



IVÁN DARÍO DELGADO

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS
DE SORGO BIOMASSA**

LAVRAS – MG

2017

IVÁN DARÍO DELGADO

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE SORGO
BIOMASSA**

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

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves

Orientadora

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

Coorientadores

**LAVRAS – MG
2017**

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

Delgado, Ivan Dario.

Adaptabilidade e Estabilidade de Híbridos de Sorgo Biomassa /
Ivan Dario Delgado. - 2017.

60 p. : il.

Orientador(a): Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Coorientador(a): José Airton Rodrigues Nunes, Rafael Augusto
da Costa Parrella.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Sorgo Biomassa (*Sorghum bicolor*). 2. Bioenergia. 3.
Interação genótipos x ambientes. I. Gonçalves, Flávia Maria Avelar.
II. Nunes, José Airton Rodrigues. III. Parrella, Rafael Augusto da
Costa. IV. Título.

IVÁN DARÍO DELGADO PERALTA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE SORGO
BIOMASSA
ADAPTABILITY AND STABILITY OF BIOMASS SORGHUM HYBRIDS**

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

APROVADA em 20 de Fevereiro de 2017

Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves	UFLA
Dr. Maurisrael de Moura Rocha	EMBRAPA
Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé	EPAMIG
Dr. José Airton Rodrigues Nunes	UFLA

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves

Orientadora

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

Coorientadores

**LAVRAS – MG
2017**

*Aos meus pais, Osvaldo E. Delgado e Olga R. Peralta por todo o amor e carinho,
pelo apoio incondicional ao longo do meu percurso acadêmico e pelos sinceros
conselhos.*

*À minha noiva, Tamara L. Mascareño, pelo amor, compreensão e incentivo
permanente.*

À minha filha Justina Delgado, por ser a razão de meu viver.

A meu irmão, Osvaldo H. Delgado, por suas palavras de apoio constante.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o arquiteto da minha vida.

À sociedade brasileira, por ter-me brindado a oportunidade única de viver, conhecer e compreender sua cultura e educação.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de aprender e aprofundar meu conhecimento.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À OEA, pelo espaço para concorrer e ter resultado beneficiário da bolsa.

Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional em todas as decisões e etapas da minha vida.

À minha companheira de vida, pelo companheirismo e paciência que ajudaram na conclusão deste processo.

Ao professor Dr. José Airton Rodrigues Nunes pela amizade incondicional, conselhos, orientação, paciência e disposição para ajudar e transmitir-me sempre energia positiva.

À professora Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves, por sua dedicação, profissionalismo e orientação.

À Lilian Freitas (Secretaria da Genética) e a todos os funcionários do DCS/UFLA.

A todos os colegas de Departamento, pois muitos se tornaram amigos e alguns até padrinhos!

Por fim, obrigado a todos os que participaram desta singular torcida. Saibam que serei eternamente grato por isso!

“if we use fuel to get our power, we are living on our capital and exhausting it rapidly. This method is barbarous and wantonly wasterful and will have to be stopped in the interest of coming generations”.
(Nikola Tesla)

Si utilizamos combustible fósiles para proveer energía, estamos consumiendo nuestro capital y agotándolo rápidamente. Este método es bárbaro y malgastador sin ningún reparo. Debemos detenernos por el bien de las generaciones futuras.
(Nikola Tesla)

Se usarmos combustíveis fósseis para fornecer energia, estamos consumindo nosso capital e perdendo rapidamente. Este método é bárbaro e utilizado sem medida. Temos de parar para o bem das gerações futuras.
(Nikola Tesla)

RESUMO

Na atualidade, existe uma forte demanda mundial de energia pelo aumento da população incrementando o consumo dos mais variados produtos, como é o caso da energia elétrica. O sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] apresenta-se como matéria-prima interessante para produção de energia elétrica (cogeração de energia) através da queima em usinas termoelétricas. No presente trabalho objetivou-se avaliar a interação genótipos por locais em sorgo biomassa e identificar híbridos que associem elevada adaptabilidade e estabilidade agrônômica. Foram avaliados 33 híbridos simples experimentais de sorgo biomassa com sensibilidade ao fotoperíodo e três testemunhas (BRS 655, Volumax e BRS 716) em 10 locais, no ano agrícola 2014/2015. O delineamento experimental utilizado foi o látice triplo 6 x 6 com parcelas constituídas por quatro sulcos de 5,0 m de comprimento, espaçados em 0,7 m entre si, sendo consideradas apenas as duas linhas centrais como área útil. As características avaliadas foram: Dias para florescimento (FLOR), Altura da planta (ALT), Umidade (UMID), Produção de massa verde total (PMV) e Produção de massa seca total (PMS). Foram realizadas análises de variância individuais e conjunta e a adaptabilidade e estabilidade dos híbridos aos locais de avaliação foram avaliados pelos métodos de Toler (1990) e Annicchiarico (1992). Observou-se que os efeitos de genótipos, locais e da interação genótipos por locais (G x L) foram altamente significativos ($P < 0,01$), sendo o efeito de local o que mais contribuiu para a variação fenotípica na maioria dos caracteres. A variação entre os genótipos foi expressiva para todos os caracteres. A interação G x L foi expressiva principalmente para os caracteres relacionados com a produção de biomassa, tendo sido predominantemente complexa. Os híbridos experimentais 1, 8, 22, 29, 31 e 33 e a testemunha comercial BRS 716 destacam-se como os mais promissores, pois apresentaram elevada adaptabilidade e estabilidade agrônômica segundo os resultados obtidos pelos métodos de Toler e Annicchiarico.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Bioenergia. Biomassa. Interação genótipos x ambientes.

ABSTRACT

At present, there is a strong world demand for energy by increasing the population, that fact increase the consumption of the most varied products as is the case of electric energy. *Sorghum bicolor* (L.) Moench is an interesting raw material for the production of electric energy (cogeneration of energy) by burning in thermoelectric power plants. The objective of this work was to evaluate the interaction of genotypes by locations in biomass sorghum and to identify hybrids that associate high agronomic adaptability and stability. Thirty three experimental simple hybrids of biomass sorghum with sensitivity to photoperiod and three controls (BRS 655, Volumax and BRS 716) were evaluated in ten locations during 2014/2015 agricultural year. The experimental design was a 6 x 6 triple lattice with four grooves 5.0 m long, spaced 0.7 m apart, and only the two central lines has been considered as a useful area. The following characteristics were evaluated: flowering days (FLOW), plant height (PH), humidity (HUMID), yield of green mass (YGM) and yield dry mass (YDM). Individual and joint analyzes of variance were performed and the adaptability and stability of the hybrids to the locations were evaluated by the Toler (1990) and Annicchiarico (1992) methods. It was observed that the effects of genotypes, local and genotype interaction by sites (G x L) were highly significant ($P < 0.01$), and the local effect contributed most to the phenotypic variation in most of the characters. The variation among the genotypes was expressive for all the characters. The interaction G x L was expressive in biomass sorghum mainly for the characters related to the production of biomass, having been predominantly complex. Experimental hybrids 1, 8, 22, 29, 31 and 33 and the BRS 716 commercial control stand out as the most promising because they presented high adaptability and agronomic stability according to the results obtained by the Toler and Annicchiarico methods.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Bioenergy. Biomass. Genotypes x environments interaction.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos locais da rede de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de sorgo biomassa quanto a aspectos geográficos como Latitude (Lat.), Longitude (Long.), Altitude (Alt.), clima (CL) e datas de Plantio (DP) e colheita (DC) da safra 2014/2015..	28
Tabela 2 – Genótipos de sorgo biomassa avaliados na rede de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da safra 2014/2015.	30
Tabela 3 – Critérios e significados práticos dos cinco grupos que definem os padrões de resposta dos genótipos frente aos locais avaliados.....	35
Tabela 4 – Estimativa dos parâmetros (PAR.): estatística F para o efeito de genótipos (FC), média geral (\bar{y}), acurácia seletiva (r_{gg} em %) e coeficiente de variação experimental (CVe em %) para florescimento (FLOR, em DAP), altura de planta (ALT, em m.), umidade (UMID, em %), produção de massa verde (PMV, em $t\ ha^{-1}$) e produção de massa seca (PMS, em $t\ ha^{-1}$) referentes à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em diferentes locais na safra 2014/15.	37
Tabela 5 – Resumo da análise de variância conjunta e porcentagens da variação da interação genótipos x locais do tipo simples e complexa para florescimento (FLOR, em DAP), altura de planta (ALT, m), umidade (UMID, %), produção de massa verde (PMV, $t\ ha^{-1}$) e produção de massa seca (PMS, $t\ ha^{-1}$) referente à avaliação de genótipos de sorgo biomassa na safra 2014/15.....	39
Tabela 6 – Médias ajustadas e respectivo agrupamento pelo teste de Scott-Knot de genótipos de sorgo biomassa para florescimento (FLOR, em dias), altura de planta (ALT, m), umidade (%), produção de matéria verde ($t\ ha^{-1}$) e produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) referente à ensaios multilocais na safra 2014/15.....	40
Tabela 7 – Resultados da análise de Toler (1990) para genótipos de sorgo biomassa em função dos caracteres florescimento (FLOR, em dias), altura de planta (ALT, m), umidade (%), produção de matéria verde ($t\ ha^{-1}$) e produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) referente à safra 2014/15.	43
Tabela 8 – Estimativas do índice de confiabilidade (I) de annicchiarico (1992) dos genótipos de sorgo biomassa comparados em função da media dos locais (I_{ij}) e da testemunha BRS716 (I_{BRS716}), considerando-se cada caráter de importância avaliado (continua).....	46

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação gráfica da coordenadas geográficas dos locais onde foram realizados os experimentos da rede de Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de sorgo biomassa da safra 2014/2015.....29
- Figura 2 – Representação gráfica do desempenho relativo dos genótipos nos locais em relação à média dos locais e à média da testemunha em % para o caráter PMS.....48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Matriz energética brasileira.....	15
2.2 Cultura do Sorgo Biomassa	17
2.2.1 Classificação botânica, biologia floral e o modo de reprodução. 17	
2.2.2 Aspectos agrônômicos e econômicos.....	18
2.2.3 Melhoramento genético.....	19
2.3 Métodos de estudo de adaptabilidade e estabilidade	22
2.3.1 Método de Toler (1990)	25
2.3.2 Método de Annicchiarico (1992)	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Locais de teste.....	28
3.2 Genótipos avaliados.....	29
3.3 Planejamento e condução dos experimentos	30
3.4 Caracteres avaliados.....	31
3.5 Análise estatística	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXO I.....	56

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, existe uma forte demanda mundial de energia, especialmente acentuada pelo aumento da população, o que implica em incremento no consumo dos mais variados produtos e, por conseguinte, intensificação da atividade industrial. Este fato é especialmente preocupante em se tratando de matrizes energéticas de países que estão fortemente baseadas em fontes energéticas não renováveis, como o petróleo e seus derivados. Neste quesito, o Brasil se encontra em uma posição de destaque e acréscimo, uma vez que uma fração importante e significativa da energia brasileira é produzida a partir de fontes renováveis (39,4%) considerado no período de 2014 (NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA – N3E, 2015), conseguindo uma maior participação no período de 2015 de 41,2%, em relação aos países do resto do mundo (N3E, 2016).

No Brasil, as características geográficas e agroclimáticas possibilitam explorar variadas fontes renováveis de energia, no caso da produção de energia elétrica, que é majoritariamente gerada por usinas hidrelétricas (64,0% no período de 2015), porém apresenta limitações, pois são dependentes das condições ambientais que dificultam a eficiência regular na produção da energia. Dessa forma, o uso de fontes renováveis complementares deve ser incentivado, a exemplo de agriculturas bioenergéticas como a produção de biomassa vegetal no processo de cogeração de energia mediante a queima em caldeiras de alta pressão.

Quanto à produção de energia elétrica, no ano de 2014, a biomassa (bagaço) forneceu 5,15% e em relação à energia total brasileira, correspondeu a 23,8% do total. Em relação ao ano de 2015, a biomassa teve um incremento no seu valor de 5,51% e de 25,1% em relação à energia total brasileira.

A biomassa utilizada na cogeração de energia ou produção de biocombustíveis é baseada quase na sua totalidade nas culturas da cana-de-açúcar e carvão vegetal (eucalipto). Contudo, a fim de atender a demanda de matéria-prima existente é indispensável procurar culturas alternativas.

O sorgo biomassa apresenta-se como uma cultura promissora para cogeração de energia por apresentar produtividades de até 150 t/ha de massa fresca em ciclo de apenas cinco meses de cultivo totalmente mecanizável (MAY et al., 2013). Contudo, ainda existe a necessidade de conhecer melhor a cultura,

sua capacidade de adaptação em diferentes locais e sua estabilidade agronômica, entre outras questões, para assim, fazer a escolha de indivíduos que apresentam melhor desempenho na maioria dos locais e que ainda sejam mais adequados para o processo de cogeração de energia.

Os programas de melhoramento públicos ou privados de sorgo biomassa são relativamente recentes. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem conduzido um programa com foco na obtenção de híbridos com alto rendimento em biomassa energética e que associem elevada adaptabilidade e estabilidade aos ambientes de cultivo.

Para tanto, é necessário realizar avaliações das variedades existentes e observar seu comportamento em diferentes ambientes de cultivo para obter informações sobre a adaptabilidade e estabilidade agronômica do sorgo biomassa, considerando testemunhas para a comparação do valor de cultivo e uso.

É importante destacar que são escassos os estudos feitos sobre adaptabilidade e estabilidade na cultura de sorgo biomassa em diferentes estados do Brasil. Entre os poucos estudos, podemos mencionar os artigos apresentados por Souza et al. (2014), Castro et al. (2015) e Andrade et al. (2016).

