão do aumento do custo de extração do petróleo e do aumento da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, a utilização dos biocombustíveis e do bioetanol em particular, passa a ser uma alternativa a utilização intensiva dos combustíveis fósseis, minimizando-se simultaneamente, a dependência do petróleo e as emissões do CO<sub>2</sub>.

O Brasil, país abundante em biodiversidade, apresenta diversas alternativas energéticas renováveis e possui grandes extensões de terras agricultáveis com clima propício. O bioetanol é o biocombustível que é produzido em maior quantidade no mundo, impulsionado pela criação de veículos flex-fuel e do seu preço comparado ao da gasolina. O seu papel como uma alternativa aos combustíveis fósseis assume uma importância cada vez maior no setor dos transportes. Em processos industriais atualmente implementados, o bioetanol é produzido a partir de culturas agrícolas ricas em sacarose, tal como efetuado em grande escala no Brasil, utilizando a cana-de-açúcar, ou utilizando culturas ricas em amido, como por exemplo, nos Estados Unidos da América, com o milho (AIE, 2008b).

Além da cana-de-açúcar ser considerada a principal cultura para esta finalidade, outras espécies também se apresentam viáveis nesse processo, entre elas, destaca-se o sorgo, que também é uma planta C<sub>4</sub>, apresentando alta taxa de eficiência fotossintética, constituindo-se em um dos mais eficientes produtores de energia acumulada da fotossíntese para produzir energia concentrada sob bases renováveis. É neste contexto que o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) apresenta-se como alternativa promissora para complementação no fornecimento de matéria-prima para indústria sucroalcooleira. Sendo uma cultura energética, apresenta potencialidades interessantes, uma vez que possui na sua constituição três grupos de materiais susceptíveis de serem fermentados em bioetanol. O alto teor de açúcares (no caule) diretamente fermentáveis é comparado à cana-de-açúcar, com o benefício de obter esse rendimento em período mais curto, o amido (nos grãos), e os materiais lenho-celulósicos (utilização do bagaço resultante após extração do açúcar) como fonte de energia para industrialização ou forragem para animais, contribuindo para um balanço energético favorável, utilizando génotipos que variam o ciclo de 100 a 120 dias. Além disso, como cultura, o sorgo

sacarino apresenta uma gama alargada de requisitos que o podem tornar produtivo em climas temperados e mediterrânicos por ser uma cultura totalmente mecanizável, com certa tolerância a fatores bióticos (doenças e pragas) e abióticos (seca, baixa fertilidade, acidez no solo e tolerância ao Al). O sorgo sacarino pode ser implantado e colhido durante a entressafra da cana-de-açúcar, beneficiando a indústria sucroalcooleira, que não ficaria sem matéria-prima para a produção de etanol nesse período.

A identificação de genótipos com alto potencial produtivo, associado a ampla adaptabilidade e estabilidade é o principal objetivo dos programas de melhoramento de híbridos de sorgo. Segundo (MARIOTTI et al., 1976), citado por (CRUZ e CARNEIRO 2006), a adaptabilidade é a capacidade dos genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto que a estabilidade refere-se à capacidade dos mesmos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. A interação genótipos x ambientes é a resposta diferenciada dos genótipos perante os ambientes, especialmente quando a classificação muda de um ambiente para outro. A identificação da interação é importante para determinar os objetivos dos programas de melhoramento, como a escolha dos genitores, identificação das condições ideais de teste e recomendação por região de adaptação dos genótipos (YAN et al., 2000).

Os programas de melhoramento de sorgo sacarino no Brasil para produção de genótipos trabalham com intensa avaliação de experimentos em vários ambientes e anos. No entanto, os altos custos das atividades desenvolvidas em pesquisa requerem a racionalização de recursos, como redução do número de ambientes para experimentação e seleção adequada da metodologia na análise de dados. Para maximizar a seleção, existem metodologias que proporcionam melhor interpretação dos efeitos genéticos e ambientais, podendo estes serem separados, e a seleção ser realizada com base nos efeitos genéticos. Nesse contexto, destacam-se a metodologia de Eberhart e Russel e a metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky. Praticamente todas buscam quantificar o comportamento dos genótipos quanto a sua adaptabilidade e estabilidade nos diversos ambientes. Além disso, busca-se quantificar as diferenças entre os ambientes e assim selecionar os mais representativos, com melhor potencial para seleção e consequentemente, proporcionando os maiores ganhos genéticos.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar a adaptabilidade e estabilidade com base nos efeitos da interação genótipos x ambientes para a seleção dos melhores genótipos de Sorgo Sacarino visando a produção de etanol, na entressafra da cana de açúcar em diferentes regiões do Brasil.

## 2- REVISÃO DE LITERATURA

A África Oriental é o centro de origem do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), muito embora tenha sido constatada grande variabilidade de sorgos cultivados e selvagens também no Noroeste da África. Prevalece, no entanto, a tese de que o sorgo teve origem na Abissínia, nome antigo da atual Etiópia, centro de dispersão de muitas outras espécies de interesse econômico, como o milheto (*Pennisetum glaucum*), mamona (*Ricinus communis*) e café (*Coffea arábica* e *Coffea robusta*) (DOGGETT, H.1970). Diferentes autores divergem sobre o exato momento em que ocorreu a domesticação do sorgo pelo homem (WET, et al., 1967). Evidências arqueológicas indicam que o início do cultivo do sorgo se deu na pré-história, 5 a 7 mil anos atrás (WALL, et al., 1970). Outros registros sugerem que a prática de domesticação de cereais começou no Egito ao redor do ano 3000 A.C. (DOGGETT, H. 1965). Na América, as primeiras introduções ocorreram no Caribe trazido pelos escravos africanos e alcançou os EUA por volta da metade do século XIX. O sorgo chegou ao Brasil provavelmente da mesma forma como nas Américas Central e do Norte, e o Nordeste pode ter sido uma das portas de entrada. Nomes comuns atribuídos ao sorgo pelos sertanejos como "Milho d' Angola" e "Milho da Guiné" sugerem que as primeiras cultivares foram introduzidas pelos africanos, porém só teve cultivos em grande escala a partir de 1950. É um cereal com elevada importância no mundo, sendo um produto agrícola de grande importância no Brasil, pelo seu potencial de produção de grão, vassoura, forragem e álcool, e de sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas, além de ser uma cultura mecanizável da semeadura à colheita (RIBAS, 2003).

No mercado de sementes da maioria dos países produtores, inclusive o Brasil, são reconhecidos cinco tipos agrônômicos e de consagrada nomenclatura comercial. A seguir uma breve descrição de cada tipo: Sorgo Sacarino: apresenta diversas vantagens, rapidez no ciclo (quatro meses); colmos com açúcares diretamente fermentáveis; utilização do bagaço como fonte de energia para industrialização ou forragem para animais, contribuindo para um balanço energético favorável; fornecimento de matéria prima para produção de etanol durante a entressafra da cana, ampliando o período de moagem das usinas; Sorgo Granífero: Genótipos de porte baixo, de 1,00 até 1,50m, aptos a colheita mecanizada dos grãos Inflorescências ou panículas de formas variadas, comumente cilíndricas ou elípticas, semi compactas ou semi abertas, raramente muito compactas ou muito abertas; Sorgo Forrageiro para silagem: Genótipos de porte alto: de 2,00 a 3,00 m da base da planta até o ápice da panícula; Conhecidos no Brasil como

“sorgo silageiro”; Colmos suculentos ou secos, doces ou insípidos; grãos pequenos, alto potencial de produção de matéria seca; Sorgo-vassoura: para confecção de vassouras e artesanatos; Sorgo de corte e pastejo: Cruzamento de “Sorgo Granífero” (*Sorghum bicolor*) x “Capim Sudão” (*Sorghum sudanense*); Plantas de folhas estreitas, colmos finos e suculentos, panículas ralas, baixa produção de grãos; Rápido crescimento, rebrota fácil e perfilhamento abundante.

Em termos globais, o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Os grãos são amplamente utilizados na alimentação humana em países da África e Ásia, sendo no ocidente utilizado na alimentação animal e na elaboração de xarope, álcool e açúcar. No caso do sorgo granífero a área total cultivada é cerca de 37 milhões de ha, e deste total a Ásia e a África participam com 82%. No entanto, a maior produção e produtividade estão na América do Norte, USA e México produzem juntos 34% da produção mundial. Na América do Sul, Argentina é o maior produtor, seguido pelo Brasil (SANTOS et al., 2005). No Brasil seu cultivo cresce tanto em área plantada quanto em produtividade, Rio Grande do Sul e Minas Gerais se destacam no cultivo de sorgos forrageiros enquanto o Centro Oeste é a principal região produtora de sorgo granífero. A estimativa de produção de sorgo em 2013 foi de 1.934.964 toneladas, indicando uma redução de 5,2% em relação a 2012. A queda na estimativa se deve à redução de 14,6% da produção do Centro-Oeste, que responde por 63,5% da produção nacional, mais precisamente no estado de Goiás, que responde por mais de 54% da produção regional ou 34,5% da produção nacional. (IBGE, 2009).

Recentemente nos Estados Unidos, na Argentina e também no Brasil, os sorgos de colmo suculentos e ricos em açúcares voltaram a despertar grande interesse da indústria alcooleira. Acredita-se que esses sorgos terão grande importância, em futuro próximo, na composição da matriz energética de países como o Brasil.

## **2.1- Sorgo Sacarino**

A capacidade da planta do sorgo sacarino de adaptar-se a uma ampla gama de ambientes, principalmente, sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria de outros cereais, tornou a sua cultura popular em muitas partes do mundo (WILLIAMS et al., 1999). Pode ser cultivada tanto em zonas temperadas como em tropicais, possui alta produção de massa verde (28,6 a 137,7 ton/ha), altos rendimentos de etanol (3.00 l ha<sup>-1</sup>) com bagaço utilizável como fonte de energia (vapor para

industrialização e cogeração de eletricidade) e massa seca (8,9 a 39,5 ton/ha), quando comparada com a do milho (29,4 a 59,4 ton/ha de massa verde e 11,4 a 23 ton/ha de massa seca); é uma das plantas mais eficientes fotossinteticamente (usa o ciclo C4, a forma mais eficiente de fotossíntese, encontradas somente nas culturas de cana e milho); possui ciclo vegetativo curto (alguns híbridos atingem a maturidade em menos de 75 dias e podem fornecer três colheitas por ano), sendo adequado para rotação de culturas, (PAZIANI e DUARTE, 2006; SANTOS, 2007; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

Apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, rico em fermentescíveis, e pode servir para a produção de etanol na mesma indústria utilizada pela cana-de-açúcar. Trata-se de uma espécie de ciclo rápido (quatro meses), cultura totalmente mecanizável (plantio por sementes, tratos culturais e colheita), observa-se resultados de 50 a 77 litros de etanol por tonelada de massa verde, com ATR (açúcares totais recuperáveis) variando de 80 a 127 kg por tonelada de massa verde, utilizando-se a mesma tecnologia utilizada nas usinas, homologada pelo Consecana. Ainda verifica-se que é possível ajustar a mesma estrutura para colheita e processamento da biomassa (moagem, fermentação e destilação) utilizada para cana-de-açúcar (DURÃES, 2011). Inicialmente, o sorgo sacarino tem sido recomendado para cultivo em áreas de reforma de canaviais. O semeio é recomendado, para a maioria das áreas produtoras de cana (regiões Centro-Oeste e Sudeste) entre os meses de novembro e dezembro e a colheita é programada para março e abril, justamente quando a cana ainda não apresenta elevados valores de Brix, inviabilizando seu corte. Existem pesquisas em andamento, a fim de esclarecer adequadamente as exigências nutricionais do sorgo sacarino, contudo, sabe-se que é uma espécie exigente, quando se pretende elevadas produtividades de biomassa. A população de plantas deve girar entre 10.000 e 140.000 plantas por hectare, contudo, o espaçamento entre linhas pode variar, conforme o equipamento de colheita que será utilizado. As pesquisas têm demonstrado maiores produtividades de caldo por área em menores espaçamentos. Contudo, dependendo da região produtora, existe o risco de acamamento, principalmente nos meses de janeiro e março, devido às tempestades com grandes ventanias, comuns nessa época. Lavouras muito adensadas e com crescimento vegetativo muito vigoroso são mais suscetíveis ao problema (MAY, 2011).

Além disso, seu cultivo tem mostrado bom desempenho como alternativa para produção de biomassa, proporcionando maior proteção do solo contra a erosão, maior quantidade de matéria orgânica disponível e melhor capacidade de retenção de água no solo, além de propiciar condições para uso do plantio direto [O Plantio Direto (SPD) é a

técnica de semeadura na qual a semente é colocada no solo não revolvido (sem prévia aração ou gradagem leve niveladora) usando semeadeiras especiais. Um pequeno sulco ou cova é aberto com profundidades e larguras suficientes para garantir a adequada cobertura e contato da semente com o solo] (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

### **2.1.1- Interesse do sorgo sacarino como cultura energética**

Durante os anos 90 do século XX, o seu cultivo foi considerado para efeitos de produção de energia, devido ao seu elevado conteúdo em açúcar, por se tratar de uma matéria-prima para a produção de bioetanol. A bioenergia está sendo utilizada como alternativa de combustível limpo em substituição às energias convencionais, usadas em larga escala na matriz energética mundial. Seu uso como fonte de energia renovável contribui para a redução da emissão de dióxido de carbono no ar atmosférico (LAOPAIBOON, 2012).

O Brasil apresenta-se com destaque no cenário mundial agrícola pela grande disponibilidade de áreas agricultáveis com ampla diversidade climática e exuberância de biodiversidade, além de possuir um quarto das reservas de água doce do planeta (OLIVEIRA e RAMALHO, 2006).

A iniciativa governamental através do Pró-Álcool incentivou órgãos de pesquisas e iniciativa privada em busca de alternativas para diminuir a importação de petróleo e minimizar as emissões de gases poluentes na atmosfera através do uso da cana-de-açúcar como matéria prima para a produção de etanol. Embora a cana-de-açúcar responda pelos maiores índices de produção de etanol no país, a demanda por combustíveis limpos tem despertado o interesse pela busca de novas alternativas de matéria prima para a produção de energia. Para WHITFIELD et al., (2012), além da cana-de-açúcar, a beterraba e o sorgo sacarino possuem grande potencial energético como fontes renováveis de energia, tal como se pode observar na Tabela 1.



**Tabela 1:** Comparação dos parâmetros de cultivo do sorgo sacarino com as principais culturas sacarinas, (ALMODARES e HADI, 2009).

Parâmetro da cultura	Cana-de-açúcar	Beterraba sacarina	Sorgo sacarino
Duração da cultura	Cerca de 12 meses	Cerca de 5-6 meses	Cerca de 4 meses
Estação de crescimento	Uma estação	Uma estação	Uma estação em regiões temperadas, duas ou três em regiões tropicais
Requisitos do solo	Solos arenosos; tolerância a alcalinos	Solos drenados	Solos drenados
Gestão da água	3.600 mm	1.800 mm	1.200 mm
Gestão da cultura	Requer boa gestão	Requer grandes quantidades de fertilizantes; requer gestão moderada	Requer pouco fertilizante; gestão fácil
Produção por ha	70-80 t	30-40 t	54-69 t
Conteúdo de açúcar com base no peso	10-12%	15-18%	7-12%
Produção de açúcar por ha	7-8 t	5-6 t	6-8 t
Produção de bioetanol a partir do suco	7000 l/ha	5000-6000 l/ha	3000 l/ha
Colheita	Manual/Mecanizada	Muito simples; normalmente manual	Muito simples; pode ser manual ou mecanizada

Muitos fatores, desde a produção de biomassa à composição da mesma, podem influenciar a relação custo-benefício da transformação do sorgo em energia utilizável. No entanto, o sorgo sacarino, além de fornecer o caldo da cana para a produção de biocombustíveis de 1ª geração que já se encontra industrialmente demonstrada e que nas últimas décadas a sua produção tem aumentado significativamente, é uma cultura a partir da qual se podem obter três fontes de açúcares, tal como outros materiais lenhocelulósicos para produção de biocombustíveis de 2ª geração, por conterem uma quantidade considerável de polímeros de glicídios e de lenhina. Os glicídios podem ser hidrolisados a açúcares fermentáveis, por ácidos ou enzimas, e posteriormente fermentado sem bioetanol.

O termo bioetanol, pode definir-se como sendo o etanol produzido a partir da biomassa, ou da fração biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível, ou ainda como combustíveis líquidos ou gasosos para o transporte, produzidos a partir da biomassa. A produção de bioetanol, a partir de processos industrialmente implementados, utiliza matérias-primas vegetais ricas em açúcares, como é o caso da

cana-de-açúcar ou da beterraba sacarina, ou a partir de culturas ricas em amido tal como o milho ou o trigo. Após a sua extração, estes glicídios são submetidos a um processo de fermentação (sendo necessário um processo prévio de hidrólise no caso do amido), produzindo-se bioetanol, resultante do metabolismo dos microrganismos envolvidos. O bioetanol produzido a partir de matérias-primas derivadas de culturas alimentares, como é o caso das culturas sacarinas e amiláceas, classificam-se de biocombustíveis de 1ª geração. Nesta classe inclui-se, igualmente, o biodiesel produzido a partir de culturas oleaginosas como, por exemplo, a soja. Muitas análises indicam que a produção e utilização de biocombustíveis de 1ª geração, ao longo do seu ciclo de vida, apresentam um benefício em termos de reduções das emissões de gases com efeito de estufa e também em termos do balanço energético, quando comparados com a produção e utilização de combustíveis fósseis (AIE, 2008a).

O etanol, também conhecido como álcool etílico, é um líquido inflamável e incolor, com um ponto de ebulição de 78,4 °C, ponto de fusão de -114,3 °C e massa volúmica de 0,79 g/cm. Com fórmula molecular de  $C_2H_5OH$ , o etanol contém, em peso, 52% de carbono, 13% de hidrogênio e 35% de oxigênio. Devido ao seu poder calorífico, o etanol tem uma longa história de utilização para aquecimento e iluminação, e, mais recentemente, tem sido utilizado em motores de combustão interna (GUBPTA e DEMIRBAS, 2010).

Devido ao seu elevado índice de octanas, o bioetanol é apropriado para se misturar com a gasolina, mas não é adequado a misturar-se com o gasóleo devido ao seu baixo índice de cetano e ao seu maior calor de vaporização, que impede a sua autoignição (GUPTA e DEMIRBAS, 2010). Quando comparado com a gasolina, o bioetanol tem um índice de octanas superior, limites de inflamabilidade mais alargados, velocidade de chama mais elevada e maior calor de vaporização. Estas propriedades permitem uma taxa de compressão mais elevada, tempos de combustão mais curtos, resultando em maior eficiência. O bioetanol é um combustível oxigenado, o que reduz a emissão de partículas e de óxidos de azoto, quando queimado. As suas desvantagens incluem uma densidade energética inferior à da gasolina, a corrosibilidade, dificuldade no arranque devido à sua baixa pressão de vapor, miscibilidade com a água, volatilidade e alguma toxicidade para os ecossistemas (GUPTA e DEMIRBAS, 2010).

### 2.1.2- Melhoramento Genético do Sorgo Sacarino

A composição genética atual das diversas culturas é o resultado da domesticação e melhoramento que elas foram submetidas durante os séculos. O melhoramento executado pelo homem primitivo resultava da simples procura de tipos mais adequados para satisfazer as suas necessidades.

O *Sorghum bicolor* é uma espécie autógama, e mostra pequena depressão por endogamia quando se utilizam métodos de melhoramento para obtenção de linhas puras, e apresenta pequena taxa de cruzamento natural, que varia conforme o genótipo e o ambiente de 2 a 10%.

O uso dos sistemas de incompatibilidade nas plantas, para a criação de variedades híbridas, e os cruzamentos interespecíficos, para a aquisição de novos genes, também têm sido efetivos em algumas espécies. Já nos últimos anos surgiu nova e altamente promissora ferramenta, a biologia molecular, como exemplo, a esterilidade masculina tem sido empregada, pois facilita e barateia o trabalho de cruzamentos para a criação de híbridos de culturas alógamas e, no caso de autógamas, abre perspectivas para o uso prático da heterose, por intermédio de variedades híbridas (DUVICK,1986).

NAN et al., (1994) com o intuito de estudar o controle genético da presença de caldo no colmo e conteúdo de açúcar no caldo foram realizadas hibridações entre genótipos de sorgo granífero de colmo seco e baixo teor de açúcar com o genótipo Roma de sorgo sacarino. As plantas F<sub>1</sub> apresentaram colmo seco e a segregação observada na F<sub>2</sub> foi 3 plantas com colmo seco para 1 com caldo (231:69), seguindo o padrão de herança monogênica com dominância do alelo que condiciona ausência de caldo no colmo. As 69 plantas F<sub>2</sub> que apresentaram caldo no colmo foram fenotipadas para o conteúdo de açúcar. Observou-se uma segregação contínua do teor de açúcar, com Brix variando de 6° a 18,5°, indicando que esta característica é controlada por muitos genes, seguindo o padrão de herança quantitativa.

SANKARAPANDIAN et al., (1994) destacam o papel preponderante de genes não-aditivos de ação para a altura da planta, colmo, sólidos solúveis totais e rendimento de caldo, o que indica a importância de utilização de heterose para melhoria dessas características. A magnitude substancial de heterose padrão para todos os caracteres relacionados à produção de etanol apresentados pelo autor é: até 46,9% para altura da planta, até 5,3% para colmo, até 7,4% para sólidos solúveis totais (%) e até 122,6% para rendimento de caldo.

O tipo de cultivar demandado e sua finalidade determinam os objetivos do melhoramento. No caso do sorgo sacarino devem ser considerados, além dos genes responsáveis pela altura da planta, e da produtividade de colmos, presença de caldo nos colmos e presença de açúcar no caldo; a resistência aos principais fatores limitantes da produção. Esses fatores incluem estresses bióticos, como doenças e pragas, e abióticos, principalmente seca, acamamento, toxidez de alumínio e baixo fósforo no solo. Constituindo fatores de grande importância para expansão da cultura (SANTOS et al., 2005).

Com base nos objetivos e nos recursos disponíveis, o melhorista deve selecionar o germoplasma-elite para o desenvolvimento da variedade e, provavelmente, outro germoplasma suplementar para ser utilizado como fonte de variabilidade adicional. A decisão de lançar uma nova variedade não é fácil, a situação mais comum é aquela em que o melhorista tem confiança na superioridade da linhagem em diversos aspectos, porém tem dúvidas em relação a outros (BORÉM e MIRANDA, 2013).

## **2.2. Variabilidade Genética e Estratégias de Melhoramento**

O progresso no melhoramento de plantas depende do grau de variabilidade genética de uma população e da sua utilização. Portanto o primeiro passo em um programa de melhoramento é o estudo da variabilidade, que no caso do sorgo apresenta seu potencial ampliado pelo uso da coleção mundial de germoplasma, aquisição de sementes de outros programas de melhoramento e de cruzamento entre linhagens selecionadas.

O efeito do sistema de acasalamento sobre a diversidade genética é um tema importante na evolução genética de plantas, pois o fluxo de genes desempenha um grande papel na estruturação da variabilidade genética dentro e entre as populações. Sistemas de compreensão das culturas de acasalamento e as suas conseqüências para o fluxo de genes pode contribuir para a base científica para a gestão de sistemas agrícolas, conservação de recursos genéticos e uso desses recursos em programas de melhoramento. Devido sua extensa diversidade genética, o sorgo pode ser melhorado para suas diferentes finalidades (ROONEY, 2004).

No sorgo sacarino, características como a altura da planta, teor de caldo, teor de brix e resistência ao acamamento, são importantes na discriminação dos genótipos promissores e, assim, podem ser úteis nos programas de melhoramento genético da cultura. Neste caso, é preciso conhecer os parâmetros genéticos relativos a essas

características e suas correlações, uma vez que o conhecimento da associação genética entre elas é de grande relevância, principalmente quando a seleção em uma característica apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade e, ou, apresenta problemas de medição e identificação (CRUZ et al., 2004).

Os avanços na pesquisa sobre a heterose de sorgo sacarino demonstram que os híbridos com caracteres favoráveis, tais como o porte da planta, elevado teor de brix e resistência ao acamamento podem ser criados por meio da seleção correta dos pais. Fora isso os híbridos proporcionam uma vantagem de rendimento de 20 a 60% de grãos (AXTELL et al., 1999).

O uso da vasta variabilidade do sorgo é um grande desafio no que se refere principalmente na escolha ou seleção das melhores combinações parentais possíveis, proporcionando o desenvolvimento de híbridos superiores. Diversos métodos têm sido propostos para escolha de populações em espécies autógamas e alógamas (BAENZIGER e PETERSON, 1992), dentre os quais se destacam os cruzamentos dialélicos.

A planta de sorgo pode ser trabalhada permitindo a ampliação e a facilitação do melhoramento, tal como o uso da macho esterilidade (populações de cruzamento ao acaso) e a macho esterilidade genético-citoplasmática (população de híbridos). A utilização de macho esterilidade genética e a colheita de sementes de plantas estéreis a cada geração possibilita a conversão de populações de fecundação cruzada, que podem ser melhoradas por alguns dos métodos de seleção recorrente, utilizados com sucesso na cultura do milho (FREDERIKSEN e SMITH, 2005). Outros métodos podem ser usados como é o caso da emasculação manual, método do saco plástico e uso de água quente.

Entre os métodos de melhoramento aplicáveis as espécies autógamas como é o caso do sorgo existem várias opções. Contudo, eles podem ser incluídos em três categorias: Introdução de genótipos, Seleção de linhas puras e hibridação (RAMALHO, 2003). Os métodos genealógicos e SSD são os mais usados para condução da população segregante com exceção de alguns programas de melhoramento onde o retrocruzamento tem sido aplicado para introdução de características desejáveis de herança simples.

No caso do sorgo, a utilização da macho esterilidade genética e a colheita de sementes das plantas estéreis a cada geração possibilitaram a conversão de população normalmente de autofecundação em populações de fecundação cruzada, que podem ser melhoradas por alguns métodos de seleção recorrente utilizados com sucesso em cultura do milho (DOGGET e EBERHART, 1968; GARDNER, 1972). O sistema de macho-esterilidade utilizada na síntese de populações de sorgo envolve o gene *ms<sub>3</sub>*, da

variedade Coes de herança simples, recessivo, que produz panículas macho-estéreis quando em homozigose, e panículas macho-férteis em condições de heterozigotas ou homozigotas para alelo dominante. O desenvolvimento de uma população envolve três passos: 1) seleção dos materiais genéticos que serão incorporados; 2) incorporação de um gene de macho-esterilidade genética; 3) inter cruzamento e cruzamento ao acaso entre linhagens escolhidas para compor a população.