No entanto, tem sido realizadas uma maior quantidade de pesquisas relacionada à adaptabilidade e estabilidade nos diferentes estados do Brasil em outros tipos de sorgo, onde se pode destacar os trabalhos de sorgo sacarino apresentados por Souza et al. (2013), Eculica (2014), França (2014) e Figueiredo et al. (2015), e de sorgo granífero, os trabalhos realizados por Andrade et al. (2016) e Silva (2016).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação genótipos por ambientes em sorgo biomassa e identificar híbridos que associem elevada adaptabilidade e estabilidade agronômica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matriz energética brasileira

Nos últimos 40 anos, as matrizes energéticas do mundo apresentaram significativas alterações estruturais (N3E, 2015). No bloco da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), houve forte incremento da energia nuclear e do gás natural. Já em outros países, o carvão mineral e o gás natural foram os que tiveram maior incremento. No Brasil, ocorreu um aumento considerável na participação da energia hidráulica, da bioenergia líquida (uso de derivados da cana, como etanol carburante e bagaço) e do gás natural, reduzindo a participação do petróleo e de seus derivados em 6,2 pontos percentuais, entre 1973 e 2014 (N3E, 2015).

Na estrutura da Oferta Interna de Energia, as fontes renováveis responderam por 39,4% da matriz energética brasileira em 2014, o que representa 13,8% na média mundial. Os 34 países da OCDE apresentam apenas 9,8% da energia por fontes renováveis e os demais países 16,2%, o que demonstra uma supremacia e vantagens do Brasil em relação ao uso das fontes renováveis (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2014). Em 2015 essa participação aumentou consideravelmente, chegando a 41,2% da matriz energética brasileira, ultrapassando os 14,2 % da média mundial (N3E, 2016).

O Brasil apresenta a grande vantagem de poder planejar sua matriz energética já que conta com várias fontes primárias renováveis e, comparado a outros países, apresenta características agroclimáticas favoráveis ao emprego de novas culturas para produção e utilização de matérias-primas visando à diversificação e ampliação da matriz energética no futuro (DANTAS, 2009; SOUZA, 2011).

Dentre as fontes renováveis utilizadas na matriz energética brasileira, destacam-se as seguintes: Agro-energético proveniente do bagaço da cana-de-açúcar obtendo assim etanol e a biomassa (41,1%); e o aproveitamento da quantidade significativa de bacias hidrográficas que formam rios definindo fontes hídricas (27,5%), lenha e carvão mineral (19,9%), biodiesel (2,5%), eólico (1,5%), e outras fontes consideradas (7,5%). As fontes utilizadas para a produção de energia elétrica, os rios e recursos hídricos têm a maior participação (84,8%), no

entanto, destaca-se o aumento da utilização de biomassa na cogeração de energia ou produção de biocombustíveis, baseada quase que na sua totalidade nas culturas da cana-de-açúcar e carvão vegetal (eucalipto), correspondendo a 7,3%.

Na Matriz Elétrica Brasileira no período de 2015, as fontes renováveis chegaram a 75,5% de participação, sendo 0,9% superior ao verificado em 2014. A oferta de eólica e bagaço somou 9% na média do ano, onde a oferta hidráulica teve uma dinâmica oposta. A energia solar, apesar da alta taxa de crescimento, ainda é pouco significativa na matriz. No caso do bagaço, foram gerados 34,2 TWh, sendo 20,5 TWh de excedentes destinados para o mercado, e 13,7 TWh para o consumo próprio na produção de açúcar e etanol (N3E, 2016).

Segundo Dantas (2009), o custo da geração de energia elétrica obtida mediante a queima da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar resulta em um produto economicamente viável e atrativo, uma vez que com o aumento da produção e o uso de biomassa contribui para a redução do custo de produção da energia elétrica.

Em 2016, na República de Maurício, a energia elétrica produzida pelo bagaço de cana correspondeu a 16%, destacando-se como o primeiro país que subministra diretamente eletricidade à rede, enquanto que no Brasil este percentual foi de 5,51%. Vale ressaltar que 1,0% da área brasileira tem plantações de cana-de-açúcar, fornecendo 18% da energia do país (SOUZA et al., 2015).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2014), a entrada em operação de novas usinas, e as usinas em expansão, somou o montante de 7.509 MW, sendo 3.177 MW de usinas hidroelétricas; 2.783 MW de usinas eólicas; 1.411 MW de usinas termoelétricas à biomassa; e 138 MW de pequenas hidroelétricas.

Em 2016, segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016), o Brasil conta com 371 usinas sulcroenergética cadastradas em funcionamento, distribuídas em 69 (regiões Norte-Nordeste) e 302 (região Centro-Sul). Vários cenários indicam que a bioenergia terá uma participação de 25% do fornecimento global de energia primária em 2050. A bioenergia pode ser um motor para transformar a maneira como usamos nossos recursos e terra (SOUZA et al., 2015). O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE, 2020), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), aponta uma maior participação da biomassa vegetal na cogeração de energia.

As culturas lignocelulosicas (agrícolas e florestais) que são destinadas à produção de biocombustíveis sólidos para aplicações térmicas ou para a geração de calor e eletricidade devem cumprir com uma série de características, tais como: serem adaptadas às condições edafoclimáticas onde se implantar; apresentarem alto nível de produtividade em biomassa com baixos custos de produção; serem rentáveis para o produtor; apresentarem pouco ou nada de aproveitamento alimentício; apresentarem balanço energético positivo e que a biomassa produzida seja adequada para fins de utilização (INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA – IDAE, 2007).

Nota-se que a biomassa utilizada na cogeração de energia elétrica é baseada fortemente no bagaço da cana-de-açúcar ao apresentar as exigências relatadas anteriormente. Contudo, a fim de atender a demanda de matéria-prima existente é indispensável procurar culturas alternativas, como o sorgo biomassa. Este tipo de sorgo é considerado matéria-prima energética potencial em sistemas de cogeração (produção combinada de calor e eletricidade) (PARRELLA et al., 2011; CARRILLO et al., 2014). O sorgo biomassa apresenta-se como uma cultura promissora para cogeração de energia por apresentar produtividades de até 150 t/ha de massa fresca em ciclo de apenas cinco meses de cultivo totalmente mecanizável (MAY et al., 2013).

2.2 Cultura do Sorgo Biomassa

2.2.1 Classificação botânica, biologia floral e o modo de reprodução

O sorgo é uma planta monoica, considerada uma espécie autógama, mas apresenta uma taxa de fecundação cruzada que pode variar de 2% a 10%. Pertence a ordem *Poales*, e é uma gramínea da família *Poaceae*, gênero *Sorghum*, cuja espécie é *Sorghum bicolor* (L.) Moench (SANTOS; CASELA; WAQUIL, 2005). Os tipos de sorgo comerciais pertencem a essa espécie, independente de sua morfologia e finalidade, e podem ser classificados como sorgo granífero, sorgo forrageiro, sorgo sacarino e sorgo biomassa.

Em relação à biologia floral, o pólen germina imediatamente ao entrar em contato com o estigma receptivo. Sua inflorescência é do tipo panícula, com eixo central ou ráquis, de onde partem eixos secundários, com diversas formas em

função da variedade. Nos eixos, as espiguetas se encontram aos pares, sendo uma séssil e outra pedicelada. As espiguetas pediceladas consistem de duas glumas, onde estão inseridas duas flores, uma superior e masculina com um conjunto de lema e pálea contendo três estames e a inferior estéril, representada por uma única gluma. A espiguetas séssil possui duas flores: uma estéril e outra fértil. A flor fértil tem duas glumas; uma inferior e outra superior; uma lema estéril; um conjunto lema e pálea; duas lodículas; três estames e um pistilo (ovário, estilo e estigma). O fruto é do tipo cariopse, podendo apresentar diferentes teores de tanino, que é uma substância que confere resistência ao ataque de pássaros (VON PINHO, 2007).

No sorgo biomassa tem-se a macho-esterilidade genético-citoplasmática, resultante da combinação de citoplasma Milo e genes Kafir. Trata-se de uma característica que envolve genes mitocondriais, herdados maternalmente, e outros que são restauradores de fertilidade de natureza nuclear. Assim, a obtenção de híbridos é viabilizada pelo cruzamento entre linhagens macho-estéreis, denominadas “A”, e uma linhagem restauradora de fertilidade, denominada “R”, produzindo, assim, plantas macho-férteis, devido à presença de genes restauradores de fertilidade no núcleo da linhagem R. A linhagem macho-estéril é obtida por cruzamento entre uma planta macho-estéril “A” que atua como fêmea e outra planta denominada mantenedora “B” que atua como polinizador, produzindo linhagens “A” macho-estéreis, devido ao citoplasma estéril herdado desta linhagem. Ambas as linhagens (“A” e “B”) são isogênicas, mas diferem na fertilidade do pólen devido à presença de citoplasma normal na linhagem B. Precisa-se de duas gerações para a produção de sementes híbridas de sorgo biomassa, sendo uma para multiplicação das sementes das linhagens “A” e “R”, separadamente, e outra para produzir a semente híbrida de “A com “R” (PARRELLA N., 2011a).

2.2.2 Aspectos agronômicos e econômicos

O sorgo, em geral, teve um grande desenvolvimento em muitas regiões agrícolas do mundo chegando a ser o quinto cereal cultivado, após o trigo, milho, arroz e cevada (SANTOS; CASELA; WAQUIL, 2005).

No Brasil, a cultura do sorgo teve um avanço significativo a partir da década de 1970, quando a área de plantio alcançou 80 mil hectares, concentrados

principalmente no Rio Grande do Sul e São Paulo. O sorgo apresenta uma maior capacidade de produção em regiões semiáridas onde existe grande possibilidade de ocorrência de déficit hídrico. Deste modo, ele vem sendo utilizado como substituto de algumas culturas de verão, como por exemplo, do milho (LIRA, 1981).

O sorgo no Brasil, além de ser utilizado como grão e forragem para alimentação animal, tem outras funções importantes, como é o caso de energia renovável por meio da produção de etanol lignocelulósico e geração de energia térmica, elétrica e mecânica, mediante a queima da biomassa, que é uma das tendências futuras de sua utilização (ÚNICA, 2014).

O sorgo é uma planta C4 com alta eficiência fotossintética. É uma planta de clima tropical de dia curto com precipitações anuais entre 375 e 625 mm. A temperatura de desenvolvimento do cultivo fica entre 16 a 38°C (RIBAS, 2000). As plantas apresentam porte alto (acima de 3,0 m), colmos grossos e fibrosos, panículas pequenas, baixa produção de grãos, cuja utilização na produção de energia baseia-se na digestão de sua fração fibrosa para ser transformada em energia calórica (VON PINHO, 2007).

Uma característica vantajosa do sorgo biomassa é a propagação por sementes, gerando menor custo operacional (MAY et al., 2013). Ademais, é uma cultura totalmente mecanizável, com ciclo curto (cinco meses) semeado no início da época chuvosa (primavera), sendo a colheita realizada durante o período de entressafra da cana-de-açúcar, reduzindo, deste modo, o período de ociosidade das usinas sulcroenergéticas e termoelétricas e, conseqüentemente, gerando mais renda (PARRELLA et al., 2011). Acrescenta-se ainda que a biomassa apresenta vantagens adicionais como o menor custo de produção, ser renovável, menos poluente que outras formas de energia, como combustíveis fósseis, e melhor aproveitamento dos resíduos (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010).

2.2.3 Melhoramento genético

A origem do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] está registrada como tendo ocorrido no noroeste da África. Estima-se que a domesticação do sorgo aconteceu aproximadamente cerca de 7.000 anos, a partir da seleção das espécies

silvestres (*Sorghum arundinaceum* ou *Sorghum verticilliflorum*) (SANTOS; CASELA; WAQUIL, 2005).

No Brasil, a introdução de germoplasma de sorgo se iniciou na década de 1950, principalmente a partir de genótipos oriundos do International Crops Research Institute For The Semi-Arid Tropics “ICRISAT” (Índia), de coleções do Centro Internacional de Agricultura Tropical “CIAT” (Colômbia), e de instituições públicas dos Estados Unidos (USDA, Purdue University), os quais tiveram importante contribuição para os programas de melhoramento do Brasil (SANTOS et al., 2005).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) iniciou o primeiro programa de melhoramento de sorgo em meados de 1970. A Embrapa Milho e Sorgo, sediada em Sete Lagoas, MG, implantaram em 1975 o Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de sorgo em geral (*Sorghum bicolor* L. Moench.) com a introdução de uma coleção de aproximadamente 940 acessos provenientes da Purdue University (USA), sendo que eles são também provenientes de outros países, na sua maioria da África e Índia, reforçando, assim, as fontes de genótipos no Brasil (ANDRADE, 1994).

O aumento significativo de interesse da cultura do sorgo no Brasil foi devido a três fatores fundamentais. O primeiro está relacionado à criação do Grupo Pro-Sorgo, no início da década de 90, o qual fomentou a produção de sorgo no Brasil, avaliando as potencialidades da cultura e suas tecnologias modernas. O segundo está ligado à possibilidade de utilização do sorgo como cultura de rotação, mediante produção de plantio direto nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. E o terceiro referente à importância da safra de inverno nas regiões central do Brasil, onde o sorgo tem maior resistência ao estresse hídrico do que o milho (EMBRAPA, 2010).

Para as novas tecnologias, foi importante incursionar novos híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo, de alta produtividade, que possibilitaram aumentar o tempo do ciclo vegetativo e, correlativamente, a produção de biomassa por hectare/ciclo, comparado com cultivares insensíveis ao fotoperíodo (PARRELLA et al., 2010).

As pesquisas a respeito da obtenção de novas cultivares destinadas à cogeração de energia elétrica iniciaram recentemente. Na Embrapa Milho e Sorgo foi desenvolvido em 2015 o primeiro híbrido de sorgo biomassa denominado

BRS716, apresentando produtividade, em média, de 120 a 150 toneladas de matéria fresca por hectare, e um porte de cinco a seis metros de altura, com alto teor de fibras (22 a 28%) e baixo teor de umidade (em torno de 50%) (SORGO..., 2014). A empresa privada Nexsteppe, dedicada ao melhoramento genético de sementes de sorgo e desenvolvimento de matérias-primas sustentáveis para as indústrias de bioenergia, produziu a cultivar ‘Palo Alto’, apresentando como destaque menor percentagem de umidade (49,5%) (BIOMASSA; ENERGIA, 2015).