Os híbridos de sorgo são produzidos pelo cruzamento entre linhagem macho-estéril e uma linhagem fértil polinizadora. A linhagem macho-estéril, denominada A<sub>1</sub>, é produzida pelo cruzamento de plantas macho-estéril com pólen de uma linhagem denominada mantenedora (B). As sementes produzidas pelo cruzamento entre linhagens A e B resultarão em plantas A (macho-estéreis), isso é a linhagem B não restaura sobre a linhagem A. As linhagens A e B são isogênicas, porém diferentes na fertilidade do pólen (FREDERIKSEN e SMITH, 2000).

As populações de sorgo têm sido desenvolvidas utilizando-se somente linhagens B (mantenedoras para linhagens macho-estéreis na produção de híbridos), somente linhagens R (restauradoras de fertilidade) ou uma mistura de linhagens B e R. Sintetizam-se populações com linhagens B ou com linhagens R pela facilidade de se extraírem linhagens B e R sem a interferência dos genes Rf nas primeiras e dos genes rf nas segundas (GARDNER, 1972; ROSS, 1973; SCHAFFERT e TREVISAN, 1979).

As plantas férteis de cada cruzamento são autofecundadas e as sementes F<sub>2</sub> são utilizadas para um retrocruzamento. As plantas macho-estéreis são identificadas durante o florescimento, e igual quantidade de sementes de cada uma é novamente misturada para a segunda geração de síntese. Este mesmo procedimento é utilizado na terceira geração de síntese quando a proporção de plantas férteis e estéreis se aproxima de 1:1. A manutenção da população é feita conforme o mesmo procedimento utilizado para a segunda e terceira geração de síntese (ROSS, 1973; NATH, 1982).

No Brasil a Embrapa Milho e Sorgo vem desenvolvendo trabalhos de pesquisa visando à introdução, à adaptação e ao desenvolvimento de genótipos, principalmente de sorgo sacarino com alto potencial de rendimento e tolerância a condições de estresses bióticos e abióticos. Esses trabalhos têm possibilitado a obtenção e o lançamento de genótipos com valores agregados que permitem a melhoria do desempenho da cultura nas condições predominantes de cultivo das regiões produtoras (EMBRAPA, 2009).

### **2.3. Interação Genótipos x Ambientes**

No melhoramento de plantas, a produtividade de grãos é um caractere quantitativo, associado ao controle de muitos genes, sendo altamente influenciado pelo ambiente em que o genótipo é cultivado. Desta forma, a interação genótipos x ambientes é o principal complicador na seleção e recomendação de cultivares para grandes regiões geográficas. Por esta razão, em um programa de melhoramento, os novos genótipos são plantados em vários ambientes, em diferentes condições de clima, fertilidade de solo e em diferentes safras (BECHER e LÉON, 1988; ACCIARESI e CHIDICHIMO, 1999). Estes ensaios constituem as chamadas redes de avaliação de genótipos.

O fator ambiente para o melhoramento genético pode ser definido como uma combinação de variações não genéticas que influenciam as respostas fenotípicas do genótipo, podendo ser desde o ambiente onde o genótipo é cultivado, as tecnologias de cultivo como adubação e espaçamento, fatores climáticos como precipitação, temperatura e luminosidade e toda biodiversidade de insetos e patógenos a que as plantas podem estar expostas. Para estudos de estabilidade fenotípica, a combinação “ambiente x ano” representando um ambiente é uma das mais utilizadas (ZOBEL et al., 1988). Assim, genótipos avaliados em diferentes ambientes podem apresentar comportamento diferenciado frente às condições ambientais distintas, caracterizando a interação entre genótipos e ambientes (BERNARDO, 2002; CRUZ e CARNEIRO, 2006).

Os ambientes podem ser classificados em dois grupos denominados de micro e macroambientes. Os microambientes estão relacionados a fatores externos (erros estocásticos ou aleatórios) ou internos (acidentes) de um organismo, geralmente, não controláveis (WU e MALLEY, 1998). Os macroambientes podem ser controláveis (níveis de fertilidade do solo) e não-controláveis (ambientes, anos agrícolas, e estações ou épocas do ano), que apresentam como principais componentes temperatura, pluviosidade e a luminosidade (KEARSEY e POONI, 1998).

No início do programa de desenvolvimento de um novo cultivar, o melhorista necessita de ambientes que apresentam pouca interação, facilitando assim a seleção dos genótipos com os maiores valores genotípicos. A escolha dos ambientes deve ser realizada de modo a permitir o uso eficiente de recursos e maximizar as diferenças entre os genótipos (SILVA et al., 2004).

Os caracteres quantitativos, especialmente afetados pelo ambiente, apresentam frequentemente significância da interação (BERNARDO, 2002). Desse modo, se não houvesse interação, um dado genótipo poderia se adaptar a maioria dos ambientes de cultivo (ambientes, safras, condições de clima e solo), de maneira que um único ensaio poderia ser base para uma recomendação generalizada (FOX et al., 1997; DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

O valor fenotípico de um indivíduo, quando avaliado em um ambiente, é o resultado da ação do efeito genotípico sob a influência do meio (CRUZ e CARNEIRO, 2006). No entanto, ao avaliar o mesmo indivíduo em vários ambientes surge, frequentemente, um componente adicional que influencia o seu valor fenotípico, que é denominado interação entre os efeitos genótipos x ambientes. Para a detecção da interação é necessário que os genótipos sejam avaliados em dois ou mais ambientes, a avaliação em um único ambiente não permite que o componente da interação seja isolado, acarretando superestimativa da variância genética. Conseqüentemente, a herdabilidade também fica superestimada, comprometendo o ganho esperado com a seleção, o qual é diretamente proporcional à herdabilidade (TERASAWA JÚNIOR, et al., 2008). Neste contexto, a interação não deve ser considerada como um problema para o melhoramento de plantas, e sim uma oportunidade de identificar genótipos e ambientes superiores para diferentes condições, maximizando a interação e, conseqüentemente, a resposta positiva de um genótipo. Apenas a detecção da interação não é suficiente, deve-se também considerar a sua natureza (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

O desenvolvimento normal de uma planta depende de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar a intensidade da radiação solar (relacionado diretamente com a fotossíntese e, esta com o crescimento da planta), o fotoperíodo, a pluviosidade, a temperatura, a disponibilidade de água e os tratos culturais. Esses fatores abióticos podem influenciar diferentemente entre os ambientes e anos de cultivo, contribuindo para as interações G x A (CÂMARA, 1998). Dos fatores bióticos que contribuem em maior ou menor escala para a interação G x A, doenças e pragas se destacam por influenciar o comportamento diferencial dos genótipos de sorgo sacarino entre os ambientes. Efeitos de diversas doenças causadas por vírus sobre diferentes genótipos, são estudados por muitos autores no intuito de selecionar materiais resistentes. A interação pode ser simples quando não causa mudança na classificação dos genótipos entre ambientes ou complexa, quando altera a classificação. A interação simples indica a presença de genótipos adaptados a ampla faixa de ambientes, assim a recomendação



de genótipos pode ser feita de forma generalizada. A interação complexa indica a presença de materiais adaptados a ambientes particulares, trazendo complicações ao melhorista, uma vez que a recomendação é restrita a ambientes específicos (RAMALHO et al., 1993).

A interação relacionada à parte simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, enquanto a interação complexa, pela falta de correlação nos desempenhos médios dos genótipos entre ambientes (CRUZ e CASTOLDI, 1991; VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). Neste caso, a classificação entre os genótipos é alterada mediante variação do ambiente. Interações complexas têm grande importância no melhoramento, influenciando na eficiência de seleção e na precisão das recomendações de cultivo (BAKER, 1988; CROSSA e CORNELIUS, 1997).

O método mais comumente utilizado para avaliação da interação G x A é a análise de variância (ANOVA), por meio da análise conjunta dos experimentos. A estrutura dessa análise permite a estimação da interação G x A que estaria confundida com a variância devido aos genótipos na análise individual (por ambientes) (LAVORANTI, 2000).

O conhecimento da magnitude das interações G x A por meio da ANOVA é requerido para se obter estimativas eficientes dos efeitos genotípicos e se determinar o número de lotes e ambientes para incluir em futuros ensaios. Em programas de melhoramento a ANOVA pode ser utilizada para se estimar a herdabilidade e prever o ganho de um caráter sob seleção. A significância dessas interações deve ser interpretada como uma indicação de que existem genótipos adaptados especificamente a determinados ambientes, e outros que são menos influenciados pelas variações ambientais (adaptação geral) (CROSSA, 1990).

Os primeiros relatos de exploração da interação G x A significativa foram realizados por YATES e COCHRAN (1938). Esses autores desdobraram essa fonte de variação para cada genótipo, determinando uma regressão linear da produtividade em relação à média de todos eles em cada ambiente. As variações ambientais que podem contribuir para interação são classificadas em previsíveis e não previsíveis. No primeiro caso estão incluídos os fatores permanentes dos ambientes, como solo e clima, e aqueles em que o homem atua de forma direta, como época de plantio, tipo de adubação, métodos de colheita, etc. No segundo, estão aquelas que ocorrem com as flutuações climáticas inconsistentes, como precipitações, umidades relativas do ar, ou menos comuns, como geada e granizo, além da ocorrência de pragas e doenças (ALLARD e

BRADSHAW, 1964).

Uma perspectiva para o futuro, de fundamental importância para o melhoramento, segundo (CHAVES 2001), é o entendimento das bases genéticas e ambientais da interação G x A. Nesse sentido, alguns autores têm reportado que o mapeamento de locos que controlam caracteres quantitativos (Quantitative Trait Loci - QTL's) e sua interação com o ambiente (QTL's x A), pode ajudar nas verdadeiras causas e natureza da interação G x A relacionada a determinados grupos de ambientes. Nesse sentido, (KANG 1998), comenta que a identificação de QTL's mais estáveis em diferentes ambientes poderia ser utilizada em seleção assistida para a estabilidade fenotípica.

#### **2.4. Adaptabilidade e Estabilidade fenotípica**

Estudos da interação entre genótipos e ambientes não proporcionam informações minuciosas sobre o comportamento de genótipos frente às variações ambientais (HOOGERHEIDE, 2004). Faz-se necessário realizar estudos de adaptabilidade e estabilidade, pelos quais se torna possível a identificação de genótipos de comportamento previsível e que respondam às variações ambientais, em condições específicas ou amplas, possibilitando fazer recomendações de genótipos com bastante critério (CRUZ e REGAZZI, 2001).

A adaptação e a estabilidade embora sejam fenômenos relacionados, não devem ser interpretados de forma similar (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). O significado destes dois termos (adaptabilidade e estabilidade) se tornou um problema devido às diversas definições e interpretações dados por diferentes autores.

Lin et al., (1986) sugeriram três conceitos de estabilidade: Estabilidade do tipo 1, o genótipo será considerado estável se sua variância entre ambientes for pequena; Estabilidade do tipo 2, em que o genótipo será estável se sua resposta aos ambientes for paralela ao desempenho médio de todos os genótipos avaliados; e a estabilidade do tipo 3, será estável o genótipo que apresentar o quadrado médio do desvio da regressão baixo, próximo a zero, ou seja, alta confiabilidade na resposta estimada. Os três conceitos apresentados por (LIN et al., 1986) não levam em consideração as variações imprevisíveis do ambiente. Nesse sentido, (LIN e BINNS 1988) sugeriram a estabilidade do tipo 4, no qual o genótipo com maior estabilidade será aquele que apresentar menor quadrado médio da interação genótipos x ambientes, ou seja, indivíduos estáveis frente às variações imprevisíveis (RAMALHO et al. 1993).

A estabilidade do tipo 1, denominada por (BECKER 1981) “estabilidade no sentido biológico”, corresponde à cultivar que apresenta um desempenho constante com a variação do ambiente. Esse tipo de estabilidade não é agronomicamente desejável porque o genótipo não responde à melhoria do ambiente e, normalmente, está associado a uma menor produtividade. (CRUZ e REGAZZI 1994) relatam que as metodologias baseadas no conceito tipo 1, proposto por (LIN et al., 1986), não têm sido muito utilizadas, pois os genótipos que apresentam mínima variância entre ambientes são, em geral, pouco produtivos.

A estabilidade do tipo 2, também denominada “estabilidade no sentido agrônômico” por (BECKER 1981), acompanha o desempenho médio obtido nos ambientes. Essa estabilidade tem sido a preferida, pois permite identificar genótipos estáveis e com potencial de se manterem entre os melhores em todos os ambientes.

Na estabilidade do tipo 3, o genótipo é considerado estável quando o quadrado médio do desvio da regressão é pequeno.

Segundo (MARIOTTI et al.,1976), citado por (CRUZ e CARNEIRO 2006), a adaptabilidade é a capacidade dos genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto a estabilidade refere-se à capacidade dos mesmos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. Segundo CRUZ et al., (2012), essas definições são consideradas apropriadas por vários autores (BONATO, 1978; SANTOS, 1980; LEITE, 1988).

Os estudos de adaptabilidade e estabilidade contribuem amplamente no fornecimento de informações sobre como cada genótipo se comporta em relação às condições diferenciadas de cada ambiente, se apresentam comportamentos previsíveis e se são responsivos às variações ambientais. Atualmente, existe mais de uma dezena de métodos frequentemente utilizados no melhoramento de plantas para se avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica (CRUZ e CARNEIRO, 2006; CRUZ et al., 2012). A diferença entre eles está nos parâmetros adotados para sua avaliação, nos procedimentos biométricos empregados para avaliá-los, e na informação ou detalhamento da sua análise (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992, CRUZ e CARNEIRO, 2006). Alguns procedimentos conduzem a resultados similares, outros possuem propriedades estatísticas superiores e alguns permitem interpretações mais simples dos resultados.

Os procedimentos de análise da interação evoluíram da tradicional ANOVA conjunta de experimentos (PLAISTED e PETERSON, 1959), passando pelos métodos de estudo da estabilidade e adaptabilidade fenotípica baseando-se em: a) variância da

interação G x A (método tradicional); b) regressão linear simples; c) regressão linear bissegmentada; d) regressão quadrática; e) modelos não lineares; f) métodos não-paramétricos; g) métodos multivariados, como a análise de componentes principais (ACP), análise de agrupamentos, análise fatorial de correspondência e análise de coordenadas principais; e h) métodos que integram a análise comum de variância (método univariado) com a análise de componentes principais (método multivariado), como é o caso da análise AMMI (ROCHA, 2002).

No presente trabalho foram utilizados os métodos baseados em equações de regressão linear simples e bissegmentada, realçando que a regressão é um dos procedimentos mais utilizados no estudo da estabilidade. Neste caso, as médias, coeficiente de regressão e desvio em relação à reta ajustada são utilizados como estimativas da adaptabilidade e estabilidade do material genético estudado (CRUZ, 2006).

EBERHART e RUSSEL (1966) consideram como genótipo ideal aquele que apresenta alta produção média, coeficiente de regressão ( $\beta_{0i}$ ) igual à unidade e desvio da regressão ( $\sigma^2_{di}$ ) não significativo. No conceito usualmente utilizado para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade por esse método, os genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis são aqueles que apresentam  $\beta_i$  maior que 1 e os genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis apresentam  $\beta_i$  menor que 1. Os genótipos com estabilidade ou previsibilidade alta possuem  $\sigma^2_{di}$  igual a 0 e  $R^2$  próximo de 1, já os genótipos com estabilidade ou previsibilidade baixa possuem  $\sigma^2_{di}$  maior que 0 e  $R^2$  pequeno. Posteriormente, alguns pesquisadores propuseram a realização de duas análises de regressão para melhor explicar o comportamento dos genótipos, em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Dentre os métodos propostos, para avaliar o desempenho dos genótipos de forma diferenciada nos ambientes favoráveis e desfavoráveis foram o de VERMA, et al., (1978), SILVA e BARRETO (1986) e CRUZ et al., (1989).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em 8 ambientes abrangendo as regiões, sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e Centro-Oeste (Mato grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal) no ano agrícola 2013-2014, com semeadura de Novembro a Dezembro, que coincide com o período chuvoso na maior parte das regiões. (TABELA 2).

**TABELA 2.** Relação dos municípios onde foram realizados os ensaios para as avaliações agrônômicas e bioquímicas dos genótipos de sorgo sacarino com as respectivas coordenadas geográficas.

Ambientes	Latitude	Longitude	Altitude
Santa Vitória - MG	18° 50' 19" S	50° 07' 17" O	498 m
Sete Lagoas – MG	19° 27' 57" S	44° 14' 49" O	767 m
Lavras - MG	21° 14' 43" S	44° 59' 59" W	919m
Nova Porteirinha – MG	15° 47' 00" S	43° 18' 00" O	533 m
Piracicaba - SP	22° 43' 31" S	47° 38' 57" W	547 m
Sinop - MT	11° 51' 51" S	55° 30' 09" W	345m
Planaltina– DF	17° 35' 03" S	47° 42' 30" W	1.100m
Dourados - MS	22° 13' 16" S	54° 48' 20" W	430 m

Foram avaliados um total de 16 genótipos de sorgo sacarino, sendo 10 linhagens R(BRS 506; BRS 508; BRS509; BRS 511; CMSXS629; CMSXS630; CMSXS643; CMSXS644; CMSXS646; CMSXS647) pertencentes ao programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, e 6 híbridos, sendo dois (CV 198 e CV 568) pertencendo a Canavialis e quatro (Sugargraze; V82391; V82392; V82393) pertencendo a empresa de melhoramento Advanta.

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, com parcelas constituídas por quatro fileiras de 5m, e espaçamento entre linhas de 0,70m. O desbaste foi realizado entre 15 e 20 dias após a semeadura, deixando-se 8 plantas por metro linear de sulco. As duas fileiras centrais foram consideradas como parcela útil para avaliação das características morfoagronômicas e bioquímicas. O preparo do solo foi similar em todos os experimentos, consistindo de aração e sulcagem. O controle de pragas e plantas daninhas, quando necessário, foi realizado com aplicação de inseticidas e capinas manuais, respectivamente. Foram aplicado 400kg.ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16 no plantio e 200 kg.ha<sup>-1</sup> de uréia em cobertura.

### 3.1. Características avaliadas.

Foram avaliadas as seguintes características:

➤ Produção de Biomassa Verde - Determinado através da pesagem de todas as plantas de cada parcela, ausentando as panículas. Primeiro fez-se a correção de stand e o valor de kg por parcela foi transformado para tonelada por hectare.

Para determinação das características bioquímicas relacionadas à qualidade do caldo, amostras representativas dos colmos das plantas foram desintegradas em desfibrador e homogeneizadas. Em seguida, foram retiradas três sub-amostras de  $500 \pm 0,5$  g para extração do caldo em prensa hidráulica, com pressão mínima e constante de  $250 \text{ kgf/cm}^2$  sobre a amostra, durante o tempo de 1 minuto, segundo método descrito por TANIMOTO (1964). Os ambientes de Nova Porteirinha–MG, Sinop–MT e Planaltina- DF utilizaram moenda convencional para a extração do caldo apresentando menor rendimento. Após extração do caldo se realizou as seguintes determinações:

➤ Sólidos solúveis totais (°brix) – Foi determinado em caldo filtrado em papel de filtro qualitativo, a partir da 6ª gota do filtrado, em refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de  $0,1^\circ$  Brix, de acordo com método proposto pela AOAC (1990).

➤ Tonelada de brix por hectare (TBH) – Foi estimado a partir da multiplicação do (PMV x EXTRAÇÃO x BRIX).

### 3.2. Análises Estatísticas

Foram realizadas as análises de variâncias para cada característica por experimento. Após aceitas as pressuposições (RAMALHO et al., 2000), foram realizadas análises de variância individuais da safra para os caracteres avaliados. Para análise dos dados foram empregados o programa GENES (CRUZ, 2013)

O modelo estatístico adotado para a análise de variância na safra foi o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$$

Onde:

$Y_{ij}$ : é a observação do i-ésimo genótipo no bloco j;  $\mu$ : é o efeito fixo da média geral;  $g_i$ : é o efeito do genótipo i ( $i=1,2,\dots,16$ );  $b_j$ : é o efeito aleatório do bloco j ( $j=1,2,\dots,3$ );  $e_{ij}$ : é o erro experimental.

Após a aplicação do teste de homogeneidade, verificou-se que a relação entre o maior e o menor quadrado médio do erro foi superior a 7 para todas as variáveis

analisadas. Segundo PIMENTEL-GOMES (1990) se houver diferença entre os quadrados médios residuais, há diversos métodos a seguir. Primeiro, pode-se separar as amostras em grupos, de modo que as variâncias dentro de cada grupo sejam homogêneas, assim, a análise de variância poderá ser efetuada para cada grupo, em que tal não aconteça. Segundo, pode-se utilizar um método descrito em textos mais avançados de estatística, o qual contempla um procedimento bastante complicado para ponderar médias de acordo com suas variâncias. Por último, pode ser utilizado o método adaptado por COCHRAN (1954) em que consiste em fazer um ajuste nos números de graus de liberdade.

Com base nas alternativas sugeridas por Pimentel, utilizamos o método adaptado de COCHRAN (1954) onde os quadrados médios residuais da análise conjunta foram obtidos mediante os GLs ajustados de cada variável. Programa GENES (CRUZ, 2013).

Em seguida, se realizou a análise de variância conjunta onde o ambiente da semeadura foi considerado como ambiente.

O modelo estatístico adotado para a análise de variância conjunta entre ambientes foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + e_{ijk}$$

Onde:

$Y_{ijk}$ : é a observação do i-ésimo genótipo no bloco K do ambiente J;  $\mu$ : é o efeito fixo da média geral;  $G_i$ : é o efeito do genótipo fixo i ( $i = 1, 2, \dots, 16$ );  $B/A_{jk}$ : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente ( $k = 1, 2$  e  $3$ );  $A_j$ : é o efeito do ambiente j ( $j = 1, 2, \dots, 8$ );  $GA_{(ij)}$ : é o efeito da interação genótipo i com o ambiente j;  $\bar{e}_{i j (k)}$ : é o erro médio experimental.

### **3.3. Comparação de grupos de médias**

Foi utilizado o teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para comparação dos grupos de médias. Este procedimento foi realizado utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2013).

### **3.4. Metodologias para caracterização da adaptabilidade e estabilidade de 16 genótipos de sorgo sacarino**

Para maximizar a seleção, existem metodologias que proporcionam melhor interpretação dos efeitos genéticos e ambientais, podendo estes serem separados, e a seleção ser realizada com base nos efeitos genéticos. Nesse contexto, foram utilizados os seguintes métodos:

## 1 - Metodologia proposta por Eberhart e Russel

Esse método é baseado na análise de regressão linear e tem como parâmetros de adaptabilidade a produtividade média de cada genótipo ( $\beta_{0i}$ ) e o coeficiente de regressão linear ( $\beta_{1i}$ ) utilizado como padrão de resposta do genótipo aos diferentes ambientes, e a estabilidade é avaliada pela variância dos desvios de regressão ( $\sigma^2_{di}$ ) e ou pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Utilizou-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : produtividade média do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\beta_{0i}$ : média do genótipo  $i$  em todos os ambientes;

$\beta_{1i}$ : coeficiente de regressão linear do genótipo  $i$ ;

$I_j$ : índice ambiental, calculado pela diferença entre a média do ambiente e a média geral;

$\delta_{ij}$ : desvio de regressão do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\varepsilon_{ij}$ : erro experimental médio associado à observação  $Y_{ij}$ , considerado independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

O parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_{1i}$ ) foi estimado de acordo com a equação seguinte:

$$\hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_i I_j^2}$$

As estimativas para  $\beta_{1i}$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0: \beta_{1i} = 1$  e hipótese alternativa  $H_1: \beta_{1i} \neq 1$ , utilizando-se a estatística  $t$  que seguiu a equação:

$$t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{v}(\hat{\beta}_{1i})}}$$

O parâmetro de estabilidade ( $\sigma^2_{di}$ ) foi estimado de acordo com a equação seguinte:

$$\sigma^2_{di} = \frac{QMD_i - QMR}{r}$$

Em que:

$QMD_i$ : é o quadrado médio dos desvios de regressão do genótipo “ $i$ ”;

$QMR$ : é o quadrado médio do resíduo;



$r$  : é o número de repetições.

As estimativas para  $\sigma^2_{di}$  foram testadas segundo a hipótese  $\sigma^2_{di}H_0: = 0$

e  $H_1: \sigma^2_{di} \neq 0$ , utilizando-se o teste Filustrado na equação seguinte:

$$F = \frac{QMD_i}{QMR}$$

Segundo CRUZ et al., (2004), podem ocorrer genótipos com produtividades médias superiores que apresentem  $\sigma^2_{di}$  estatisticamente diferente de zero e pode ser necessária a seleção de alguns genótipos do grupo em que a estabilidade é baixa. Nesses casos, uma medida auxiliar de comparação entre genótipos é o coeficiente de determinação  $R^2_i$  cuja equação segue a baixo:

$$R^2_i = \frac{SQ(Regressão Linear)_i}{SQ(A/Gi)} \times 100$$

## 2- Metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky

Esta metodologia baseia-se na análise de regressão bissegmentada e tem como parâmetros de adaptabilidade a média ( $\beta_{0i}$ ), a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ( $\hat{\beta}_{1i}$ ) e aos ambientes favoráveis ( $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$ ). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelo desvio da regressão  $\hat{\sigma}^2_{\delta_i}$  de cada genótipo em função das variações ambientais.

dado pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}l_j + \beta_{2i}T(l_j) + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que

$Y_{ij}$ : média do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\beta_{0i}$ : média geral do genótipo  $i$ ;  $\beta_{1i}$ : coeficiente de regressão linear associado a variável  $l_j$ ;  $l_j$ : índice ambiental;  $\beta_{2i}$ : coeficiente de regressão linear associado à variável  $T(l_j)$ ;  $T(l_j) = 0$  se  $l_j < 0$ ;  $T(l_j) = l_j - l_+$  se  $l_j > 0$ , sendo  $l_+$  a média dos índices  $l_j$  positivos;  $\delta_{ij}$ : desvio da regressão linear;  $\epsilon_{ij}$ : erro médio experimental.