Para o desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa foi necessário partir de cruzamentos entre um conjunto de linhagens insensíveis (*mal mal*) e um grupo de linhagens sensíveis (*Mal Mal*). Deste modo, obtiveram-se híbridos sensíveis ao fotoperíodo com constituição genética *Mal mal*, já que segundo Quinby e Schertz (1970 citado por PARRELLA et al. 2010, p. 7), a constituição genética *Mal__* corresponde a indivíduos sensíveis ao fotoperíodo. Posteriormente, além do exposto anteriormente, para continuar com a obtenção de híbridos sensíveis são utilizadas linhagens macho-estéreis insensíveis, denominadas A1, como fêmeas, cruzadas com linhagens restauradoras de fertilidade sensíveis ao fotoperíodo, denominadas R1, no grupo de machos. Os híbridos são obtidos de duas formas, coletando-se o pólen nos machos para polinizar de forma manual as fêmeas, e a outra forma por meio da utilização de campos isolados constituídos por linhagens macho-estéreis e uma única linhagem fértil produtora de pólen, com plantio alternado na proporção de três fêmeas para um macho. É importante levar em conta que no Brasil quando se trabalha com os machos sensíveis ao fotoperíodo, os cruzamentos têm que ser conduzidos entre o Equinócio de Outono (20 de março) e o Equinócio de Primavera (23 de setembro) já que em esse intervalo de tempo o fotoperíodo é menor que 12 horas e 20 minutos (PARRELLA et al., 2010).

As características agronômicas importantes relacionadas à produção de biomassa são: altura de planta (AP), produção de massa verde (PMV), produção de massa seca (PMS), tempo de florescimento (FLOR) e sensibilidade ao fotoperíodo (BORGES DAMASCENO, 2013). Alguns híbridos promissores têm alcançado, em média, mais de 30 t ha⁻¹ de matéria seca. No trabalho realizado por CASTRO (2014) observou-se uma produção média de 34 t ha⁻¹ de matéria seca,

sendo que alguns produtos obtidos por melhoramento já apresentam produção acima de 50 t ha^{-1} de matéria seca (PARRELLA et al., 2010 e 2011).

Diante da finalidade do sorgo biomassa para geração e cogeração de energia térmica, elétrica e mecânica é necessário considerar a avaliação de outros caracteres, como teor de fibra (celulose, hemicelulose e lignina) e teor de umidade. Contudo, a avaliação do poder calorífico da biomassa tem associação mais direta com a geração e cogeração. No trabalho realizado por Castro et al. (2015) foram observados genótipos com poder calorífico médio de $4.400 \text{ Kcal kg}^{-1}$ com 62% de umidade. Outro destino da biomassa poderia ser voltado para produção de biocombustível lignocelulósico (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010; PARRELLA et al., 2010; PARRELLA et al., 2011).

Para a recomendação de cultivares de sorgo biomassa, tem-se a necessidade da avaliação do desempenho dos genótipos nos diferentes ambientes de cultivo, dado a evidência do efeito da interação genótipos x ambientes (CASTRO et al., 2015). Desse modo, a caracterização do potencial das cultivares quanto à adaptabilidade e à estabilidade consiste em uma estratégia importante no sentido de minimizar os efeitos da interação genótipos x ambientes e, por conseguinte, o risco de recomendação (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

2.3 Métodos de estudo de adaptabilidade e estabilidade

A interação genótipos x ambientes (G x A), definida como sendo a resposta diferencial dos genótipos à variação do ambiente, dificulta a seleção de genótipos amplamente adaptados (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). A avaliação de genótipos em um único ambiente não permite que o componente da interação seja isolado, podendo gerar confusão na estimativa da variância genética como também na herdabilidade, comprometendo o ganho esperado com a seleção, sendo necessário, para isto, que os genótipos sejam avaliados em dois ou mais ambientes (TERASAWA JÚNIOR et al., 2008).

O desenvolvimento de uma planta depende de vários fatores abióticos ou bióticos, como a intensidade da radiação solar, o fotoperíodo, a pluviosidade, a temperatura, a disponibilidade de água, fertilidade de solo, os tratos culturais e pragas e doenças. Esses fatores são expressos de diferentes formas entre os

ambientes e anos de cultivo, contribuindo para a interação G x A (RAMALHO et al., 2012).

A interação G x A pode ser classificada em dois tipos: simples, quando não causa mudança na classificação dos genótipos nos ambientes, indicando a presença de genótipos adaptados a uma maior quantidade de ambientes diferentes, sendo a recomendação de genótipos mais generalizada; e complexa, quando altera a classificação, indicando a presença de genótipos adaptados a ambientes particulares, sendo a recomendação restrita a ambientes específicos, gerando dificuldade para o melhorista no momento da tomada de decisões (RAMALHO et al., 2012).

A parte simples da interação G x A é proporcionada pela diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, enquanto a interação complexa está ligada à falta de correlação nos desempenhos médios dos genótipos entre ambientes (ROBERTSON, 1959; CRUZ; CASTOLDI, 1991; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Na presença de interação G x A, faz-se necessário um melhor detalhamento do comportamento dos genótipos quanto a sua adaptabilidade e estabilidade. A adaptação e a estabilidade são fenômenos que ficam intimamente relacionados, sendo algumas vezes considerados sinônimos de forma errônea (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992), tornando-se um problema devido às diferentes definições e interpretações apresentadas por diversos autores.

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).

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 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 anos dentro de locais, ou seja, indivíduos estáveis frente às variações imprevisíveis (RAMALHO et al., 2012).

Becker (1981) denominou a estabilidade do tipo 1 como “estabilidade no sentido biológico”. 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, 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 por Becker (1981) de “estabilidade no sentido agrônomo”, permite identificar genótipos estáveis e com potencial de se manterem entre os melhores em todos os ambientes.

Os estudos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à cultura de sorgo biomassa são muito escassos, podendo-se mencionar alguns artigos, como o apresentado por Souza et al. (2015) cujo objetivo foi verificar a influência dos métodos de correção de estande na recomendação de cultivares de sorgo biomassa pelo método de adaptabilidade e estabilidade de Annicchiarico, onde dos genótipos avaliados (25 genótipos) só 10 foram considerados adaptáveis e estáveis. Em outro estudo, Silva R. et al. (2016) com o objetivo de verificar a presença de interação G x A em 34 híbridos de sorgo biomassa em duas regiões do Mato Grosso, bem como identificar os materiais mais produtivos, identificaram dois híbridos, dentre os demais, apresentando as maiores médias de produção para as duas características avaliadas. Também o artigo de Castro et al. (2015), que objetivou identificar genótipos de sorgo biomassa com maior potencial agrônomo e energético e verificar a associação fenotípica entre propriedades agrônomicas e tecnológicas nos híbridos, confirmou esta última hipótese.

No entanto, uma maior quantidade de pesquisas relacionada à adaptabilidade e estabilidade nos diferentes estados do Brasil tem sido realizada em outros tipos de sorgo. Pode-se destacar os trabalhos realizados para sorgo sacarino de Figueiredo et al. (2015), onde se utilizaram os métodos GGE Biplot e Toler verificando-se que os métodos foram complementares permitindo a indicação de genótipos adaptados e estáveis com maior confiabilidade; o artigo

apresentado por França (2014) com o objetivo de avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo sacarino em relação à produtividade de massa verde e ao Brix utilizando os métodos de centróide e Annicchiarico (1992); e o trabalho de Eculica (2014) e Souza et al. (2013). Já no sorgo granífero, o trabalho apresentado por Silva (2016), cujo objetivo foi selecionar genótipos de sorgo granífero com adaptabilidade e estabilidade produtiva em diversas regiões brasileiras e verificar a associação entre os métodos de Lin e Binns (1988), Wricke (1965), Annicchiarico (1992) e Zobel et al. (1988), mostrou haver uma concordância de resultados entre os métodos Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992), tendo associação relativamente fraca do método AMMI com Wricke (1965) e Annicchiarico (1992), o que permite o uso combinado desses métodos em estudos de estabilidade e adaptabilidade.

No presente trabalho serão discutidos, de forma mais detalhada, os métodos de Toler e Annicchiarico, já que fornecem informações adicionais e complementares sobre a estabilidade fenotípica (BORGES et al., 2000).

2.3.1 Método de Toler (1990)

O método Toler (1990) propõe distinguir entre uma reta linear e um padrão de resposta do genótipo (modelo unissegmentado) e uma combinação de duas retas com diferentes inclinações, sendo uma abaixo e outra acima da média do local (modelo bissegmentado), oferecendo como representação padrão de resposta convexo (duplamente desejável) e padrão de resposta côncavo (duplamente indesejável) (MORAIS, 2008).

O método tem a capacidade de caracterizar melhor o comportamento dos genótipos e detectar linhagens promissoras dentro de cada padrão de resposta. De acordo com a necessidade do programa, de fato o melhorista poderá selecionar genótipos com potencial genético para serem usados em cruzamentos futuros com base nos padrões de resposta (MORAIS, 2008).

No método de Toler (1990), o índice ambiental é denotado μ_l , sendo porém, estimado simultaneamente aos demais parâmetros da regressão. O modelo estatístico proposto por este método será descrito na metodologia.

Neste modelo, a resposta do genótipo i passa a ser caracterizada pelos parâmetros α_i , β_{1i} e β_{2i} . Os parâmetros β_{1i} , β_{2i} e μ_l estão sujeitos às restrições,

garantindo que o desempenho médio dos genótipos ($\hat{\alpha}_i$) ocorra com $\hat{\mu}_i = 0$ na escala de efeitos locais e que a resposta da sensibilidade média dos genótipos seja igual a unidade. (RAMALHO et al., 2012).

Na avaliação de genótipos submetidos em diferentes locais, avaliada pelo método Toler (1990), segundo RAMALHO et al. (2012), primeiramente é preciso ajustar o modelo bissegmentado (modelo II) ao teste da Hipótese $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$. Se o resultado obtido do teste for significativo, então tem que utilizar o modelo bissegmentado. Caso contrário, é tomado em consideração o modelo I de Toler denominado não segmentado.

Este modelo é adequado para representar o desempenho médio do genótipo i , e, neste caso, testa-se a Hipótese $H_0: \beta_i = 1$, ao rejeitar a hipótese quer dizer que existem genótipos mais responsivos ($\beta_i > 1$) ou menos responsivos ($\beta_i < 1$).

Toler (1990) propôs testes das hipóteses $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ e $H (\beta_{1i} = \beta_{2i} = \beta_i = 1)$ para enquadrar os genótipos em cinco grupos, a saber: A, B, C, D e E. Assim, quando a hipótese $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ é aceita, recomenda-se o modelo unisegmentado, proposto por Digby (1979), citado por Toler (1990), permitindo enquadrar os genótipos nos grupos B, C ou D. Caso contrário, se tenderá a obter dois coeficientes de regressão distintos e os genótipos se enquadrarão nos grupos bissegmentados A ou E, conforme a significância desses parâmetros.

É preciso considerar que nos grupos B, C e D, a estimativa do α_i coincide com o desempenho médio do genótipo i em todos os locais ($\hat{\alpha}_i = \bar{Y}_i$). E nos grupos A e E, o α_i não pode ser formulado como uma simples função linear das observações do genótipo i nos ambientes ($\hat{\alpha}_i \neq \bar{Y}_i$). Neste caso, o $\hat{\alpha}_i$ é função também das diferenças de sensibilidade de resposta do genótipo i nos ambientes favoráveis e desfavoráveis (RAMALHO et al., 2012).

Os grupos anteriormente mencionados classificam os genótipos quanto ao comportamento frente aos ambientes. Para fins de recomendação, além desta classificação, deve se levar em conta o desempenho médio dos genótipos nos ambientes avaliados.

2.3.2 Método de Annicchiarico (1992)

Levando em conta a incógnita que tem os agricultores quando se realiza a escolha de uma cultivar, se esta apresenta desempenho abaixo da média em relação às demais cultivares, é que Annicchiarico (1992) formulou a metodologia que permite estimar o risco da adoção de uma cultivar em relação a qualquer uma das demais em avaliação (RAMALHO et al., 2012).

Para aplicar esta metodologia, as médias de cada genótipo em cada ambiente \bar{Y}_{il} são transformadas em porcentagens da média do ambiente, ou seja, ($p_{il} = \bar{Y}_{il} / \bar{Y}_j \times 100$).

Posteriormente, é estimado o desvio padrão (s_i) das porcentagens de cada genótipo pela expressão:

$$s_i = \sqrt{\sum_{l=1}^k \frac{(p_{il} - \bar{p}_i)^2}{k - 1}}$$

em que \bar{p}_i é a média das porcentagens para o genótipo i nos k locais.

Com esses dois parâmetros, \bar{p}_i e s_i pode-se estimar o parâmetro de estabilidade de Annicchiarico (1992) denominado de índice de confiança ou reliability index do genótipo i (I_i) que descreve simultaneamente a adaptabilidade e estabilidade.

O detalhamento do método de Annicchiarico mostrado anteriormente relativo à média do ambiente pode ser feito em relação à média de testemunhas ou padrões comerciais. Para isso, basta substituir o valor do numerador p_{il} da fórmula do desvio padrão (s_i) pela média da(s) testemunha(s).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de teste

Foram utilizados dados de 10 locais da rede de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de sorgo biomassa da safra 2014/2015, coordenada pela Embrapa Milho e Sorgo. A seguir é apresentada a caracterização dos locais onde foram instalados os experimentos quanto a aspectos geográficos, clima e datas de semeadura e colheita (Tabela 1, Figura 1).