$\beta_{0i}$  é a máxima produtividade encontrada em todo o ensaio;  $\beta_{1i} = 0,5$  e  $\beta_{2i} = 1$  são os valores estabelecidos por CRUZ & CARNEIRO (2003), um dos quais reflete baixa resposta aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i} = 0,5$ ) e o outro, responsividade a condições favoráveis ( $\beta_{1g} + \beta_{2g} = 1,5$ ).

Os parâmetros de adaptabilidade foram estimados de acordo com as equações seguinte:

$$\hat{\beta}_{oi} = \bar{Y}_i$$

$$\hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} l_j - \sum_j Y_{ij} T(l_j)}{\sum_j l_j^2 - \sum_j T^2(l_j)}$$

$$\hat{\beta}_{2i} = \frac{\sum_j l_j^2 \sum_j Y_{ij} T(l_j) - \sum_j T^2(l_j) \sum_j Y_{ij} l_j}{\sum_j T^2(l_j) \left[ \sum_j l_j^2 - \sum_j T^2(l_j) \right]}$$

$$\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i} = \frac{\sum_j Y_{ij} T(l_j)}{\sum_j T^2(l_j)}$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de variância individual

Os resultados da análise de variância individual, média e coeficiente de variação para cada ambiente são apresentados na Tabela 3. Constatou-se que houve diferença significativa a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, quanto aos rendimentos de PMVtn/ha, TBH e SST, dos genótipos em todos os ambientes com exceção a Dourados–MG onde os rendimentos não foram significativo.

**TABELA 3** - Resumo da análise de variância individual referente aos rendimentos da produtividade de massa verde (PMVtn/ha), toneladas de brix por hectare (TBH) e sólidos solúveis totais (SST), de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

		Quadrados médios					
Variáveis	Ambientes	FV	Blocos	Genótipo	Resíduo	Média	CV
		GL	(B)	(G)	(R)	Geral	
			2	15	30		(%)
PMVtn/ha	Santa Vitória - MG		451,24	432,58**	75,46	58,47	14,86
	Sete Lagoas - MG		24,65	126,09*	53,48	57,78	12,66
	Lavras - MG		9,89	213,612*	89,29	76,11	12,42
	Nova Porteirinha - MG		108,80	84,04**	23,77	53,30	9,15
	Piracicaba - SP		13,79	380,19**	45,41	45,96	14,66
	Sinop - MT		683,08	143,97**	51,84	49,47	14,55
	Planaltina- DF		59,46	56,16**	4,04	38,76	5,19
	Dourados - MS		27,98	157,40 <sup>ns</sup>	117,03	65,76	16,45
TBH	Santa Vitória - MG		1,68	2,87**	1,00	4,65	21,45
	Sete Lagoas - MG		0,75	2,72**	0,84	5,92	15,51
	Lavras - MG		0,11	1,30*	0,60	4,95	15,69
	Nova Porteirinha - MG		1,34	1,56**	0,33	3,33	17,22
	Piracicaba - SP		0,20	3,74**	0,48	4,61	14,96
	Sinop - MT		2,44	4,04**	0,42	2,63	24,52
	Planaltina- DF		0,84	2,13**	0,06	3,49	7,08
	Dourados - MS		0,12	0,80 <sup>ns</sup>	0,57	4,10	18,44
SST	Santa Vitória - MG		14,48	17,11**	6,06	16,14	15,25
	Sete Lagoas - MG		2,50	10,26**	2,00	15,12	9,36
	Lavras - MG		2,88	7,11**	1,79	16,10	8,31
	Nova Porteirinha - MG		1,04	11,54**	3,18	15,94	11,19
	Piracicaba - SP		1,39	16,08**	1,16	16,99	6,34
	Sinop - MT		5,23	66,92**	1,64	13,55	9,46
	Planaltina- DF		0,42	14,82**	0,74	12,64	6,80
	Dourados - MS		0,84	4,83 <sup>ns</sup>	2,40	12,56	12,34

\*\*, \* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; <sup>ns</sup> Não significativo

Sendo uma medida de dispersão relativa, empregada para estimar a precisão de experimentos e representar o desvio-padrão expresso como porcentagem da média, o coeficiente de variação variou de 6,34% em Piracicaba – SP a 24,52% em Sinop – MT considerando as três variáveis em estudo.

Segundo PIMENTEL-GOMES (2000), tendo-se por base os coeficientes encontrados nos ensaios de campo pode-se classificar em baixos, quando inferiores a 10%, médios quando variarem de 10-20%, altos quando variarem de 20-30% e muito altos quando forem superiores a 30%. Esta classificação tem merecido inúmeras críticas de alguns pesquisadores, por ser muito abrangente, por não levar em consideração particularidades da cultura estudada, e, principalmente, por não fazer distinção entre a natureza da característica avaliada, mas é a mais utilizada nos dias de hoje.

Para a PMVtn/ha o CV variou de 5,19% em Planaltina- DF a 16,45% Dourados - MS, com uma oscilação da produtividade média de 38,76 tn/ha em Planaltina-DF a 76,11 tn/ha em Lavras–MG. Partindo da classificação feita por Pimentel-Gomes, verifica-se que os ambientes de Planaltina-DF e Nova Porteirinha–MG tiveram CV baixo e os demais ambientes apresentaram CVs médios por variarem de 10-20%, significando que houve boa precisão experimental para todos os ambientes.

O CV para toneladas de brix por hectare (TBH), teve uma variação de 7,08% em Planaltina- DF a 24,52% em Sinop–MT com um rendimento médio oscilando de 2,63t em Sinop–MT a 5,92t em Sete Lagoas–MG. Planaltina-DF foi o único ambiente com o CV baixo, já os demais ambientes apresentaram CVs médio com exceção a Santa Vitória–MG e Sinop–MT com CVs superiores a 20%, sendo considerados altos de acordo com a classificação referida acima por Pimentel-Gomes.

Para o teor de sólidos solúveis totais (SST) o CV oscilou de 6,34% em Piracicaba–SP a 15,25% em Santa Vitória – MG, concomitantemente os ambientes de Sinop–MT, Lavras –MG, Piracicaba–SP e Sete Lagoas–MG, tiveram os CVs a baixo de 10% sendo classificados como baixos. SOUZA, VANDER FILLIPE DE. (2011), utilizando os mesmos genótipos e variáveis também obteve o mesmo resultado para o ambiente de Sete Lagoas, com CV inferior a 10%.

Outros sim, os demais ambientes apresentaram os Cvs médios significando que houve boa condução e qualidade nos experimentos de todos os ambientes. Houve uma variação média de 12,56 °Brix em Dourados–MS a 16,99 °Brix em Piracicaba–SP. Para os ambientes com maiores médias de produtividade tais como; Lavras–MG, Sete Lagoas–MG, Piracicaba–SP e os demais (tabela 3), apresentaram-se como os mais favoráveis.

### **Análise de variância conjunta**

Antes de se realizar a análise conjunta, a partir dos resultados das análises individuais foi realizado o teste de homogeneidade de variâncias para todas as variáveis em estudo, e constatou-se que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual não foi inferior a relação aproximada de 7:1 Logo, o F-máximo foi significativo rejeitando a hipótese de nulidade para as três variáveis. Com base nas alternativas sugeridas por Pimentel Gomes, utilizou-se o método adaptado de COCHRAN (1954) onde os quadrados médios residuais da análise conjunta foram obtidos mediante os GLs ajustados de cada variável (Tabelas 4,5 e 6).

**TABELA 4** - Resumo da análise de variância conjunta referente aos rendimentos da produtividade de massa verde (PMVtn/ha), de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

F. DE VARIAÇÃO	GL	QM	F
Blocos/Ambientes	16	172,23	-
Ambientes (A)	7	6556,59	38,06**
Genótipos (G)	15	367,84	1,62 <sup>ns</sup>
G x A	81	227,08	2,94**
Resíduo	179	77,15	
Média (tn/ha)	55,70		
CV%	15,77		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo

**TABELA 5** - Resumo da análise de variância conjunta referente a variável toneladas de brix por hectare (TBH) de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

F. DE VARIAÇÃO	GL	QM	F
Blocos/Ambientes	16	0,80	-
Ambientes (A)	7	52,33	64,64**
Genótipos (G)	15	6,17	2,72**
G x A	86	2,27	3,36**
Resíduo	191	0,68	
Média (tn/ha)	4,21		
CV%	19,51		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F;

**TABELA 6** - Resumo da análise de variância conjunta referente ao teor de sólidos solúveis totais (SST) de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

F. DE VARIAÇÃO	GL	QM	F
Blocos/Ambientes	16	3,47	-
Ambientes (A)	7	143,12	41,22**
Genótipos (G)	15	81,14	6,16**
G x A	77	13,16	3,88**
Resíduo	168	3,39	
Média (tn/ha)	14,88		
CV%	12,37		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F;

O coeficiente de variação da análise conjunta considerando as três variáveis em estudo oscilou de 12,37% para SST a 19,51% para TBH, indicando boa precisão. A Fonte de Variação Genótipos (G) não foi significativa somente para a PMVtn/ha, indicando que não existem diferenças significativas entre as médias dos genótipos nos ambientes, e para as variáveis TBH e SST as médias dos genótipos diferem entre si nos ambientes. No entanto, a fonte de variação Genótipos x Ambientes se mostrou significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, indicando a existência de diferenças significativas entre os genótipos dentro de cada ambiente.

#### **4.1- Produtividade e comparação de grupos de médias**

Foram detectadas diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ), na comparação entre os grupos de médias dos 16 genótipos em 6 ambientes, para a produção de massa verde e em 5 ambientes tanto para toneladas de brix por hectare (TBH) quanto para sólidos solúveis totais (SST). (Tabelas 7, 8 e 9).

Comparando todos os genótipos e ambientes em simultâneo, verifica-se que para a PMVtn/ha a produtividade variou de 30,94 tn/ha no genótipo V82393 em Piracicaba-SP a 77,04 tn/ha no genótipo V82392 em Dourados-MS. Para TBH houve uma variação de 0,816t no genótipo V82391 em Sinop-MT a 7,26t no genótipo BRS 506 em Santa Vitória-MG, e para o teor de SST variou de 5,73 °brix no genótipo V82391 em Sinop - MT a 21,13 °brix no genótipo BRS 508 em Sinop - MT.

Em Santa Vitória-MG, identificaram-se três grupos para as variáveis PMVtn/ha e TBH, e para a variável SST identificou-se dois grupos. Neste ambiente, os genótipos V82393 e CMSXS630 apresentaram o melhor e o pior desempenho quanto a produção de massa verde. Para TBH, o genótipo V82393 teve um desempenho médio e a

CMSXS630 manteve o último grupo da classificação, porém, para SST, o genótipo CMSXS630 apresentou um desempenho alto e o híbrido V82393 apresentou desempenho médio.

Não houve diferenças significativas entre os grupos de médias dos genótipos nos ambientes de Nova Porteirinha-MG para as variáveis (PMVtn/ha e SST) e em Dourados-MS para as variáveis (TBH e SST). O híbrido CV568, destacou-se como o mais produtivo (PMV - 65,14tn/ha) em Nova Porterinha-MG porém, com o TBH baixo e SST médio. Em Planaltina-DF, foi o BRS 511 com PMV 45,71tn/ha, maior TBH e com SST a baixo da média. Nos demais ambientes identificaram-se dois grupos de produtividade.

É importante realçar que os resultados verificados nas (Tabelas 7,8 e 9) mostraram que os genótipos com maiores médias de produção de massa verde (PMVtn/ha) não mantiveram a mesma performance para as variáveis toneladas de brix por hectare (TBH) e sólidos solúveis totais (SST) dentro e entre ambientes.

**Tabela7**–Grupos de médias de produtividade de massa verde (PMV tn/ha) de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

Cultivares	Ambientes								Média
	S.Vitória - MG	S. Lagoas - MG	Lavras - MG	Nova. Port. - mg	Piracicaba - SP	Sinop - MT	Planaltina- DF	Dourados - MS	
CMSXS629	52,00 B c	49,49 B b	62,12 A b	54,72 B a	44,29 B b	42,25 B b	37,27 B a	73,31 A a	51,93
CMSXS630	47,25 B c	50,99 B b	92,19 A a	57,78 B a	37,66 C b	53,31 B a	39,31 C a	48,89 B b	53,42
CMSXS643	47,57 C c	63,35 B a	88,56 A a	54,96 B a	33,56 C b	57,01 B a	41,32 C a	61,95 B b	56,04
CMSXS644	52,75 B c	59,97 B a	76,67 A b	46,67 B a	52,52 B a	57,18 B a	39,64 B a	71,81 A a	57,15
CMSXS646	55,54 A c	57,20 A a	67,34 A b	51,64 A a	41,40 B b	51,93 A a	40,09 B a	55,46 A b	52,58
CMSXS647	54,37 B c	67,89 A a	75,73 A b	54,25 B a	48,33 B a	56,69 B a	40,16 B a	70,91 A a	58,54
BRS 506	51,40 C c	67,15 B a	85,72 A a	48,57 C a	53,16 C a	43,26 C b	45,04 C a	71,00 B a	58,16
BRS 508	47,38 B c	60,50 A a	70,83 A b	49,70 B a	41,48 B b	53,13 B a	38,98 B a	62,46 A b	53,06
BRS509	52,88 B c	59,21 B a	86,09 A a	56,80 B a	31,84 C b	44,36 C b	35,26 C a	63,36 B b	53,73
BRS 511	60,22 B c	61,64 B a	75,38 A b	56,02 B a	41,27 C b	56,62 B a	45,71 C a	59,98 B b	57,1
CV 198	76,67 A b	56,34 B a	70,34 A b	61,13 B a	59,85 B a	44,62 C b	35,11 C a	72,45 A a	59,56
CV 568	89,78 A a	61,54 C a	74,84 B b	65,14 C a	64,48 C a	59,91 C a	43,70 D a	64,68 C b	65,51
Sugargraze	62,87 A c	61,27 A a	78,30 A b	49,48 B a	64,85 A a	46,68 B b	40,94 B a	68,78 A a	59,14
V82391	49,57 B c	50,85 B b	75,61 A b	46,59 B a	54,63 B a	39,05 C b	30,93 C a	65,68 A b	51,61
V82392	63,65 A c	51,52 B b	72,23 A b	51,25 B a	35,03 C b	40,44 C b	31,71 C a	77,04 A a	52,86
V82393	71,67 A b	45,55 B b	65,81 A b	48,06 B a	30,94 C b	45,11 B b	35,06 C a	64,41 A b	50,83
<b>Média</b>	58,47	57,78	76,11	53,3	45,96	49,47	38,76	65,76	55,7

Grupos de médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.



**Tabela8**–Grupos de médias da variável toneladas de brix por hectare (TBH) de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

Cultivares	Ambientes								Média
	S.Vitória - MG	S. Lagoas - MG	Lavras - MG	Nova. Port. - MG	Piracicaba - SP	Sinop - MT	Planaltina- DF	Dourados - MS	
CMSXS629	3,74 B c	5,95 A b	4,38 A a	4,61 A a	5,06 A a	2,52 B b	3,89 B a	5,22 A a	4,42
CMSXS630	4,40 B c	5,36 A b	6,22 A a	3,49 B a	4,00 B b	3,70 B a	3,96 B a	3,43 B a	4,32
CMSXS643	4,25 B c	7,13 A a	5,89 A a	2,98 B a	3,38 B b	4,30 B a	4,32 B a	3,95 B a	4,53
CMSXS644	3,84 B c	5,63 A b	4,70 A a	2,67 B a	4,79 A a	2,40 B b	3,57 B a	4,39 A a	4,00
CMSXS646	5,56 A b	6,79 A a	4,75 B a	3,93 B a	4,75 B a	3,87 B a	3,98 B a	3,81 B a	4,68
CMSXS647	4,80 B c	6,63 A a	4,74 B a	4,04 B a	5,60 A a	3,68 B a	3,37 B a	3,71 B a	4,57
BRS 506	4,44 B c	7,27 A a	5,58 A a	2,31 C a	5,95 A a	2,18 C b	4,35 B a	4,51 B a	4,57
BRS 508	3,37 B c	6,53 A a	4,89 B a	3,28 B a	4,34 B a	3,68 B a	4,03 B a	4,51 B a	4,33
BRS509	5,25 A b	6,49 A a	5,85 A a	3,55 B a	3,40 B b	2,81 B a	3,48 B a	3,91 B a	4,34
BRS 511	5,20 B b	6,96 A a	5,15 B a	4,27 B a	4,49 B a	3,95 B a	4,67 B a	4,02 B a	4,84
CV 198	4,51 A c	5,66 A b	4,87 A a	3,64 B a	6,21 A a	2,14 B b	3,14 B a	4,58 A a	4,34
CV 568	7,23 A a	5,16 B b	4,56 C a	3,95 C a	5,30 B a	2,76 C a	3,51 C a	3,29 C a	4,47
Sugargraze	4,08 A c	5,67 A b	5,03 A a	3,03 B a	6,22 A a	1,21 C b	3,63 B a	4,46 A a	4,17
V82391	3,39 A c	4,80 A b	4,41 A a	2,39 B a	4,68 A a	0,82 B b	2,19 B b	3,87 A a	3,32
V82392	4,86 A c	4,48 A b	4,50 A a	2,36 B a	3,16 A b	0,99 B b	1,72 B b	4,50 A a	3,32
V82393	5,57 A b	4,24 B b	3,67 B a	2,74 C a	2,49 C b	1,13 C b	2,09 C b	3,47 B a	3,17
<b>Média</b>	4,65	5,92	4,95	3,33	4,61	2,63	3,49	4,10	4,21

Grupos de médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela9**–Grupos de médias da variável teor de sólidos solúveis totais (SST) de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo.

Cultivares	Ambientes								Média
	S.Vitória - MG	S. Lagoas - MG	Lavras - MG	Nova. Port. - MG	Piracicaba - SP	Sinop - MT	Planaltina- DF	Dourados - MS	
CMSXS629	15,07 A b	17,37 A a	17,07 A a	16,97 A a	18,22 A a	13,87 A a	14,45 A a	14,25 Aa	15,91
CMSXS630	18,80 A a	15,23 A a	16,57 A a	15,90 A a	17,05 A a	17,03 A a	14,15 A a	14,10 Aa	16,10
CMSXS643	17,87 A a	16,63 A a	16,07 A a	14,90 A a	16,42 A b	18,13 A a	14,44 A a	12,78 Aa	15,90
CMSXS644	14,63 A b	14,03 A b	14,97 A a	15,60 A a	15,18 A b	14,27 A a	12,83 A a	12,21 Aa	14,22
CMSXS646	20,03 A a	17,67 A a	18,03 A a	18,37 A a	19,94 A a	16,33 B a	14,11 B a	13,74 Ba	17,28
CMSXS647	17,60 A a	13,73 B b	14,53 A a	15,43 A a	18,66 A a	16,20 A a	11,33 B b	10,58 Ba	14,76
BRS 506	17,23 A a	15,63 A a	16,07 A a	14,10 B a	18,13 A a	11,93 B b	13,79 B a	12,57 Ba	14,93
BRS 508	14,17 B b	17,10 B a	18,47 A a	20,00 A a	19,36 A a	21,13 A a	15,02 B a	14,33 Ba	17,45
BRS509	19,87 A a	16,07 B a	16,80 A a	17,87 A a	19,36 A a	14,90 B a	13,97 B a	12,44 Ba	16,41
BRS 511	17,47 A a	17,80 A a	17,00 A a	17,03 A a	20,25 A a	17,97 A a	14,26 B a	13,41 Ba	16,90
CV 198	11,87 B b	14,97 B b	18,13 A a	16,23 A a	17,68 A a	16,97 A a	13,39 B a	12,70 Ba	15,24
CV 568	16,03 A b	12,00 B b	14,40 A a	15,53 A a	13,54 A b	11,00 B b	12,27 B a	10,18 Ba	13,12
Sugargraze	12,97 B b	13,47 B b	16,87 A a	16,13 A a	15,87 A b	6,57 C c	12,02 B a	12,95 Ba	13,36
V82391	14,10 A b	13,77 A b	14,43 A a	12,90 A a	14,24 A b	5,73 C c	9,97 B b	12,03 Aa	12,15
V82392	15,20 A b	12,73 A b	14,90 A a	12,07 A a	14,65 A b	7,63 B c	7,62 B b	11,72 Aa	12,07
V82393	15,30 A b	13,67 A b	13,23 A a	15,93 A a	13,25 A b	7,10 B c	8,58 B b	10,91 Ba	12,25
<b>Média</b>	16,14	15,12	16,10	15,94	16,99	13,55	12,64	12,56	14,88

Grupos de médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

## 4.2- Análises de adaptabilidade e estabilidade

A fonte de variação Genótipos x Ambientes indicou a existência de diferenças significativas entre os genótipos dentro de cada ambiente, o que justifica um estudo mais detalhado, visando identificar os genótipos de maior adaptabilidade e estabilidade. As análises foram realizadas com as médias ajustadas obtidas nos oito ambientes.

### 4.2.1- Método de Eberhart e Russell

Os resultados da análise de variância para adaptabilidade e estabilidade fenotípica avaliados pelo método de regressão linear de Eberhart e Russell (1966) são apresentados nas (Tabelas 10, 11 e 12). Diferenças significativas foram observadas para os efeitos de genótipos (G), ambientes (A) e interações G x A. Isto significa que os genótipos mostraram comportamentos diferenciados nos ambientes, o que demonstra a variabilidade dos genótipos e dos ambientes avaliados justificando um estudo mais aprofundado sobre o comportamento individual dos mesmos no sentido de identificar a intensidade de suas interações com os ambientes.

**TABELA 10** - Resumo da análise de variância conjunta referente aos rendimentos da produtividade de massa verde (PMVtn/ha), de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo, segundo a metodologia de Eberhart e Russell.

PMVtha		
FONTES DE VARIACÃO	GL	QM
Ambientes (A)	7	6556,592**
Genótipos (G)	15	367,840**
Interação G x A	105	175,176**
Amb/Gen. (A/G)	112	574,014**
Amb. Linear (AL)	1	45896,146**
Interação G x AL	15	128,869**
Desv. Comb. (A/G)	96	171,463**
Resíduo	179	1

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; Respectivamente

**TABELA 11** - Resumo da análise de variância conjunta referente a variável toneladas de brix por hectare (TBH), de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo, segundo a metodologia de Eberhart e Russell.

TBH		
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QM
Ambientes (A)	7	52,332**
Genótipos (G)	15	6,174**
Interação G x A	105	1,861**
Amb/Gen. (A/G)	112	5,016**
Amb. Linear (AL)	1	366,324**
Interação G x AL	15	1,265**
Desv. Comb. (A/G)	96	1,838**
Resíduo	191	1

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; Respectivamente

**TABELA 12** - Resumo da análise de variância conjunta referente ao teor de sólidos solúveis totais (SST), de 16 genótipos de sorgo sacarino nos 8 ambientes em estudo, segundo a metodologia de Eberhart e Russell.

SST		
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QM
Ambientes (A)	7	143,116**
Genótipos (G)	15	81,135**
Interação G x A	105	9,653**
Amb/Gen. (A/G)	112	17,995**
Amb. Linear (AL)	1	1001,811**
Interação G x AL	15	7,167**
Desv. Comb. (A/G)	96	9,439**
Resíduo	168	1

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; Respectivamente

Para cada genótipo foi feita uma análise de regressão, utilizando-se o índice ambiental como variável independente e o caráter produtividade como variável dependente. Assim, como proposto por Eberhart e Russel (1966), o efeito do ambiente pode ser decomposto em dois componentes, um linear e outro não linear. O coeficiente de regressão  $\beta_{1i}$  está associado ao componente linear, indicando a adaptabilidade do genótipo, ou seja, sua capacidade de responder à melhoria do ambiente. Os desvios da regressão  $\sigma_{di}^2$  estão associados ao componente não-linear e indicam a estabilidade fenotípica.

Por este método, tem-se que um genótipo é estável quando  $\sigma_{di}^2=0$ ; não estável,

quando  $\sigma_{di}^2 \neq 0$ ; de adaptabilidade ampla, se  $\beta_{1i}=1$ ; adaptado a ambientes favoráveis, se  $\beta_{1i}>1$ , e adaptado a ambientes desfavoráveis, se  $\beta_{1i}<1$ . O coeficiente de determinação  $R^2$  de cada genótipo, acrescentado como medida adicional por PINTHUS (1973) ao método de Eberhart e Russel (1966), foi usado também como medida na definição da estabilidade fenotípica e para quantificar que a proporção da variação fenotípica de cada genótipo é explicada pela regressão linear.

Os efeitos significativos da interação G x A linear apontam que existem diferenças entre os coeficientes de regressão, e que, uma parte da interação G x A pode ser explicada pela relação linear entre os genótipos e os ambientes. Os desvios da regressão, que informam sobre a estabilidade fenotípica, também foram significativos. Desta forma, os componentes lineares e não-lineares da estabilidade encontram-se envolvidos no desempenho dos genótipos nos ambientes considerados. A significância deste parâmetro, também informa que, em geral, os genótipos estudados apresentaram um comportamento instável e imprevisível. Contudo, pela sua magnitude, o ambiente linear foi o responsável principal pela explicação do comportamento dos genótipos.

**Tabela 13** – Estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966) da variável PMV de 16 genótipos de sorgo sacarino em 8 ambientes.

GENÓTIPO	PMVtha			
	Média( $\beta_0$ )	$\beta_1$	$\sigma_d^2$	$R^2(\%)$
CMSXS629	51,93	0,83 <sup>ns</sup>	21,74 <sup>ns</sup>	70,12
CMSXS630	53,42	1,16 <sup>ns</sup>	100,52**	62,93
CMSXS643	56,04	1,23 <sup>ns</sup>	55,82**	74,98
CMSXS644	57,15	0,95 <sup>ns</sup>	8,54 <sup>ns</sup>	80,95
CMSXS646	52,58	0,71 <sup>ns</sup>	-14,77 <sup>ns</sup>	88,44
CMSXS647	58,54	0,96 <sup>ns</sup>	-1,80 <sup>ns</sup>	86,22
BRS 506	58,16	1,13 <sup>ns</sup>	32,46*	77,87
BRS 508	53,06	0,85 <sup>ns</sup>	-1,99 <sup>ns</sup>	83,36
BRS509	53,73	1,41*	8,25 <sup>ns</sup>	90,40
BRS 511	57,10	0,81 <sup>ns</sup>	-3,52 <sup>ns</sup>	82,80
CV 198	59,56	0,93 <sup>ns</sup>	71,34**	58,92
CV 568	65,51	0,69 <sup>ns</sup>	99,84**	37,53
Sugargraze	59,14	0,90 <sup>ns</sup>	28,90 <sup>ns</sup>	70,27
V82391	51,61	1,08 <sup>ns</sup>	21,11 <sup>ns</sup>	80,15
V82392	52,86	1,34 <sup>ns</sup>	23,10 <sup>ns</sup>	85,53
V82393	50,83	1,04 <sup>ns</sup>	62,45**	66,22
Média Geral	55,70			74,79

\*\*,\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente; <sup>ns</sup> Não significativo

**Tabela 14** – Estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966) da variável TBH de 16 genótipos de sorgo sacarino em 8 ambientes.