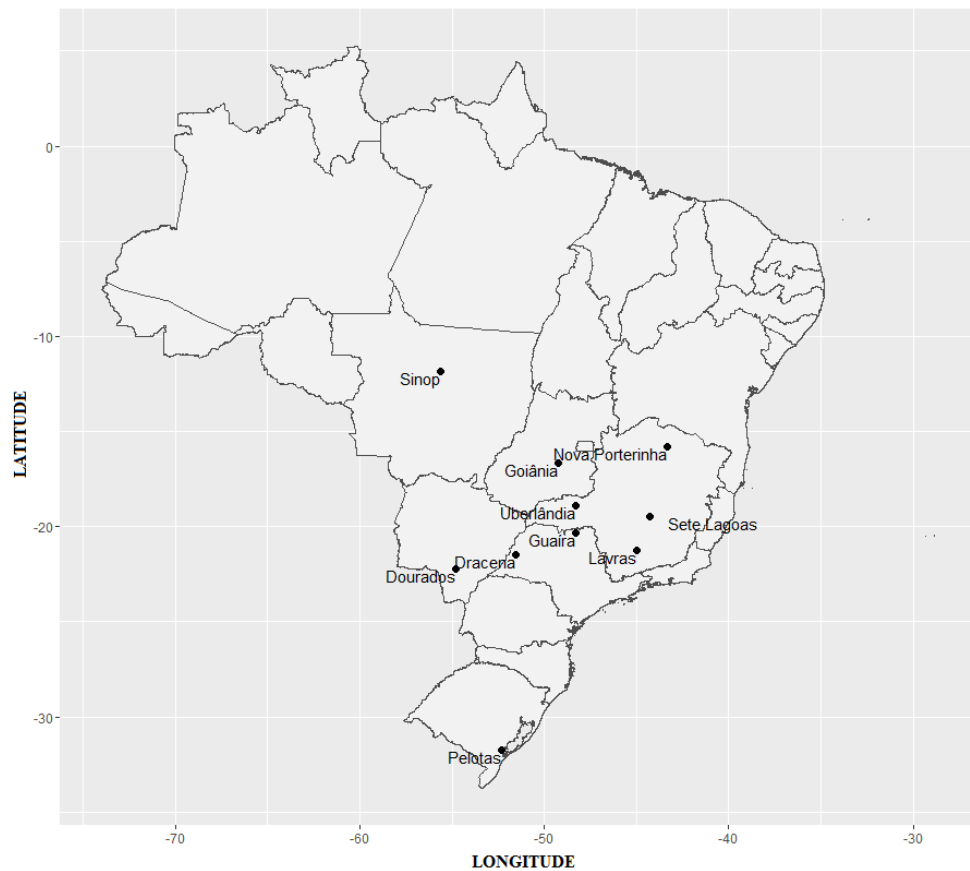
Tabela 1 – Descrição dos locais da rede de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de sorgo biomassa quanto a aspectos geográficos como Latitude (Lat.), Longitude (Long.), Altitude (Alt.), clima (CL) e datas de Plantio (DP) e colheita (DC) da safra 2014/2015.

Nº	Locais	Lat.	Long.	Alt.	DP	DC	CL ¹
1	Nova Porteirinha – MG	15° 48' S	43° 18' O	85 m	22/11/14	20/05/15	Aw
2	Dracena – SP	21° 28' S	51° 31' O	421 m	15/11/14	28/04/15	Aw
3	Uberlândia – MG	18° 55' S	48° 16' O	863 m	06/12/14	24/05/15	Aw
4	Sete Lagoas – MG	19° 27' S	44° 14' O	761 m	06/11/14	12/05/15	Aw
5	Lavras – MG	21° 14' S	45° 00' O	919 m	22/11/14	12/05/15	Cwa
6	Goiânia – GO	16° 40' S	49° 15' O	823 m	18/12/14	23/05/15	Aw
7	Dourados – MS	22° 13' S	54° 48' O	430 m	11/11/14	13/05/15	Aw
8	Sinop – MT	11° 50' S	55° 38' O	384 m	04/12/14	11/05/15	Aw
9	Pelotas – RS	31° 46' S	52° 20' O	7 m	06/12/14	25/03/15	Cfa
10	Guaira – SP	24° 04' S	54° 15' O	220 m	26/11/14	14/04/15	Cfa

¹classificação climática de Koppen

Fonte: Do autor (2017).

Figura 1 - Representação gráfica da coordenadas geográficas dos locais onde foram realizados os experimentos da rede de Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de sorgo biomassa da safra 2014/2015.



Fonte: Do autor (2017).

3.2 Genótipos avaliados

Nos experimentos da rede de Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da safra 2014/2015 foram avaliados 36 genótipos, sendo 33 híbridos simples experimentais de sorgo biomassa com sensibilidade ao fotoperiodismo, desenvolvidos pelo programa de melhoramento de sorgo biomassa da Embrapa Milho e Sorgo e três testemunhas (BRS 655, Volumax e BRS 716), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Genótipos de sorgo biomassa avaliados na rede de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da safra 2014/2015.

Nº	Genótipo	Nº	Genótipo
1	201429B001	19	201429B019
2	201429B002	20	201429B020
3	201429B003	21	201429B021
4	201429B004	22	201429B022
5	201429B005	23	201429B023
6	201429B006	24	201429B024
7	201429B007	25	201429B025
8	201429B008	26	201429B026
9	201429B009	27	201429B027
10	201429B010	28	201429B028
11	201429B011	29	201429B029
12	201429B012	30	201429B030
13	201429B013	31	201429B031
14	201429B014	32	201429B032
15	201429B015	33	201429B033
16	201429B016	34	BRS 716
17	201429B017	35	Volumax
18	201429B018	36	BRS655

Fonte: Autor (2017).

3.3 Planejamento e condução dos experimentos

Os experimentos foram implantados no delineamento experimental látice triplo 6 x 6. As parcelas foram constituídas por quatro sulcos de 5,0 m de comprimento, espaçados em 0,7 m entre si, sendo consideradas apenas as duas linhas centrais, como área útil.

De modo geral, os experimentos foram conduzidos seguindo o mesmo manejo sob cultivo mínimo. Foi feita a sulcagem da área e simultânea adubação de plantio mediante aplicação do formulado 8-28-16 em função da recomendação para a cultura e observado às análises de solo. Nesta ocasião foi aplicado 1/3 do nitrogênio. A semeadura foi realizada de forma manual a uma profundidade de 3 a

4 cm. O desbaste foi realizado cerca de 10 a 15 dias após a emergência, deixando-se 10 plantas por metro linear. A densidade populacional foi de 140.000 plantas ha^{-1} . A adubação de cobertura dos 2/3 restantes do nitrogênio foi aplicada aos 30 a 35 dias após a emergência. O controle de plantas daninhas foi realizado mediante a aplicação de herbicidas, especialmente à base de atrazina com dosagem de 3 kg ingrediente ativo por hectare, complementado por capina mecânica. Foram realizadas aplicações eventuais de inseticidas e fungicidas para o controle de insetos-praga e doenças, observado a incidência.

A colheita foi feita manualmente com tempo variável entre os locais de 109 (Pelotas) a 187 (Sete Lagoas) dias após a semeadura ou plantio (DAP), com média de 162 DAP.

3.4 Caracteres avaliados

As características morfoagronômicas avaliadas foram:

a) Dias para florescimento (FLOR): contagem do número de dias decorridos desde o plantio até o ponto em que 50% das plantas da parcela estiveram em florescimento, ou seja, 50% das flores da panícula de cada planta com liberação de pólen;

b) Altura da planta (ALT): mensurada em metros desde a superfície do solo até o ápice da panícula. Foram tomados dados de cinco plantas escolhidas aleatoriamente da área útil da parcela e calculada a média;

c) Produção de massa verde total (PMV): determinada pela pesagem em kg $parcela^{-1}$ de todas as plantas (completas) da área útil de cada parcela utilizando balança de suspensão, tendo sido cortadas a 10 cm da superfície do solo. Os dados da PMV foram, em seguida, transformados para toneladas $hectare^{-1}$;

d) Produção de massa seca total (PMS): foram tomadas aleatoriamente cinco plantas inteiras sem panículas, as quais foram passadas numa picadora de forrageira elétrica. A seguir foi feita a homogeneização do material e retirada uma amostra para secagem em estufa com ventilação forçada a 60°C. A massa seca, expressa em porcentagem, (%MS) foi determinada pela diferença entre os pesos do material fresco e seco. Posteriormente, foi calculada a PMS, toneladas por hectare, pelo produto da PMV e a %MS;

e) Umidade (UMID): calculada pela diferença entre os pesos do material fresco e seco e, em seguida, expressos em porcentagem.

É importante ressaltar que as características mencionadas anteriormente não foram aferidas em todos os locais. O caráter “FLOR” foi obtido em seis locais (Sete Lagoas-MG, Sinop-MT, Lavras-MG, Nova Porteirinha-MG, Uberlândia-MG e Goiânia-GO). Nos caracteres ALT e PMV foram possíveis obter a informação nos dez locais avaliados (Sete Lagoas-MG, Sinop-MT, Lavras-MG, Nova Porteirinha-MG, Uberlândia-MG, Goiânia-GO, Dourados-MS, Dracena-SP, Pelotas-RS e Guaíra-PR). Os seis locais onde foram avaliadas as duas últimas características PMS e UMID são Sete Lagoas-MG, Sinop-MT, Lavras-MG, Nova Porteirinha-MG, Uberlândia-MG e Dourados-MS.

3.5 Análise estatística

Primeiramente procedeu-se à análise dos dados por local, mediante recuperação da informação interblocos, de acordo com o modelo apresentado a seguir:

$$y_{ijk} = \mu + r_j + b_{(j)k} + g_i + e_{ijk}$$

em que

y_{ijk} é a observação da parcela que recebeu o genótipo i no bloco k dentro da repetição j ;

μ é a constante associada a todas as observações;

r_j é o efeito fixo da repetição j ;

$b_{(j)k}$ é o efeito aleatório do bloco k dentro da repetição j , sendo

$$b_{(k)j} \sim N(0, \sigma_b^2);$$

g_i é o efeito fixo do genótipo i ;

e_{ijk} é o erro experimental aleatório associado à observação Y_{ijk} , sendo

$$e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2).$$

Para a análise de variância multilocais, foi utilizado o seguinte modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + a_l + r_{j(l)} + b_{(il)k} + g_i + ga_{il} + e_{ijkl}$$

em que

y_{ijkl} é a observação da parcela do bloco k dentro da repetição j no local l que recebeu o genótipo i ;

μ é a constante associada às observações;

a_l é o efeito do local l ;

$r_{j(l)}$ é o efeito da repetição j dentro do local l ;

$b_{(jl)k}$ é o efeito aleatório do bloco k dentro da repetição j no local l ,

$$b_{(il)k} \sim N(0, \sigma_b^2);$$

g_i é o efeito do genótipo i ;

ga_{il} é o efeito da interação do genótipo i com o local l ;

e_{ijkl} é o erro experimental associado à observação y_{ijkl} , $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma_e^2)$

As análises de variância individuais e as análises de variância conjuntas (multilocais) foram realizadas com o auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2015) utilizando o pacote lme4 (BATES et al., 2015). Previamente à realização das análises multilocais foi testada a hipótese de homogeneidade das variâncias residuais a partir da razão entre o maior e o menor quadrado médio residual dos experimentos individuais, admitindo-se sua aceitação quando o valor da razão supracitada foi inferior a sete, conforme sugerido por Pimentel-Gomes (1990). Logo, as médias dos genótipos ajustadas pelo pacote Lsmeans (ROSSELL, 2016) e, a seguir, foi realizado o agrupamento pelo teste de Scott-Knott (1974) com significância em nível de 5% de probabilidade, por meio do pacote ExpDes (FERREIRA et al., 2013). Como uma medida da precisão experimental, estimou-se a acurácia seletiva por local (RESENDE; DUARTE, 2007), determinada a partir do seguinte estimador:

$$\hat{r}_{gg} = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}}$$

em que

F_c é o valor do teste F-Snedecor para o efeito dos genótipos na análise de variância.

Também foi estimado o coeficiente de variação experimental por local para aferir a precisão experimental (GARCIA, 1989; PIMENTEL-GOMES, 1991), determinado pela expressão a seguir:

$$CV_e = \frac{s_e}{\bar{y}} 100$$

em que

s_e é estimativa do desvio padrão do erro;

\bar{y} é a média geral.

Procedeu-se à análise de estabilidade fenotípica pelo método de Toler (1990) mediante uso do programa Estabilidade (FERREIRA, 2015). Este método tem a capacidade de caracterizar melhor o comportamento dos genótipos e detectar os promissores, dentro de cada padrão de resposta (MORAIS, 2008), de acordo com o modelo II abaixo:

$$\bar{Y}_{il} = \alpha_i + [Z_l\beta_{1i} + (1 - Z_l)\beta_{2i}] \mu_l + \delta_{il} + \bar{e}_{il}$$

Em que

\bar{Y}_{il} é a resposta média do genótipo i no local l ($i = 1, 2, \dots, "p"$ genótipos; e $l = 1, 2, \dots, "k"$ local);

α_i é o parâmetro que reflete o valor da resposta do genótipo i no local de produtividade média ($\mu_l = 0$);

β_{1i} e β_{2i} são parâmetros que refletem a sensibilidade de resposta do genótipo nos locais de baixa ($\mu_l \leq 0$) e de alta ($\mu_l > 0$) produtividade média, respectivamente;

μ_l é o parâmetro que reflete o efeito do local l ;

Z_l é uma variável indicadora *dummy*, sendo $Z_l = 1$ quando $\mu_l \leq 0$, e $Z_l = 0$ quando $\mu_l > 0$;

δ_{il} é o desvio da regressão do genótipo i no local l ;

\bar{e}_{il} é o erro experimental médio.

Neste modelo, a resposta do genótipo i passa a ser caracterizada pelos parâmetros α_i , β_{1i} e β_{2i} . Os parâmetros β_{1i} , β_{2i} e μ_l estão sujeitos a restrições, garantindo que o desempenho médio dos genótipos ($\hat{\alpha}_i$) ocorra com $\hat{\mu}_l = 0$ na escala de efeitos locais e que a resposta da sensibilidade média dos genótipos seja igual a unidade (RAMALHO et al., 2012).

Após ajuste do modelo II de Toler (1990), procedeu-se ao teste da hipótese $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$. Em caso de não significância, foi realizada uma nova análise de regressão empregando-se o modelo I de Toler (modelo não segmentado), conforme apresentado a seguir:

$$\bar{y}_{il} = \alpha_i + \beta_i \mu_l + \delta_{il} + \bar{e}_{il}$$

em que

\bar{y}_{il} é a resposta média do genótipo i no local l ;

α_i é o parâmetro que reflete o valor da resposta do genótipo i no local de produtividade média ($\mu_l = 0$);

β_i é o parâmetro que reflete a sensibilidade de resposta do genótipo i ;

μ_l é o parâmetro que reflete o efeito do local l ;

δ_{il} é o desvio da regressão do genótipo i no local l .

\bar{e}_{il} é o erro experimental médio.

A partir dos modelos com ajustes adequados, procedeu-se à classificação dos padrões de resposta dos genótipos frente aos locais avaliados de acordo com Toler (1990) (Tabela 3).

Tabela 3 – Critérios e significados práticos dos cinco grupos que definem os padrões de resposta dos genótipos frente aos locais avaliados.