GENÓTIPO	TBH			
	Média( $\beta_0$ )	$\beta_1$	$\sigma^2_d$	R <sup>2</sup> (%)
CMSXS629	4,42	0,74 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	54,22
CMSXS630	4,32	0,68 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	51,33
CMSXS643	4,53	0,89 <sup>ns</sup>	0,80**	47,33
CMSXS644	4,00	0,99 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	87,70
CMSXS646	4,68	0,87 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	74,49
CMSXS647	4,57	0,92 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	74,24
BRS 506	4,57	1,55**	0,15 <sup>ns</sup>	86,43
BRS 508	4,33	0,77 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	59,18
BRS509	4,34	1,13 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	77,52
BRS 511	4,84	0,78 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	70,54
CV 198	4,34	1,10 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	74,81
CV 568	4,47	0,89 <sup>ns</sup>	1,05**	42,10
Sugargraze	4,17	1,31 <sup>ns</sup>	0,41*	74,59
V82391	3,32	1,24 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	83,72
V82392	3,32	1,18 <sup>ns</sup>	0,47*	69,02
V82393	3,17	0,96 <sup>ns</sup>	0,70**	53,23
Média Geral	4,21			67,53

\*\*,\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente; <sup>ns</sup> Não significativo

**Tabela 15** – Estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966) da variável SST de 16 genótipos de sorgo sacarino em 8 ambientes.

GENÓTIPO	SST			
	Média( $\beta_0$ )	$\beta_1$	$\sigma^2_d$	R <sup>2</sup> (%)
CMSXS629	15,91	0,79 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>ns</sup>	66,43
CMSXS630	16,10	0,64 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	47,59
CMSXS643	15,90	0,50 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	23,10
CMSXS644	14,22	0,60 <sup>ns</sup>	-1,69 <sup>ns</sup>	79,43
CMSXS646	17,28	1,33 <sup>ns</sup>	-1,53 <sup>ns</sup>	92,61
CMSXS647	14,76	1,32 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	64,39
BRS 506	14,93	1,07 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	70,61
BRS 508	17,45	0,55 <sup>ns</sup>	5,46 <sup>**</sup>	12,39
BRS509	16,41	1,40 <sup>ns</sup>	-0,99 <sup>ns</sup>	86,86
BRS 511	16,90	1,00 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	63,80
CV 198	15,24	0,63 <sup>ns</sup>	3,20 <sup>*</sup>	20,91
CV 568	13,12	0,96 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	61,06
Sugargraze	13,36	1,20 <sup>ns</sup>	5,41 <sup>**</sup>	40,19
V82391	12,15	1,17 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>*</sup>	46,07
V82392	12,07	1,42 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	65,34
V82393	12,25	1,42 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>*</sup>	61,03
Média Geral	14,88			56,36

\*\*,\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente; <sup>ns</sup> Não significativo

As estimativas das médias de PMV, TBH e SST dos genótipos ( $\hat{\beta}_{0i}$ ) do coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ), do componente do desvio da regressão ( $\sigma^2_d$ ) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de cada genótipo, obtidos segundo o método de Eberhart e Russell (1966), são fornecidas pelas (Tabelas 13, 14 e 15).

Os genótipos BRS509, para a produção de massa verde (PMVtn/ha) e BRS506, para a variável toneladas de brix por hectare (TBH) apresentaram ( $\beta_{1i} > 1$ ), porém, somente o genótipo BRS506 produziu acima da média geral, indicando adaptação específica a condições favoráveis evidenciando adaptação a ambientes de alta produtividade. Diferente deste trabalho, SILVA et al. (2005) em seu estudo apontou dentre os genótipos avaliados o BRS506 como melhor nos ambientes favoráveis e desfavoráveis, além de apresentar o maior rendimento médio de matéria verde.

Com relação aos desvios de regressão ( $\sigma^2_d$ ), parâmetro que classifica à estabilidade, estes genótipos apresentaram boa previsibilidade com ( $\sigma^2_d = 0$ ). Os genótipos CMSXS630, CMSXS643, BRS 506, CV 198, CV 568 e V82393 para a produção de massa verde (PMVtn/ha); CMSXS643, CV 568, Sugargraze e V82393 para a variável TBH; e BRS 508, CV 198, Sugargraze, V82391 e V82393 para o teor

de SST, apresentaram adaptabilidade ampla aos ambientes ( $\beta_1=1$ ), portanto, com comportamentos imprevisíveis ( $\sigma^2_d \neq 0$ ) e ( $R^2 < 80\%$ ).

Pelos resultados observados nas Tabelas 13,14 e 15, os genótipos CMSXS644, CMSXS647, BRS 511 e Sugargraze, para a produção de massa verde (PMVtn/ha); CMSXS629, CMSXS630, CMSXS646, CMSXS647, BRS 508, BRS509, BRS 511 e CV198 para a variável TBH; e CMSXS629, CMSXS630, CMSXS643, CMSXS646, BRS 506, BRS509 e BRS 511 para o teor de SST, identificaram-se com os requisitos estabelecidos pela metodologia de Eberhart e Russel por apresentarem a média maior que a média geral, adaptabilidade geral ou ampla ( $\beta_1=1$ ), boa previsibilidade ( $\sigma^2_d=0$ ) respondendo satisfatoriamente quer em ambientes favoráveis como desfavoráveis, porém, o  $R^2$  foi regular para alguns genótipos ( $R^2 < 80\%$ ) e alto para outros ( $R^2 > 80\%$ ).



#### 4.2.2- Método de Cruz, Torres e Vencovsky

Os resultados da análise de adaptabilidade e estabilidade da produtividade das variáveis PMV, TBH e SST pelo método de CRUZ et al. (1989) encontram-se nas (Tabelas 16, 17 e 18).

**Tabela 16** – Médias de produtividade de massa verde (PMVtn/ha) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 16 genótipos de sorgo sacarino, avaliados em 8 ambientes, segundo a metodologia de Cruz et al. (1989).

GENÓTIPO	PMV tn/ha				
	Média( $\beta_0$ )	$\beta_1$	( $\beta_1+\beta_2$ )	$\sigma^2_d$	R <sup>2</sup> (%)
CMSXS629	51,93	0,86 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	30,05 <sup>ns</sup>	70,39
CMSXS630	53,42	0,83 <sup>ns</sup>	2,28**	53,68**	80,49
CMSXS643	56,04	1,08 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	55,21**	79,16
CMSXS644	57,15	0,89 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	12,30 <sup>ns</sup>	82,09
CMSXS646	52,58	0,74 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	-14,22 <sup>ns</sup>	89,33
CMSXS647	58,54	1,00 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	86,83
BRS 506	58,16	1,03 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	37,69 <sup>ns</sup>	79,71
BRS 508	53,06	0,83 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	83,53
BRS509	53,73	1,34 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	11,57 <sup>ns</sup>	91,07
BRS 511	57,10	0,82 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	82,88
CV 198	59,56	1,13 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	65,30**	67,71
CV 568	65,51	0,91 <sup>ns</sup>	-0,06**	92,78**	50,64
Sugargraze	59,14	0,89 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	39,15 <sup>ns</sup>	70,27
V82391	51,61	0,98 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	22,79 <sup>ns</sup>	82,66
V82392	52,86	1,46**	0,91 <sup>ns</sup>	21,75 <sup>ns</sup>	88,13
V82393	50,83	1,21 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	60,37**	72,33
<b>Média Geral</b>	<b>55,70</b>				<b>78,58</b>

\*\*, \* Significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

ns Não significativo.

**Tabela 17** – Médias da variável toneladas de brix por hectare (TBH) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 16 genótipos de sorgo sacarino, avaliados em 8 ambientes, segundo a metodologia de CRUZ et al. (1989).

TBH					
GENÓTIPO	Média( $\beta_0$ )	$\beta_1$	( $\beta_1+\beta_2$ )	$\sigma^2_d$	R <sup>2</sup> (%)
CMSXS629	4,42	0,66 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	57,88
CMSXS630	4,32	0,66 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	51,51
CMSXS643	4,53	0,62 <sup>ns</sup>	2,50**	0,46 <sup>ns</sup>	73,44
CMSXS644	4,00	0,98 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	87,71
CMSXS646	4,68	0,79 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	78,35
CMSXS647	4,57	0,87 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	75,13
BRS 506	4,57	1,54*	1,59 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	86,44
BRS 508	4,33	0,56 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	85,83
BRS509	4,34	1,04 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	80,25
BRS 511	4,84	0,63 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	86,09
CV 198	4,34	1,25 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	82,50
CV 568	4,47	1,16 <sup>ns</sup>	-0,72**	0,76**	65,63
Sugargraze	4,17	1,47 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	81,07
V82391	3,32	1,35 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	88,08
V82392	3,32	1,32 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	74,67
V82393	3,17	1,08 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,88**	58,23
<b>Média Geral</b>	<b>4,21</b>				<b>75,80</b>

\*\* , \* Significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

ns Não significativo.

**Tabela 18** – Médias do teor de sólidos solúveis totais (SST) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 16 genótipos de sorgo sacarino, avaliados em 8 ambientes, segundo a metodologia de CRUZ et al. (1989).

GENÓTIPO	SST				
	Média( $\beta_0$ )	$\beta_1$	( $\beta_1+\beta_2$ )	$\sigma^2_d$	R <sup>2</sup> (%)
CMSXS629	15,91	0,83 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	68,23
CMSXS630	16,10	0,59 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	49,99
CMSXS643	15,90	0,54 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	2,26 <sup>ns</sup>	24,86
CMSXS644	14,22	0,61 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	79,49
CMSXS646	17,28	1,34 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	-0,54 <sup>ns</sup>	92,63
CMSXS647	14,76	1,19 <sup>ns</sup>	2,68 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	70,78
BRS 506	14,93	1,03 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	71,67
BRS 508	17,45	0,52 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	7,81**	12,81
BRS509	16,41	1,36 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	87,54
BRS 511	16,90	0,97 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	64,36
CV 198	15,24	0,57 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	4,98**	22,93
CV 568	13,12	0,97 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	61,18
Sugargraze	13,36	1,20 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	7,79**	40,20
V82391	12,15	1,25 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	5,34**	48,24
V82392	12,07	1,44 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	3,33 <sup>ns</sup>	65,47
V82393	12,25	1,58 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	3,07 <sup>ns</sup>	69,40
Média Geral	14,88				58,11

\*\* , \* Significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

ns Não significativo.

As estimativas de  $\beta_1$  avaliaram os desempenhos dos genótipos nas condições desfavoráveis. Tanto para a produção de massa verde (PMVtn/ha) como para toneladas de brix por hectare (TBH), todos os genótipos não diferiram de um ( $\beta_1=1$ ), com exceção os genótipos V82392 e BRS 506 que mostraram-se ser muito exigentes nessas mesmas condições ( $\beta_1>1$ ). Concomitantemente na variável SST, os genótipos não diferiram significativamente de um, ( $\beta_1=1$ ). Não tendo se identificado genótipos responsivos a variações do ambiente em condições desfavoráveis.

Quanto a resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_1+\beta_2$ ), os genótipos CMSXS630 para a produção de massa verde (PMVtn/ha) e CMSXS643 para toneladas de brix por hectare (TBH), apresentaram resultados significativamente maior que um, ( $\beta_1+\beta_2>1$ ), mais somente o genótipo CMSXS643, é adaptado a ambientes favoráveis e responsivo à melhoria ambiental, por ter a média maior que a média geral. Para a variável SST todos os genótipos não diferiram significativamente de um ( $\beta_1+\beta_2=1$ ).

Com relação à estabilidade fenotípica ou à previsibilidade dos genótipo sem termos de resposta linear à melhoria do ambiente, avaliadas pelos desvios da regressão, constata-se que os genótipos, CMSXS629, CMSXS630, CV198, CV568 e V82393 para

a variável PMVtn/ha, CV568 e V82393 para toneladas de brix por hectare (TBH) e BRS508, CV 198, Sugargraze e V82391 para a variável SST, apresentaram desvios da regressão diferente de zero ( $\sigma^2_d \neq 0$ ). Podendo, desse modo, serem classificados como instáveis tanto em ambientes favoráveis quanto em ambientes desfavoráveis.

Para o método proposto por CRUZ, et al., (1989), o genótipo preconizado como ideal é aquele que apresenta uma média alta ( $\beta_0$  alto), seja menos exigente nas condições desfavoráveis ( $\beta_1$  o menor possível), tenha capacidade de responder à melhoria ambiental ( $\beta_1 + \beta_2$  o maior possível) e alta estabilidade nos ambientes considerados ( $\sigma^2_d = 0$  ou  $R^2 > 80\%$ ). De acordo com os dados verificados nas (Tabelas 16, 17 e 18), nenhum genótipo satisfaz essa condição.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- ✓ A interação genótipos x ambientes da análise conjunta foi significativa e evidenciou um diferencial no comportamento dos genótipos avaliados nos diferentes ambientes.
- ✓ Pela metodologia de Eberhart e Russel, foi recomendado o genótipo BRS 511, por apresentar comportamentos altamente previsíveis e responsivos as variações dos ambientes em condições específicas ou amplas em todas as características avaliadas. Ela também recomendou os genótipos CMSXS644, CMSXS647, e Sugargraze, para a produção de massa verde (PMVtn/ha); CMSXS629, CMSXS630, CMSXS646, CMSXS647, BRS 508, BRS509, e CV198 para a variável TBH; e CMSXS629, CMSXS630, CMSXS643, CMSXS646, BRS 506, e BRS509 para o teor de SST;
- ✓ A regressão bissegmentada proposta pelo método de Cruz, Torres e Venconvsy, caracterizou apenas os genótipos quanto à adaptabilidade em condições específicas em ambientes favoráveis ou de adaptação geral, e quanto a estabilidade como estáveis. Porém, não identificou genótipos recomendáveis.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIE – Agência Internacional de Energia. **From 1<sup>st</sup>- to 2<sup>nd</sup>- generation biofuel technologies**. OECD/IEA, Paris, (2008a)

AIE – Agência Internacional de Energia. **Sustainable production of second-generation biofuels**. OECD/IEA, Paris, 2010.

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, v.4, n.5, p.503-508, 1964.

ALMODARES A., HADI M. R. (2009) **Production of bioethanol from sweet sorghum**: A review. *African Journal of Agricultural Research* , 4: 772-780.

ANNICCHIARICO, P. **Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy** . *Journal Genetics Breeding*, Italy , v.46 , n.1 , p. 269-278 , 1992.

AXTELL, J.; I. KAPRAN; Y. IBRAIM; G. EJETA; D. J. ANDREWS. Heterosis in sorghum and pearl millet. J.G.Coorsand S. Pandey. **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison, WI. p. 375–386, 1999.

BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C.J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: Stalker, H. T.; Murphy, J.P. **CAB International Plant breeding**. Wallingford, p. 69-100, 1992.

BAKER, R.J. **Tests for crossover genotype-environmental interactions**. *Canadian Journal Plant Science*, Ottawa, v.48, p.405-410, 1988.

BECKER, H. C.; LEON, J. **Stability analysis in plant breeding**. *Plant Breeding*, Berlin, v.101, p. 1-23, 1988.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma Press. 2002. 369p.

BORÉM, A.E MIRANDA, G.V. **Melhoramento de Plantas**. 6. ed. – Viçosa – UFV. 2013. 523p.

BORGES, V., FERREIRA, P.V., SOARES, L., SANTOS, G.M., SANTOS, A.M.M. **Seleção de clones de batata-doce pelo procedimento REML/BLUP**. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 32, n. 4, p. 643-649, 2010.

CÂMARA, G.M. Ecofisiologia da soja e rendimento. In : CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção** . Piracicaba: Publique., p.256-277. 1998.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed.) **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, 1183p.

CORNELIUS, P.L.; CROSSA, J.; SEYEDSADER, M.S. **Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction**. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (Ed). Genotype-by-environment interaction. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 199-234.

CROSSA, J.; CORNELIUS, P.L. **Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances**. Crop Science, Madison, v. 37, p. 405-415, 1997.

CROSSA, J.; GAUCH, H. G.; ZOBEL, R.W. **Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials**. Crop Science, Madison, v. 30, p. 493-500, 1990.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético - volume 2**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2ª ed. rev. 585p, 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2ª ed. rev., v.1, 390 p, 2001.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**.3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

CRUZ, C.D., CASTOLDI, F. **Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa**. Revista Ceres, v. 38, p. 422-430, 1991.

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.; TORRES, R.A.; VENCOVSKY, R. **An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto**. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 567-580, 1989.

DAJUI, L. (1995) **Developing sweet sorghum to meet the challenge of food, energy and environment**. Disponível em:

DEMIRBAS M. F., Balat M. **Recent advances on the production and utilization trends of bio-fuel: A global perspective**. Energy Conversion and Management, 47: 2371-2381, 2006.

DOGGETT, H. **Sorghum**. Great Britain. Longmans, Green and Co Ltd. 403 p, 1970.

DOGGETT, H. **The development of the cultivated sorghums**. In: Hutchinson, J.P. et al (ed), essays on crop plant evolution. London: Cambridge University , 1965a.

DOGGETT, H.; EBERRART, S. A. Recurrent selection in sorghum. **Crop Science**, v. 8, p.119-120,jul. 1968.

DURÃES, F.O.M. Sorgo Sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. **Agroenergia em Revista** – Sorgo sacarino: Tecnologia Agrônômica e Industrial para Alimentos e Energia. Brasília – DF. p.7, 2011.

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W.A. **Stability parameters for comparing varieties**. Crop Science, Madison, v.6, n.1, p. 36-40, 1966.

FARIAS, F. J. C.; RAMALHO, M. A. P. R.; CARVALHO, L. P.; MOREIRA, J. A. N.; COSTA, J. N. Parâmetros de estabilidade propostos p or Lin & Binns (1988) comparados com o método da regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, v. 4, p. 407-414, 1997.

FERREIRA, D.F.; DEMETRIO, C.G.B.; MANLY, B.F.J.; VENCOVSKY, R. **Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding**, Cerne, Lavras, v.12, n.4, p. 373-388, 2006.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. **The analysis of adaptation in a plant breeding programme**. Australina Journal Agricultural Research, Collingwood, v.14, n.6, p. 742-754, 1963.

FISHER, R. A. **On the mathematical foundations of theoretical statistics**. Pholosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, n.222, p. 309-368, 1922.

FOX, P.N., CROSSA, J. ROMAGOSA, I. **Multi-environment testing and genotype x environment interaction**. In: **Kempton, R.A.; Fox, P.N. (ed). Statistical methods for plant variety evaluation**. Chapman and Hall: London, UK, 1997. p. 162-174.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MIRANDA, G. V.; DELIMA, R. O.; SOUZA, H. N. **Factor analysis and SREG GGE biplot for the genotype x environment interaction stratification in maize**. Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.5, p.1043-1048, 2010.

GARBUGLIO, D.D.; GERAGE, A.C.; ARAÚJO, P.M.; FONSECA, N.S.; SHIOGA, P.S. **Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade de milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.2, p.183-191, 2007.

GARDNER, C. O.Development of superior populations of sorghum and role in breeding programs. In: Rao, N.G.P. & House, L. R. **Sorghum in seventies**. New Delhi, Oxford & IBH, 1972. p. 180-195.

GUPTA R. B., DEMIRBAS A. **Gasoline, diesel, and ethanol biofuels from grasses and plants**. Cambridge University Press, New York, 2010.



HOOGERHEIDE, E.S.S. **Estabilidade fenotípica de algodoeiro herbáceo em diferentes sistemas de produção no Estado do Mato Grosso**. 2004. 80p. Dissertação(Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

HUENH, M. **Nonparametric measures of phenotypic stability**: Part1: Theory. *Euphytica*, v.47, p.189-194, 1990.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/>>. Acesso em: 11 out 2009.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey-USA: Englewood Cliffs, 1992. 642p.

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

LIN, C.S.; BINNS, M.R. **A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data**. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v.68, n. 3, p. 193-198, 1988.

LIPINSKY ES, KRESOVICH S. **Sorghum as energy crops**. In: Proceedings of the Bio-energy 80 World congress and Exposition. p. 91–3, 1980.

May, A. Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista** – Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. Brasília – DF. p.16-17, 2011.

MENDES, F.F.; GUIMARÃES, L.J.M.; SOUZA, J.C.; GUIMARÃES, P.E.O.; PACHECO, C.A.P.; MACHADO, J.R.A.; MEIRELLES, W.F.; SILVA, A.R.; PARENTONI, S.N, **Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology**. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, n. 12, p. 111-117, 2012.

MENDONÇA, O.; CARPENTIERI-PIPOLO, V., GARBUGLIO, D.D.; FONSECA, N.S. **Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.11, p.1567-1575, nov. 2007.

MURAKAMI, D.M.; CRUZ, C.D. **Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability**. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v.4, n.1, p. 7-11, 2004.

NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. **Integrated energy systems in China - The cold Northeastern region experience**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ed. Board, UNUP, Rome, 1994, 475p.

NATH. B. Populations breeding techniques in sorghum. In: Sorghum in the Eighties International Symposium on sorghum, Patarcheru, 1981. **Proceedings**, Icrisat, 1982, p.421-434.

PIEPHO, H.P.; MÖHRING, J.; MELCHINGER, A.E.; BÜCHSE A. **BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing**. Euphytica, v. 161, p. 209-228, 2008.

PIMENTEL GOMES, F. **Cursode estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: NOBEL, 1990. 467p.

PINTO, Alice Regina et al. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**. Viçosa, MG, 2011. 88 p. Disponível em: <<http://www.bbt.ufv.br>>. Acesso em: data de acesso.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. **A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons**. American Potato Journal, Washington, v. 36, n. 6, p. 381-385, 1959.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H. C. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources Conservation and Recycling**, Heidelberglaan, v. 50, n. 1, p. 1-39, 2007.

RAMALHO, M. A. P. Melhoramento de Plantas Autógamas. Curso de Pós-Graduação 'Latu sensu' (Especialização) a distância – **Tendências no melhoramento de plantas no século XXI**. Ed. UFLA/FAEP, Lavras, 2003.

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

RESENDE, M.D.V. **Selegen-Reml/Blup: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 360p.

RESENDE, M.D.V.; **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 971p.

RIBAS, P. M.; **Sorgo: introdução e importância**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 26, 2003. 16 p.

RIBEIRO, J.Z.; ALMEIDA, M.I.M. **Estratificação ambiental pela análise da interação genótipo x ambiente em milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.46, n.8, p.875-883, ago. 2011.

ROONEY, W. L. **Sorghum Improvement - Integrating Traditional and New Technology to Produce Improved Genotypes**. Advances in Agronomy, Volume 83, Elsevier, 2004.

ROSS, W. M. Use of population breeding in sorghum – problems and progress. In: Annual Corn and Sorghum Research Conference, 28, Chicago, ASTA, **Proceedings...**, S. 1, ASTA, Sd, 1973, p.30-43.

SANKARAPANDIAN, R.; RAMALINGAM, J.; PILLAI, M. A.; VANNIARAJAN, C. **Heterosis and combining ability studies for juice yield related characteristics in sweet sorghum**. Ann. Agric. Res. 15(2):1994–204.

SANTOS F.G.; CASELA, C.R.; WAQUIL, J.M. **Melhoramento de Sorgo**. In: BORÉM, A. (Org.). Melhoramento de Espécies Cultivadas. 2a.ed. Viçosa, MG.: Editora UFV., v. 1, p. 429-466, (2005).

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. **Melhoramento de sorgo**. In: **BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas**, 2ª Ed. , 2005.

SCHAFFERT, R. E. ; TREVISAN, W. L. **Aspectos gerais da cultura do sorgo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Milho e Sorgo, Sete Lagoas. **Anais...**Sete Lagoas, 1979. p.25-29.

SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. **Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente**. In: SIMPÓSIO DE EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA, 1., 1985, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ, 1985. p. 49-50.

SOUZA JR, C.L. **Cultivar development of allogamous crops**. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Viçosa, S1, p. 8-15, 2011.

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. **Stability analysis based on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables**. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v.17, n.1, p. 75-81, 1994.

TAI, G.C.C. **Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials**. Crop Science, Madison, v.11, n.2, p.184-190, 1971.

TERASAWA JR. F.; VENCOVSKY, R.; KOEHLER, H. **Environment and genotype environment interaction in maize breeding in Paraná, Brazil**. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Viçosa, v.8, p. 17-22, 2008.

TOLER, J.E. E BURROWS, P.M. **Genotype performance over environmental arrays: a non-linear grouping protocol**. Journal of Applied Statistics, Abingdon, v.25, n.1, p. 131-143, 1998.

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

VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. **Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification.** Theory Applied Genetics, Berlin, v.53, n.2, p. 89-91, 1978.

WALL, J.S.; ROSS, W.M. **Sorghum Production and Utilization.** The AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut. 702 p, 1970.

WET, J.M.J. E HUCKABAY, J.P. **Origin of Sorghum bicolor. II. Distribution and domestication.** Evolution 21 (4): 787-802. In: House, L.R. A Guide to Sorghum Breeding. Icrisat Patancheru P.O. Andhra Pradesh, India 502 324 p. 4-13. 238 p, 1967.

YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. **Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot.** Crop Science, Madison, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

YATES, F.; COCHRAN, W.G. **The analysis of group of experiments.** Journal of Agricultural Science, Cambridge, v.28, n.4, p. 556-580, 1938.

ZOBEL, R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, H.G. **Statistical analysis of a yield trial.** Agronomy Journal, Madison, v.80, p. 388-393, 1988.