Grupo	Critérios e significados práticos
A	Rejeita-se $H_0 (\beta_{1i} = \beta_{2i})$, sendo $\beta_{1i} < 1 < \beta_{2i}$; (resposta convexa). Não se rejeita $H_0 (\beta_{1i} = \beta_{2i})$, rejeita-se $H_0 (\beta_{1i} = 1)$, mas β_i comum é maior que 1; (resposta linear simples e desejável só em locais de alta qualidade).
B	Rejeita-se $H_0 (\beta_{1i} = \beta_{2i})$, se aceita $H_0 (\beta_i = 1)$; (resposta linear não desviando da resposta média).
C	Rejeita-se $H_0 (\beta_{1i} = \beta_{2i})$, rejeita-se $H_0 (\beta_i = 1)$, mas β_i comum é menor que 1; (resposta linear simples e desejável só em locais de pobre qualidade).
D	Rejeita-se $H_0 (\beta_{1i} = \beta_{2i})$, sendo $\beta_{1i} > 1 > \beta_{2i}$ (resposta côncava).
E	

Fonte: Toler (1990).

A adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos também foi descrita usando a metodologia de Annicchiarico (ANNICCHIARICO, 1992) estimando-se com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2015). Por este método, originalmente estima-se o índice de confiabilidade de cada genótipo (I_i) ou seu risco de adoção relativizado para a média do ambiente, mediante seguinte expressão:

$$I_i = \bar{p}_i - Z_{(1-\alpha)}s_i$$

em que:

\bar{p}_i : média do genótipo i em percentagem;

Z : percentil $(1 - \alpha)$ da função de distribuição normal acumulada, com $\alpha = 0,25$;

s_i : desvio padrão dos valores percentuais.

Adicionalmente, estimou-se o índice de confiabilidade de Annicchiarico relativizado para a média da testemunha comercial de sorgo biomassa BRS 716. O princípio para cômputo do índice foi análogo ao mostrado anteriormente. Para ambos os casos de aplicação da metodologia de Annicchiarico foram feitas as representações gráficas dos desempenhos relativos dos genótipos nos diferentes locais de forma análoga ao apresentado por Nunes et al. (2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precisão experimental foi avaliada observando as estimativas da acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}) e do coeficiente de variação experimental (CV_e) (PIMENTEL-GOMES, 2015; RESENDE; DUARTE, 2007). De modo geral, a precisão foi alta para todos os caracteres mensurados, indicando alta confiabilidade dos dados experimentais para fins seletivos (Tabela 4).

Tabela 4 – Estimativa dos parâmetros (PAR.): estatística F para o efeito de genótipos (FC), média geral (\bar{y}), acurácia seletiva (\hat{r}_{gg} em %) e coeficiente de variação experimental (CV_e em %) para florescimento (FLOR, em DAP), altura de planta (ALT, em m.), umidade (UMID, em %), produção de massa verde (PMV, em t ha⁻¹) e produção de massa seca (PMS, em t ha⁻¹) referentes à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em diferentes locais na safra 2014/15.

PAR.	SL	SI	LA	NP	UB	GO	DO	DR	PE	GU
FLOR (DAP)										
FC	90,46*	168,90*	411,40*	66,58*	35,99*	102,15*	-	-	-	-
\bar{y}	143	116	142	141	125	115	-	-	-	-
\hat{r}_{gg} (%)	99,45	99,70	99,88	99,25	98,60	99,51	-	-	-	-
CV_e (%)	2,36	1,24	0,80	2,80	1,58	1,35	-	-	-	-
ALT (m)										
FC	10,73*	17,06*	12,4*	11,69*	14,95*	1,56 ^{NS}	19,15*	13,14*	2,12*	26,14*
\bar{y}	4,85	5,11	4,95	4,44	4,71	4,33	4,04	3,70	2,53	4,99
\hat{r}_{gg} (%)	95,23	97,03	95,89	95,63	96,60	59,75	97,35	96,12	72,72	98,07
CV_e (%)	6,40	5,17	6,15	6,08	4,88	12,95	4,73	6,49	8,64	4,05
UMID (%)										
FC	2,91*	3,17*	1,09 ^{NS}	2,90*	2,28*	-	5,76*	-	-	-
\bar{y}	66,66	69,12	66,77	66,95	68,76	-	75,25	-	-	-
\hat{r}_{gg} (%)	80,99	82,75	28,48	80,94	74,93	-	90,91	-	-	-
CV_e (%)	3,84	3,69	6,64	2,91	3,83	-	2,12	-	-	-
PMV (t ha ⁻¹)										
FC	3,91*	8,97*	6,73*	2,07*	3,11*	3,92*	4,68*	5,26*	3,05*	2,34*
\bar{y}	42,23	65,48	82,61	43,08	51,52	51,75	102,98	55,30	36,57	87,42
\hat{r}_{gg} (%)	86,27	94,26	92,27	71,94	82,34	86,32	88,69	89,98	81,95	75,64
CV_e (%)	21,11	10,75	13,24	17,21	21,40	15,75	17,43	18,26	14,95	18,25
PMS (t ha ⁻¹)										
FC	4,00*	7,02*	3,16*	1,09 ^{NS}	4,29*	-	4,28*	-	-	-
\bar{y}	14,18	20,32	27,24	14,17	16,14	-	25,22	-	-	-
\hat{r}_{gg} (%)	86,62	92,61	82,66	28,17	87,58	-	87,56	-	-	-
CV_e (%)	22,94	13,71	19,43	19,55	20,44	-	17,74	-	-	-

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{NS} Não significativo. SL (Sete Lagoas); SI (Sinop); LA (Lavras); NP (Nova Porteira); UB (Uberlândia); GO (Goiânia); DO (Dourados); DR (Dracena); PE (Pelotas); GU (Guaira).

Fonte: Do autor (2017).

Os valores da $\hat{r}_{\hat{g}g}$ variaram de 28,17% (PMV, Nova Porteirinha) a 99,89% (FLOR, Lavras), enquanto os valores de CV_e oscilaram de 0,80% (FLOR, Lavras) a 22,94% (PMS, Sete Lagoas). Observou-se que as características FLOR, ALT e UMID se mostraram mais estáveis (menores valores de CV_e) em relação à PMV e PMS, o que indica uma influência maior do ambiente na expressão fenotípica desses dois últimos caracteres. Os valores de $\hat{r}_{\hat{g}g}$ e de CV_e para os caracteres ALT, PMV e PMS avaliados no presente trabalho estão de acordo com os obtidos por Castro et al. (2015). Entretanto, o valor de CV_e para FLOR não concordou com Castro et al. (2015) (13,96%), uma vez que seu valor foi, em média, mais baixo. Silva et al. (2016 b.) também obtiveram valores de CV_e similares para os caracteres PMV (14,29%) e PMS (17,20%).

Valores elevados de acurácia foram consistentemente associados a valores baixos de CV_e , evidenciando a correspondência entre esses parâmetros para fins de aferição da precisão experimental, especialmente nos casos em que houve diferença entre os genótipos testados (Tabela 4). Nos casos em que não foi observada diferença entre os genótipos, a acurácia deve ser interpretada com cautela, visto sua relação com a variação genética. Este fato foi observado para o caráter ALT em Goiânia ($\hat{r}_{\hat{g}g} = 59,75\%$; $CV_e = 12,95\%$), UMID em Lavras ($\hat{r}_{\hat{g}g} = 28,48\%$; $CV_e = 6,64\%$) e PMS em Nova Porteirinha ($\hat{r}_{\hat{g}g} = 28,17\%$; $CV_e = 19,55\%$). Fato semelhante ao relatado por Castro et al. (2015) quanto ao caráter diâmetro do colmo, no qual a acurácia relativa à avaliação dos genótipos de sorgo biomassa foi de 48,04%, enquanto o CV_e foi da ordem 7,81%.

Pela Tabela 5, pode-se notar que os efeitos de genótipos, locais e da interação genótipos x locais (G x L) foram altamente significativos ($P < 0,01$) para todos os caracteres avaliados.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância conjunta e porcentagens da variação da interação genótipos x locais do tipo simples e complexa para florescimento (FLOR, em DAP), altura de planta (ALT, m), umidade (UMID, %), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹) e produção de massa seca (PMS, t ha⁻¹) referente à avaliação de genótipos de sorgo biomassa na safra 2014/15.

Caráter	Genótipos			Locais			Genótipos x locais				
	GL	FC	% SQ	GL	FC	% SQ	GL	FC	% SQ	% Simples	% Complexa
FLOR	35	425,39**	44,37	5	721,17**	43,05	175	24,29**	12,57	42,51	57,49
ALT	35	74,00**	26,84	9	188,80**	65,70	315	2,29**	7,46	26,85	73,15
UMID	35	5,60**	16,94	5	15,31**	59,27	175	1,54**	23,79	2,18	97,82
PMV	35	20,11**	16,33	9	124,69**	77,35	315	2,49**	6,31	25,14	74,86
PMS	35	12,47**	34,19	5	40,56**	56,51	175	2,18**	9,30	15,10	84,90

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{NS} Não significativo.

Fonte: Do autor (2017).

O efeito de locais foi o que mais contribuiu para a variação fenotípica na maioria dos caracteres, especialmente para PMV (77,35%) e ALT (65,70%), excetuando-se FLOR. As diferenças entre locais estão relacionadas com fatores macro-ambientais, tais como latitude, altitude, clima e solo, aspectos geográficos e/ou diferenças relacionadas com ciclo da cultura nos diferentes ambientes, dentre outros (Tabela 1, Figura 1). Isto tem sido destacado em outros trabalhos com sorgo biomassa (CASTRO et al., 2015), bem como em outros tipos de sorgo, como o sorgo sacarino (FIGUEIREDO et al., 2015), sorgo forrageiro (CARVALHO et al., 2006) e sorgo granífero (MENEZES et al., 2014).

A amplitude de variação nos locais foi de 28 DAP, 2,58m, 8,59%, 66,41t ha⁻¹ e 13,07 t ha⁻¹ para os caracteres FLOR, ALT, UMID, PMV e PMS, respectivamente. Pode-se destacar o baixo desempenho relativo dos genótipos em Pelotas, o que pode ser explicado pela elevada latitude, uma vez que os genótipos apresentam sensibilidade ao fotoperíodo.

É importante destacar que um genótipo sensível ao fotoperíodo é aquele que necessita de períodos com noites longas para induzir o florescimento. Logo, em regiões de elevadas latitudes a decréscimo do comprimento do dia nas estações de outono e inverno, tornando-se menor que 12 horas e 20 minutos, o que contribui para a indução do floral permite ampliar o tempo vegetativo da planta, afetando a indução floral e, por conseguinte menor incremento nos caracteres ALT, PMV e PMS (PARRELLA et al., 2010; ROONEY; AYDIN, 1999).

Tabela 6 – Médias ajustadas e respectivo agrupamento pelo teste de Scott-Knot de genótipos de sorgo biomassa para florescimento (FLOR, em dias), altura de planta (ALT, m), umidade (%), produção de matéria verde (t ha⁻¹) e produção de matéria seca (t ha⁻¹) referente à ensaios multilocais na safra 2014/15.

Nº	FLOR			ALT			UMID			PMV			PMS		
	G ^{1/}	Media ^{2/}		G	Media		G	Media		G	Media		G	Media	
1	34	143	a	22	4,88	a	28	65,65	a	33	76,49	a	31	24,53	a
2	13	142	a	26	4,80	a	24	66,27	a	31	74,51	a	33	24,31	a
3	6	142	a	27	4,75	a	30	66,38	a	13	73,30	a	1	23,57	a
4	15	142	a	32	4,72	a	2	66,77	a	22	71,77	b	22	22,80	a
5	1	142	a	23	4,71	a	20	66,81	a	34	70,44	b	34	22,53	a
6	8	141	a	29	4,71	a	21	67,12	a	1	70,12	b	8	22,50	a
7	5	140	b	33	4,69	a	1	67,23	a	8	69,72	b	28	21,69	b
8	33	139	b	25	4,66	a	7	67,37	a	29	67,68	b	32	21,21	b
9	31	138	c	20	4,66	a	12	67,73	b	9	67,17	b	26	21,01	b
10	17	138	c	24	4,63	b	32	67,85	b	15	65,90	c	24	21,00	b
11	29	138	c	34	4,57	b	34	67,94	b	5	65,66	c	14	20,98	b
12	26	137	d	31	4,55	b	14	68,15	b	6	65,23	c	13	20,92	b
13	22	136	d	28	4,52	b	25	68,17	b	26	64,54	c	29	20,73	b
14	20	135	d	21	4,52	b	31	68,26	b	23	64,39	c	30	20,29	c
15	23	134	e	3	4,50	c	26	68,29	b	2	64,13	c	9	20,25	c
16	18	133	e	2	4,47	c	8	68,49	b	12	63,64	c	12	20,20	c
17	32	133	e	30	4,45	c	27	68,72	b	32	63,47	c	20	20,19	c
18	14	132	e	9	4,41	c	29	68,82	b	16	63,09	c	2	20,09	c
19	16	132	f	15	4,40	c	23	68,97	c	3	62,76	c	27	20,02	c
20	10	130	g	8	4,39	c	9	69,23	c	14	62,46	c	21	19,82	c
21	3	130	g	18	4,38	c	11	69,35	c	24	61,74	c	5	19,80	c
22	9	130	g	10	4,34	d	33	69,39	c	20	61,57	c	3	19,79	c
23	11	128	H	17	4,34	d	3	69,44	c	17	61,47	c	23	19,61	c
24	2	127	H	11	4,33	d	4	69,45	c	27	61,25	c	4	19,45	c
25	27	127	H	6	4,33	d	22	69,57	c	10	60,84	c	16	19,07	c
26	12	127	H	4	4,32	d	5	69,74	c	18	60,49	c	17	18,96	c
27	4	126	H	1	4,31	d	16	69,84	c	30	59,54	d	15	18,92	c
28	19	125	I	5	4,31	d	35	69,94	c	4	59,33	d	10	18,56	d
29	7	125	I	12	4,28	d	17	69,97	c	28	57,92	d	6	18,52	d
30	21	125	I	16	4,28	d	15	70,47	d	19	57,65	d	7	18,27	d
31	30	123	J	13	4,28	d	10	70,97	d	25	57,35	d	18	17,40	d
32	25	123	J	7	4,26	d	13	71,12	d	7	56,80	d	25	17,04	d
33	24	122	J	14	4,23	d	6	71,2	d	21	55,38	d	19	16,91	d
34	28	120	K	19	4,09	d	36	71,32	d	11	54,88	d	11	16,83	d
35	35	93	L	35	2,78	e	18	71,51	d	35	33,95	e	35	10,66	e
36	36	82	M	36	2,35	f	19	72,3	d	36	23,48	f	36	7,18	f

^{1/}Genótipos numerados de forma decrescente em função das médias de maior a menor valor, ^{2/}Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2017)

A variação entre os genótipos foi expressiva para todos os caracteres estudados (Tabela 6). Para FLOR, os genótipos variaram de 82 dias (36) a 143 dias (34), tendo sido separados em 13 grupos, com destaque aos genótipos mais tardios 34, 13, 6, 15, 1 e 8. Para ALT foram formados seis agrupamentos, sendo a

variação de 2,35m (36) a 4,88m (22), sobressaindo os genótipos 22, 26, 27, 32, 23, 29, 33, 25 e 20, com altura média 4,73m.

Para UMID, quatro grupos foram formados, com variação de 65,65% (28) a 72,30% (19) destacando-se os genótipos 28, 24, 30, 2, 20, 21, 1 e 7. Para a variável PMV formaram-se seis grupos, destacando-se os genótipos 33, 31, 13, com média de 74,77 t/ha. Já para PMS, seis grupos foram formados, sendo os genótipos 31, 33, 1, 22, 34 e 8, os mais promissores, com média de 23,37 t ha⁻¹.

Das exigências ressaltadas pelas usinas termoelétricas para queima de biomassa e cogeração de energia, tem-se que os genótipos devem apresentar teor de umidade da biomassa em torno de 50% ou 55%, pois as caldeiras foram projetadas para fazer a queima neste percentual, além disso, o poder calorífico pode-se determinar pelas seguintes mensuras: unidade de massa seca, distribuição do tamanho de partícula, densidade da madeira, conteúdo e composição das cinzas, impurezas presentes, e conteúdo de cloreto e potássio. Relacionando o requerido anteriormente, os genótipos em teste apresentaram teor de umidade superior a 60%. Vale ressaltar que, além do aspecto genético, têm-se também as influências edafoclimáticas e do manejo da cultura que podem modificar os teores de umidade na planta no momento da colheita e o processamento da biomassa, além da tecnologia de combustão disponível e do custo de manejo e processamento da biomassa desde o seu lugar de origem até usina (MILAR, 2009).

Em termos de genótipo ideal para fins de melhoramento genético e exploração comercial, além da umidade, são desejáveis especialmente híbridos que associem sensibilidade ao fotoperíodo, elevada produção de biomassa (produção de matéria seca acima de 50 t ha⁻¹), resistência/tolerância aos principais fatores bióticos e abióticos, resistência ao acamamento, dentre outras (CASTRO et al., 2015; PARRELLA et al., 2011a). No presente trabalho, os híbridos mais promissores foram 31, 33, 1, 22, 34 e 8; contudo, apresentaram rendimento de biomassa seca, em média, 23,37 t ha⁻¹, abaixo do desejado, mas próximo ao encontrado na literatura (CASTRO et al., 2015; SILVA et al., 2016).

Outro ponto que deve ser levado em consideração na seleção de genótipos de sorgo biomassa é que estes devem apresentar elevado desempenho nos diferentes ambientes de cultivo. Neste caso, a interação G x L pode dificultar a recomendação dos híbridos (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Para o caráter UMID, a interação G x L contribuiu com 23,79% da variação fenotípica e para FLOR essa contribuição foi de 12,57%. Para os caracteres ALT, PMV e PMS, a contribuição relativa foi de menor magnitude, com valores de 7,46%, 6,31% e 9,30%, respectivamente (Tabela 5).

Pode-se observar que na totalidade dos caracteres avaliados houve maior participação da interação G x L do tipo complexa (Tabela 5). Isto indica falta de correlação nos desempenhos médios dos genótipos avaliados entre os locais de teste (ROBERTSON, 1959; CRUZ; CASTOLDI, 1991; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992) e a presença de genótipos adaptados a locais particulares, podendo o melhorista optar por fazer recomendações para locais ou regiões específicas (RAMALHO et al., 2012). Ao verificar a presença de interação G x L é necessário a adoção de procedimentos biométricos adicionais, para assim, estudar com mais clareza a influência deste efeito no âmbito da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de sorgo biomassa em questão.

Segundo TOLER (1990), três requisitos são necessários para favorecer o enquadramento nos cinco grupos propostos (A, B, C, D e E), a saber: a existência de alta diversidade ambiental, o que propicia condições para que os materiais genéticos possam manifestar todo o seu potencial genético produtivo; alta precisão experimental, dada pelos baixos valores do CV%, neste caso também complementada pela elevada \hat{r}_{gg} ; e a real diversidade presente entre os padrões de resposta dos materiais testados. Percebe-se que todas essas condições foram contempladas no presente trabalho. Toler também ressalta que um genótipo deve ter desempenho satisfatório nos mais variados ambientes, de modo a apresentar elasticidade em ambientes desfavoráveis, ou seja, mantenha produtividades aceitáveis e, além disso, apresente responsividade com a melhoria das condições ambientais.

Para todos os caracteres os genótipos apresentaram padrões de resposta variável pelo método de Toler (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados da análise de Toler (1990) para genótipos de sorgo biomassa em função dos caracteres florescimento (FLOR, em dias), altura de planta (ALT, m), umidade (%), produção de matéria verde ($t\ ha^{-1}$) e produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) referente à safra 2014/15.

Nº	FLOR			ALT			UMID			PMV			PMS		
	G ¹	TOLER		G	TOLER		G	TOLER		G	TOLER		G	TOLER	
		gr ²	r ³		gr	R		gr	R		Gr	r		gr	r
1	17	A	0,99	27	A	0,96	26	A	0,83	32	A	0,97	31	B	0,85
2	29	A	0,99	29	A	0,94	34	A	0,84	30	A	0,96	1	B	0,69
3	22	A	0,98	13	A	0,91	12	A	0,89	28	A	0,89	33	B	0,94
4	18	A	1,00	1	A	0,97	6	B	0,90	21	A	0,93	22	B	0,84
5	23	A	0,98	22	B	0,98	13	B	0,88	33	B	0,98	29	B	0,84
6	16	A	0,99	26	B	0,98	10	B	0,91	31	B	0,99	34	B	0,85
7	3	A	0,99	23	B	0,99	17	B	0,96	22	B	0,99	32	B	0,75
8	9	A	0,96	20	B	0,99	5	B	0,95	34	B	0,95	27	B	0,83
9	27	A	0,97	33	B	0,97	4	B	0,96	8	B	0,98	23	B	0,93
10	7	A	0,99	24	B	0,96	3	B	0,94	1	B	0,96	14	B	0,76
11	19	A	0,96	3	B	0,99	15	B	0,78	15	B	0,97	20	B	0,86
12	11	A	0,95	31	B	0,98	27	B	0,89	3	B	0,97	13	B	0,92
13	24	A	0,96	2	B	0,98	31	B	0,97	12	B	0,97	12	B	0,88
14	21	A	0,90	18	B	0,99	1	B	0,98	27	B	0,98	21	B	0,75
15	28	A	0,93	8	B	0,99	20	B	0,98	6	B	0,93	26	B	0,86
16	34	B	1,00	10	B	0,99	7	B	0,92	20	B	0,97	3	B	0,79
17	8	B	0,99	4	B	0,97	2	B	0,90	14	B	0,95	15	B	0,86
18	31	B	0,99	32	C	0,99	16	C	0,97	7	C	0,96	30	B	0,81
19	33	B	0,97	25	C	0,97	33	C	0,97	9	D	0,94	17	B	0,87
20	26	B	0,99	34	C	0,98	9	C	0,96	29	D	0,86	6	B	0,87
21	20	B	0,98	21	C	0,94	11	C	0,88	16	D	0,98	25	B	0,92
22	14	B	1,00	9	C	0,99	25	C	0,94	18	D	0,98	8	C	0,72
23	10	B	0,98	30	C	0,93	32	C	0,95	10	D	0,93	16	C	0,83
24	4	D	0,96	6	C	0,97	8	C	0,77	17	D	0,93	28	C	0,47
25	12	D	0,88	16	C	0,99	30	C	0,84	24	D	0,80	2	C	0,55
26	30	D	0,88	5	C	0,96	19	D	0,87	4	D	0,91	11	C	0,67
27	13	E	0,93	7	C	0,98	18	D	0,85	19	D	0,85	24	D	0,62
28	1	E	0,95	11	C	0,93	22	D	0,93	11	D	0,97	9	D	0,79
29	15	E	0,95	12	C	0,96	29	D	0,9	35	D	0,46	5	D	0,86
30	6	E	0,87	14	C	0,95	35	D	0,09	36	D	0,48	4	D	0,60
31	5	E	0,66	28	D	0,97	23	D	0,74	13	E	0,94	10	D	0,73
32	32	E	0,55	17	D	0,97	14	D	0,72	5	E	0,92	7	D	0,64
33	2	E	0,73	19	D	0,98	21	D	0,90	23	E	0,95	18	D	0,76
34	25	E	0,94	35	D	0,81	24	D	0,80	26	E	0,90	19	D	0,51
35	35	E	0,08	36	D	0,30	36	E	0,03	2	E	0,76	35	D	0,54
36	36	E	0,23	15	E	0,96	28	E	0,80	25	E	0,88	36	D	0,44

¹Genótipos numerados de forma decrescente em função das médias de maior a menor valor. ²Classificação dos grupos de estabilidade pelo método de Toler. ³Associação entre a média observada com a média estimada de acordo com o ajustamento do modelo bissegmentado ou simples do método de Toler.

Fonte: Do autor (2017).

Para FLOR e UMID os padrões de resposta D ou E descrevem o comportamento mais próximo do desejável. Os genótipos 1, 6, 13 e 15 (FLOR) se destacaram como os mais tardios com padrão de resposta côncavo e alta previsibilidade ($r \geq 0,87$). No caso da UMID, os genótipos 21 e 24 (padrão D) e 28 (padrão E) se sobressaíram com menores teores médios de umidade ($UMID \leq 67,12\%$) e com previsibilidade acima de 80% (Tabelas 6 e 7).

Os genótipos 1, 13 27 e 29 (ALT); bem como os genótipos 28, 30 e 32 (PMV) apresentaram resposta duplamente desejável ($\beta_{1i} < 1 < \beta_{2i}$), bem como associaram alta previsibilidade de comportamento ($r \geq 0,89$). Enquanto que para o caráter PMS nenhum genótipo teve padrão de resposta convexo, ou seja, grupo A (Tabelas 6 e 7).

Ao relacionar os genótipos com padrão de resposta convexo (grupo A) para o caráter ALT, apenas os genótipos 27 (4,75m) e 29 (4,71m) se mostraram mais bem adaptados. Para o caráter PMV, os genótipos do grupo A não ficaram entre os de melhor rendimento de biomassa verde. Em contraposição os genótipos de maiores rendimentos médios (13, 31 e 33) se apresentaram mais adaptados a locais de alta qualidade ou grupo B de Toler (31 e 33) ou comportamento duplo indesejável (13) (Tabelas 6 e 7). Para o caráter PMS, os genótipos com maior rendimento médio de biomassa seca (1, 8, 22, 31, 33 e 34), em geral, apresentaram adaptabilidade a locais favoráveis, com exceção do genótipo 8 que teve uma adaptabilidade ampla. Realçando um problema frequentemente enfrentado pelos melhoristas de identificar genótipos produtivos e com padrão duplo desejável de resposta (ROSSE; VENCOSKY, 2000).

O emprego de dois ou mais métodos para estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica apenas é justificado se houver complementaridade entre estes (BORGES et al., 2000; FERREIRA et al., 2006). A utilização do método de Annicchiarico (1992) para complementar o método de Toler (1990) se justifica pela sua facilidade de análise e interpretação além de associar em um único parâmetro a descrição do genótipo acerca de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (ANNICCHIARICO, 1992).

Para os caracteres FLOR, ALT, PMV e PMS, 44,44%, 38,88%, 22,22% e 19,44% dos genótipos tiveram índice de confiabilidade elevado (acima de 100%) em função da média dos locais, respectivamente, ou seja, exibiram menor risco de adoção. No caso da UMID, o que se deseja é um genótipo com baixa umidade, desde modo, a interpretação do índice de Annicchiarico deve ser realizada ao contrário do que foi colocado para os caracteres anteriormente. Considerando um limiar para o índice de confiabilidade menor que 95%, destacaram-se os genótipos 24, 28 e 30 (Tabela 8).

Tabela 8 – Estimativas do índice de confiabilidade (I) de annicchiarico (1992) dos genótipos de sorgo biomassa comparados em função da média dos locais ($I_{\bar{y}_j}$) e da testemunha BRS716 (I_{BRS716}), considerando-se cada caráter de importância avaliado (continua).

Nº	FLOR			ALT			UMID			PMV			PMS		
	G ¹	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}
1	34	108,38	100	22	109,05	103,18	28	92,33	91,75	33	108,84	96,82	31	117,80	93,45
2	13	107,47	97,11	26	107,17	100,79	30	94,13	94,81	31	108,01	93,26	1	107,63	86,68
3	1	107,28	96,88	32	105,99	100,36	24	94,37	94,61	22	106,64	92,19	33	107,04	90,46
4	15	107,12	97,37	23	105,14	98,88	2	95,01	95,21	13	106,18	94,46	8	106,59	88,21
5	6	106,21	96,23	20	103,95	97,76	12	95,66	96,68	34	103,46	100	22	105,66	87,55
6	8	106,18	97,56	33	103,80	97,46	7	95,74	95,80	9	102,59	88,07	29	102,54	81,05
7	31	104,92	95,42	27	103,76	97,82	20	95,83	95,09	8	102,41	87,42	34	99,51	100
8	33	104,32	95,69	29	103,43	97,46	34	95,85	100	1	99,90	86,09	32	98,80	79,98
9	17	104,30	95,40	25	103,20	96,56	21	96,08	95,05	29	99,06	86,54	24	98,57	78,43
10	29	103,12	94,16	24	102,29	95,82	1	96,27	95,66	5	98,99	87,53	27	96,54	77,39
11	26	102,41	93,83	34	101,88	100	14	96,33	95,96	16	97,50	83,15	23	95,87	80,68
12	5	102,24	92,83	28	100,91	95,11	8	96,67	98,42	23	97,47	85,22	9	95,59	80,96
13	20	102,11	93,39	3	100,82	94,15	26	97,07	97,98	15	96,81	87,56	14	95,39	78,01
14	22	101,18	92,90	31	100,28	95,03	32	97,38	97,88	32	95,44	81,39	20	95,11	79,43
15	18	101,09	92,31	21	99,25	95,47	25	97,79	96,83	3	93,74	78,91	16	94,62	75,07
16	14	100,31	91,82	9	99,13	93,30	31	97,83	97,90	26	93,36	83,64	5	94,17	79,8
17	23	99,88	91,33	2	99,07	92,68	23	97,86	98,14	18	92,63	79,13	13	93,07	76,44
18	10	98,98	89,34	18	97,93	91,80	27	97,89	96,99	12	91,74	84,21	12	92,60	81,69

Tabela 9 – Estimativas do índice de confiabilidade (I) de annicchiarico (1992) dos genótipos de sorgo biomassa comparados em função da média dos locais ($I_{\bar{y}_j}$) e da testemunha BRS716 (I_{BRS716}), considerando-se cada caráter de importância avaliado (continua).

Nº	FLOR			ALT			UMID			PMV			PMS		
	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}	G.	$I_{\bar{y}_j}$	I_{BRS716}
19	16	98,59	90,55	15	97,69	92,70	35	98,32	98,37	2	91,69	79,84	21	92,08	74,81
20	3	98,25	89,28	30	96,97	91,48	29	98,36	98,59	10	90,70	78,04	26	91,71	83,25
21	32	96,43	87,48	8	96,84	90,49	11	99,03	97,84	27	90,29	77,52	3	91,20	71,14
22	9	96,42	88,26	17	96,62	91,68	36	99,04	98,73	6	90,16	77,81	4	90,96	72,18
23	4	95,48	85,98	6	96,53	92,16	15	99,18	98,55	17	90,14	77,65	28	89,70	72,24
24	27	95,17	86,43	10	96,38	90,56	3	99,21	99,55	20	90,05	79,26	15	89,41	76,73
25	7	94,84	86,23	16	96,16	91,18	9	99,50	100,05	14	90,04	78,40	2	88,52	71,52
26	19	94,68	85,64	5	95,84	90,82	4	99,63	99,34	24	88,77	75,92	10	86,40	70,00
27	12	94,57	85,35	7	94,72	89,33	22	99,79	99,28	4	86,26	72,14	30	85,32	72,14
28	11	94,15	86,09	11	94,66	89,10	5	99,87	100,45	19	84,44	70,45	7	85,23	68,98
29	2	93,53	84,67	4	94,26	88,62	33	99,95	99,08	11	83,39	70,16	17	84,35	68,40
30	25	92,70	83,57	1	94,05	88,78	17	100,54	100,04	30	83,10	72,91	6	81,68	66,18
31	24	92,40	83,59	12	93,88	88,40	16	100,59	99,64	7	83,02	71,38	18	80,6	65,71
32	30	91,69	82,66	14	93,11	88,04	10	101,2	100,28	28	80,35	67,53	25	79,45	65,92
33	21	91,49	83,51	13	93,01	89,66	6	101,33	101,89	25	80,12	72,53	11	76,55	60,53
34	28	89,83	81,46	19	91,58	86,33	13	101,33	101,77	21	78,75	67,55	19	75,76	60,39
35	35	64,56	57,97	35	57,93	55,89	18	101,86	101,58	35	37,49	33,02	35	39,62	33,74
36	36	55,16	49,59	36	44,90	42,98	19	103,36	103,52	36	21,84	19,26	36	18,72	16,06
$r_{I_{\bar{y}_j}, I_{BRS716}}$	0,998			0,997			0,92			0,987			0,965		

¹Genótipos numerados em função das medias dos locais $I_{\bar{y}_j}$ de forma decrescente (maior a menor valor).

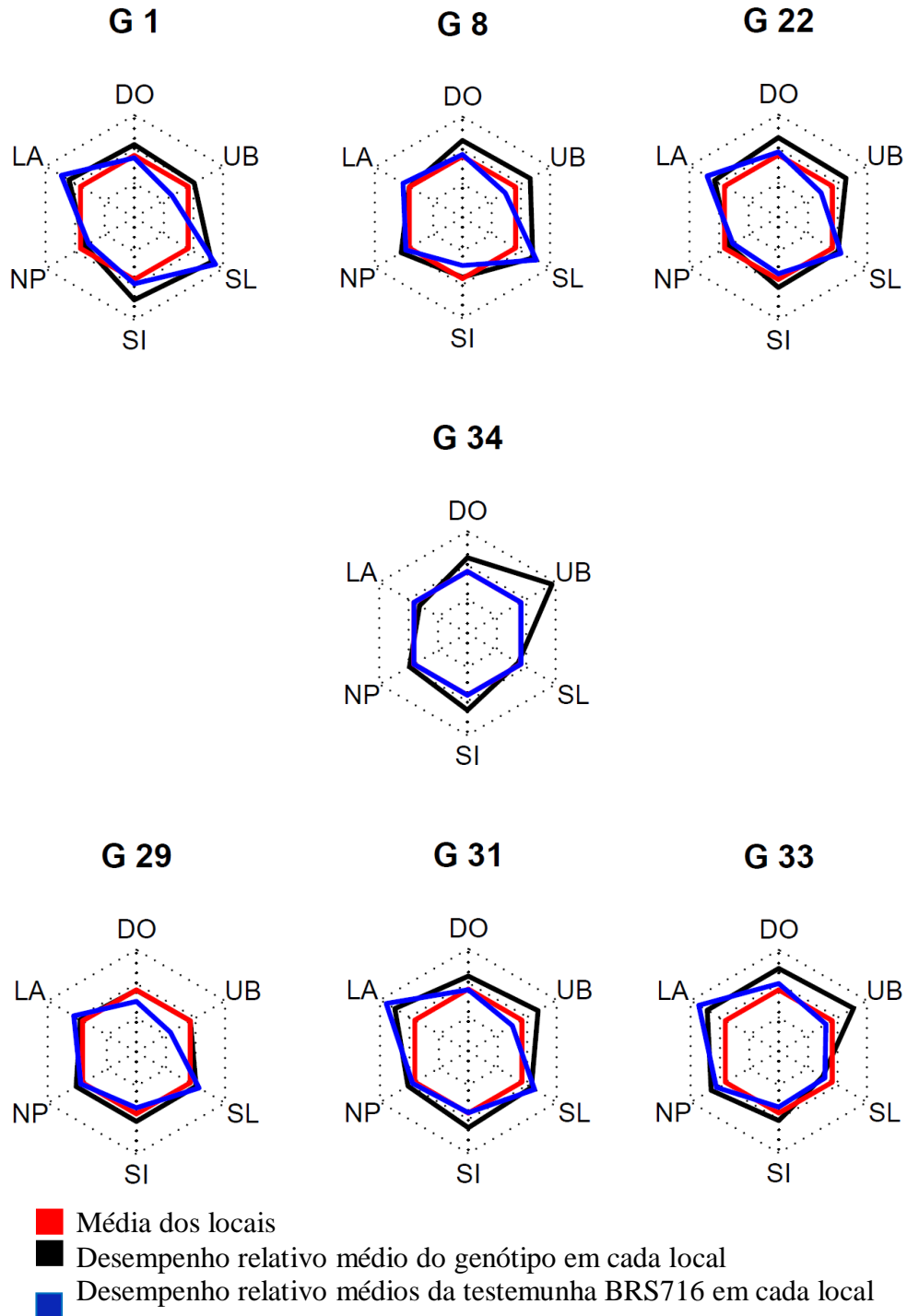
Fonte: Do autor (2017).

Outro enfoque dado foi determinar o índice de confiabilidade dos genótipos experimentais em relação a uma testemunha comercial amplamente adotada pelos agricultores. Para isso, foi considerado o híbrido BRS716 (genótipo 34) desenvolvido pelo programa de melhoramento de sorgo biomassa da Embrapa Milho e Sorgo (MAY et al., 2013). Vale destacar que essa testemunha apresentou como mais tardia e desempenho agrônômico relativamente alto para os demais caracteres avaliados (Tabela 5).

De acordo com as análises de adaptabilidade e estabilidade, pelo método de Annicchiarico (1992), os genótipos que apresentarem menor risco de adoção em relação à testemunha foram 22, 26 e 32 para ALT e 24, 28 e 30 para UMID. Para os caracteres FLOR, PMV e PMS não foram identificados genótipos com menor risco de recomendação relativo à testemunha BRS 716 (Tabela 8). Embora tenham sido observados valores altos de correlação ($\geq 0,92$) entre os índices de confiabilidade, em relação à média do local ($I_{\bar{y}_j}$) e da testemunha (I_{BRS716}), detectou-se divergência na classificação dos genótipos. Este fato pode estar associado a diferenças nos padrões de resposta da testemunha e genótipos experimentais nos locais avaliados para os diferentes caracteres (Tabela 7).

Com base no índice de confiabilidade dos genótipos considerando todas as características avaliadas, com ênfase no caráter PMS, por se tratar de um índice de seleção, uma vez que leva em conta o PMV e a UMID, podem-se destacar os genótipos 1, 8, 22, 29, 31, 33 e 34 (Figura 2). Acrescenta-se que estes genótipos apresentaram menor risco de adoção e padrão de resposta de Toler desejável, ou seja, elevada adaptabilidade e estabilidade a ambientes de alta qualidade, excetuando-se o genótipo 8 que apresentou adaptabilidade ampla.

Figura 2 – Representação gráfica do desempenho relativo dos genótipos nos locais em relação à média dos locais e a média da testemunha em % para o caráter PMS.



Fonte: Autor (2017).

5. CONCLUSÕES

A interação genótipos x ambientes é expressiva em sorgo biomassa, principalmente para os caracteres relacionados com a produção de biomassa, tendo sido predominantemente complexa.

Os híbridos experimentais 1, 8, 22, 29, 31 e 33 e a testemunha comercial BRS 716 destacam-se como os mais promissores, pois apresentaram elevada adaptabilidade e estabilidade agronômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R. V.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTOS, M. X.; FRANCISCO, R. S. S.; LEITE, C. E. P. Banco ativo de germoplasma de Sorgo, In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., Sete Lagoas, 1994. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS, 1994. p. 1-8.
- ANDRADE, L. C.; MENEZES, C. B.; SILVA, K. J.; SANTOS, C. V.; EMYGDIO, B.; TARDIN, F. D. Avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de sorgo granífero em três ambientes. **Revista Agropecuária Técnica (AGROTEC)**, v. 37, n. 1, p. 36-43, 2016.
- ANEEL – **Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil)**. Ouvidoria setorial em números 2014: Aspectos técnicos e comerciais / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2014.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaption and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 46, p. 269-78, 1992.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects, Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1-48, 2015.
- BONATO, E. R. **Estabilidade fenotípica da produção de grãos de dez cultivares de soja (*Glycine Max* (L) Merrill) nas condições de o Rio Grande do Sul**. 1978, 123 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.
- BORGES DAMASCENO, C. M.; PARRELLA, R. A.; SOUZA, V. F.; FERREIRA SIMEONE, M. L.; SCHAFFERT, R. E. Análise Morfoagronômica e Bioquímica de um painel de Sorgo energia para características relacionadas à quantidade da biomassa. **Circular técnica 190** - ISSN 1679-1150, Sete Lagoas, MG, Brasil, p. 1-7. Dezembro, 2013.
- BORGES, L.C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, Â. F.; RAMALHO, M. A., Emprego de metodologias de avaliação de estabilidade fenotípica na cultura de feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 47, n. 269, p. 89-102, 2000.
- BIOMASSA & ENERGIA, CMAA completa primeiro ciclo de queima de sorgo biomassa. **Agrolink** Disponível em: <
http://www.biomassabioenergia.com.br/noticia/cmaa-completa-primeiro-ciclo-de-queima-de-sorgobiomassa-para-producao-de-bioenergia/20150525085547_q_649. > Acesso em: 25 de maio 2015.
- CARRILLO, M. A.; STAGGENBIRG, S. A.; PINEDA, J. A., Whashing Sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. **Fuel**, v. 116, p. 427-431, 2014.

CASTRO, F. M. **Potencial agrônômico e energético de híbridos de sorgo biomassa**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CASTRO, F. M. Agronomic and energetic potential of biomass sorghum Genotypes. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 1862-1873, 2015.

CARVALHO, H. W. L.; PACHECO, E. P.; TABOSA, J. N.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G. dos; RODRIGUES, A. R. dos S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens avançadas de sorgo forrageiro no Estado de Sergipe. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., Belo Horizonte. Inovação para sistemas integrados de produção: **trabalhos apresentados**. [Sete Lagoas]: ABMS, 2006. 1 CD-ROM. 2006.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária**, v. 2, safra 2014/2015. Brasília, 2014. 158 p.

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.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2003. v. 2. 585 p

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1994. 390 p.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custo na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. 2009. 16/04/2014. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica/ Faculdade de Economia e Administração/ Instituto de Eletrotécnica e Energia/ Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise“AMMI”**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Monografias, 9).

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. ExpDes: **Experimental Designs package**. R package version 1.1.2., 2013.

FERREIRA, D. F., **“Estabilidade” (Programa análises dos modelos de estabilidade fenotípica)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, MG, 2015.

FERREIRA D. F.; BORGES C. G.; MANLY B. F. J.; MACHADO A. A.; VENCOVSKY R. Statistical models in griculture: biometrical methods for

evaluating phenotypic stability plant breeding. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 373-388, 2006.

FIGUEIREDO U. J.; NUNES J. A.; PARRELLA R. A.; TARDIN F. D.; Adaptability and stability of genotypes of sweet sorghum by GGEBiplot and Toler methods. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 11211-11221, 2015.

FRANÇA, A. E. D.; PARRELLA, R. A.; DE SOUZA, V. F.; SILVA, M. J.; MAY, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo sacarino avaliada pelo método de Centróide e Annicchiarico. IN: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., Salvador, 2014. **Anais...Sete Lagoas MG – Brasil: ABMS**, 2014.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. **Circular Técnica**, 171 – ISSN 0100-3453. Piracicaba SP – Brasil. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF p.1-10. Novembro, 1989.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE) Biomasa: Cultivos Energéticos. Mafrid: IDEA, 2007. 56 p. Disponível em:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_biomasa_cultivos_energeticos_07_4bd9c8e7.pdf. Acesso em: 25 de setembro 2016.

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

LIRA, M. de A. Considerações sobre o potencial do sorgo em Pernambuco. In: CURSO DE EXTENSÃO SOBRE A CULTURA DO SORGO, 1., 1980, Vitória de Santo Antão. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DID, 1981. p. 87-88.

MAMEDES, J. A.; RODRIGUES, M. P. J.; VANISSANG, C. A. Biomassa no Brasil. **Bolsista de Valor**, v. 1, p. 65-73, 2010.

MAY, A.; SILVA, D. D. da; SANTOS, F. C. dos (Ed.). **Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 152).

MENEZES, C. B.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; DOS SANTOS, C. V.; SALDANHA, D. C. Avaliação de cultivares de Sorgo em Ambientes com e sem Restrição Hídrica. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., Salvador, 2014. **Anais...Sete Lagoas, MG: ABMS**, 2014.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Cana-de-açúcar**, 2016. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: Setembro, 2016.

MILAR, H. J. Biomasa y sus propiedades como combustible. **Revista Celulosa y Papel**, p. 24-28, 2009. Disponível em: <http://www.atcp.cl/privado/docs/revistas/17/rev_154100243301.pdf. Acesso em: Outubro 2009.

MORAIS, L. K.; MOURA M. F.; VENCOVSKY, R. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja avaliada pelo “método de Toler”. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 275-284, 2008.

NÚCLEO DE ESTÚDIOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA (N3E) e Ministério de Minas e Energia – **Resenha Energética Brasileira** – exercício 2014. Edição de Junho 2015.

NÚCLEO DE ESTÚDIOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA (N3E) e Ministério de Minas e Energia – **Resenha Energética Brasileira** – exercício 2015. Edição de Maio 2016.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 48, p. 183, 2005.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL A. F.; DAMASCENO, B. C. M. **Desenvolvimento agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

PARRELLA, N. N. L. Melhoramento genético do sorgo sacarino – produção de sementes de sorgo sacarino – **Agroenergia em revista**, ano II, n. 3, p.14-15, 2011.

PARRELLA, R. A. C. Produção de sementes de sorgo sacarino – **Agroenergia em revista**, ano II, n. 3, agosto de 2011b.

PIMENTEL-GOMES, F. **O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1991. P.4 (Circular Técnica, 178).

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

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

R CORE TEAM, **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: Novembro, 2015.

RIBAS, P. M. Sorgo: introdução e importância, Embrapa Milho e Sorgo. **Documentos**, 26, ISSN 1518-4277. Sete Lagoas MG. Brasil. P.16, 2003.

ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations. Biometrical genetics**. New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.

ROONEY W.; AYDIN S. The genetic control of a photoperiod sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, v. 39, p. 397-400. 1999.

ROSSE, L. N.; VENCOVSKY, R. Modelo de regressão não-linear aplicado ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no estado do Paraná. **Bragantia**, v. 59, n. 1, p. 99-107, 2000.

RUSSELL V. L. Least-Squares Means: The R Package lsmeans. **Journal of Statistical Software**, v. 69, n. 1, p.1-33, 2016.

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

SILVA K. J.; MENEZES C.B.; TARDIN F. D.; SILVA, A. R.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; GODINHO, V. P. Seleção para produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 335-345, 2016a.

SILVA, R. S.; DELFORNO, G. I.; BARELLI, M.A.; VENDRUSCOLO, T. P. S.; CASTRILON, M. A.; CORREA, C. L.; TARDIN, F. D.; Interação genótipo x ambiente em híbridos de sorgo biomassa. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., Bento Gonçalves, 2016. **Anais...Sete Lagoas, MG: ABMS**, 2016b.

SOUSA, V. F. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

SOUZA, V. F.; PARRELLA, R. A.; MENEZES, C.B.; TARDIN, F. D.; MAY, A.; EMYDGIO, B. M.; DAMASCENO, C. M; SCHAFFERT R. E. Influência da correção de estande na adaptabilidade e na estabilidade de sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 371-381, 2014.

SOUZA G. M.; VITORIA, R.; JOLY, C.; VERDADE, L. (Eds). **Bioenergy & sustainability: bridging the gaps**, v. 72, p. 779, Paris, 2015.

Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia. Embrapa, Notícias, 18/11/14. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>. Acesso em: 20/07/16.

TOLER, J. E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays.** 1990. 154p. Thesis (Ph.D) - Clemson University, Clemson.
TERASAWA JR. F.; VENCOVSKY, R.; KOEHLER, H. Environment and genotype environment interaction in maize breeding in Paraná, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 17-22, 2008.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇUCAR. Efeito da seca sobre a cana abre perspectivas para híbridos de sorgo na próxima entressafra. Disponível em: <http://www.unica.com.br/unica-na-midia/17729932920315173097/efeito-da-seca-sobre-a-cana-abre-perpectiva-para-hibridos-de-sorgo-na-proxima-entressafra/>. Acesso em: 14 de maio 2014.

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

VON PINHO, R. G. **Utilização e perspectivas da cultura de sorgo.** Lavras, MG: UFLA, 2007. 31 p. (textos acadêmicos).

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGI. **Plano Nacional de Energia 2030.** Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.

ANEXO I

¹rotina do programa R utilizada para o processamento de dados e obtenção de resultados.

```

rm(list=ls(all=T))

##Mudar o diretório
setwd("C:\\Users\\Operador\\Dropbox\\Mestrado - Ivan (AR)\\Dados 2014.15")
dados <- read.csv("Dados_biomassa generalizadoR.csv", header=T)

## Arquivo com as siglas dos locais
dados <- read.csv("Dados_biomassa generalizadoRS.csv", header=T)
dados <- transform(dados, REP=factor(REP), BLOC = factor(BLOC), TRAT= factor(TRAT))
str(dados)
head(dados)

library(lme4)
for (i in 7:ncol(dados))
{
  #cat("Anovas Individuais (Local) - Variável:", colnames(dados)[i], "\n")
  dados.i <- dados[,c(1:6,i)]
  dados.i <- na.omit(dados.i)
  nomloc <- levels(droplevels(dados.i)$LOCAL)

  statsloc <- matrix(0, nlevels(droplevels(dados.i)$LOCAL),5)
  rowna
  mes(statsloc) <- levels(droplevels(dados.i)$LOCAL)
  colnames(statsloc) <- c("QME", "CVe", "Acuracia", "Fc Genot", "Pr > Fc")

  for (j in 1:nlevels(droplevels(dados.i)$LOCAL))
  {
    #cat("Anova - Variável:", nomloc[j], colnames(dados)[i], "\n")
    lme.i <- lmer(dados.i[dados.i$LOCAL==nomloc[j],ncol(dados.i)] ~ REP + (1|REP:BLOC) + TRAT,
    data=dados.i[dados.i$LOCAL==nomloc[j],])
    Anova.i <- car::Anova(lme.i, type=c("II"), test.statistic=c("F"))
    statsloc[nomloc[j],1] <- sigma(lme.i)^2
    statsloc[nomloc[j],2]<-sqrt(statsloc[nomloc[j],1])/mean(dados.i[dados.i$LOCAL==nomloc[j],ncol
(dados.i)]*100
    statsloc[nomloc[j],3] <- sqrt(1-1/Anova.i$F[2])*100
    statsloc[nomloc[j],4] <- Anova.i$F[2]
    statsloc[nomloc[j],5] <- Anova.i$`Pr(>F)`[2]

    resid <- residuals(lme.i,type=c("deviance"))

  }

  cat("Anovas Individuais (Local) - Variável:", colnames(dados)[i], "\n")

```



```

print(statsloc)
cat("Teste de Hartley - Variável:", colnames(dados)[i], "\n")
Fmax <- max(statsloc[,1])/min(statsloc[,1])
print(Fmax)
}

```

#Análise multilocais

##Annichiarico

```

annichiarico <- function(data, alpha, check, graph)
{
  genotype <- matrix(data[,1])
  data <- data[,-1]
  y<-ncol(data)
  x<-nrow(data)

  data1 <- matrix(0,x,y)
  data2 <- matrix(0,x,y)
  sd <- matrix(0,1,x)
  sd2 <- matrix(0,1,x)
  pi <- matrix(0,1,x)
  pi2 <- matrix(0,1,x)
  resultado <- matrix(0,1,x)
  resultado2 <- matrix(0,1,x)

  z <- qnorm(alpha,0,1,lower.tail = F)

```

##valores relativizados para a média do ambiente

```

for(i in 1:x)
  for(j in 1:y){
    data1[i,j]<-(data[i,j]/(sum(data[,j])/x))*100
    sd[i]<-sd(data1[i,])
    pi[i]<-(sum(data1[i,])/y)
    resultado[i]<-pi[i]-(z*(sd[i]))
  }

```

##valores relativizados para a média da testemunha (check)

```

if (check!=0) {
  for(i in 1:x)
    for(j in 1:y){
      data2[i,j]<-(data[i,j]/data[check,j])*100
      sd2[i]<-sd(data2[i,])
      pi2[i]<-(sum(data2[i,])/y)
      resultado2[i]<-pi2[i]-(z*(sd2[i]))
    }
}

```

```
}
```

##Mudar o diretório e personalizar o nome do arquivo (e.g. altura.pdf)

```
somePDFPath = "C:\\Users\\Operador\\Dropbox\\Mestrado - Ivan (AR)\\Dados
2014.15\\FLORECIMENTO.pdf"
pdf(file=somePDFPath)

if (graph==T)
{
  require(fmsb)

  #par(mai = rep(0.5, 4))
  w1 <- ceiling(max(data1))
  w2 <- ceiling(max(data2))
  w <- max(w1,w2)

  op <- par(mfrow=c(3,3))

  for(i in seq(1,9))
  {
    tabgraf <- data.frame(rbind(rep(w,y),rep(0,y),data1[i,],apply(data1,2,mean),data2[i,]))
    colnames(tabgraf) <- colnames(data)
    grafico <- radarchart(tabgraf, axistype = 0, seg = 3, cglty = 3, plty = 1,
                          pty = 32, cglcol = 1, plwd = 2, pcol = c(1,2,4), axislabcol = 3,centerzero=T,
                          title=paste("G",i,collapse=". "))
  }
  for(i in seq(10,18))
  {
    tabgraf <- data.frame(rbind(rep(w,y),rep(0,y),data1[i,],apply(data1,2,mean),data2[i,]))
    colnames(tabgraf) <- colnames(data)
    grafico <- radarchart(tabgraf, axistype = 0, seg = 3, cglty = 3, plty = 1,
                          pty = 32, cglcol = 1, plwd = 2, pcol = c(1,2,4), axislabcol = 3,centerzero=T,
                          title=paste("G",i,collapse=". "))
  }
  for(i in seq(19,27))
  {
    tabgraf <- data.frame(rbind(rep(w,y),rep(0,y),data1[i,],apply(data1,2,mean),data2[i,]))
    colnames(tabgraf) <- colnames(data)
    grafico <- radarchart(tabgraf, axistype = 0, seg = 3, cglty = 3, plty = 1,
                          pty = 32, cglcol = 1, plwd = 2, pcol = c(1,2,4), axislabcol = 3,centerzero=T,
                          title=paste("G",i,collapse=". "))
  }
  for(i in seq(28,36))
  {
    tabgraf <- data.frame(rbind(rep(w,y),rep(0,y),data1[i,],apply(data1,2,mean),data2[i,]))
```

```

colnames(tabgraf) <- colnames(data)
grafico <- radarchart(tabgraf, axistype = 0, seg = 3, cglty = 3, plty = 1,
                    pty = 32, cglcol = 1, plwd = 2, pcol = c(1,2,4), axislabcol = 3,centerzero=T,
                    title=paste("G",i,collapse="."))
}
par(op)
}

dev.off()

pi <- t(pi)
resultado <- t(resultado)
sd <- t(sd)

pi2 <- t(pi2)
resultado2 <- t(resultado2)
sd2 <- t(sd2)

#Saída
resumo <- as.data.frame(cbind(genotype, pi, sd,resultado, pi2, sd2, resultado2))
colnames(resumo)<-c("Genótipo", "Pmed", "DPmed", "Imed", "Pcheck", "DPcheck", "Icheck")
cat("Índice de Confiabilidade de Annichiarico", "\n")
resumo
}
library(lme4)
library(lsmmeans)

i=7

for (i in 8:ncol(dados))
{
  cat("Anova Multilocais - Variável:", colnames(dados)[i], "\n")
  dados.i <- dados[,c(1:6,i)]
  dados.i <- na.omit(dados.i)
  nomloc <- levels(droplevels(dados.i)$LOCAL)
  nobs <- nlevels(droplevels(dados.i)$LOCAL)*nlevels(droplevels(dados.i)$REP)

  lme.i <- lmer(dados.i[,ncol(dados.i)] ~ LOCAL + (1|REP:LOCAL) + (1|BLOC:REP:LOCAL) + TRAT +
LOCAL:TRAT, data=dados.i)
  print(aa<- car::Anova(lme.i, type=c("II"), test.statistic=c("F")))
  print("Quadrado Médio do Erro")
  print(ve.i <- sigma(lme.i)^2)
  #print (VarCorr(lme.i))
  GLe.i <- aa$Df.res[3]
  print("GL do Erro")
  print (round(GLe.i,digits=0))
}

```

```

SSe.i <- ve.i*GLE.i

medg.i <- summary(lsmmeans::lsmmeans(lme.i, ~TRAT))
x.i <- cbind(medg.i[,1],medg.i[,2])
mult <- matrix(1,nobs,1)
xk.i <- kronecker(x.i,mult)
colnames(xk.i) <- c("TRAT","MED")
print(ExpDes::scottknott(xk.i[,2], xk.i[,1], round(GLE.i,digits=0), SSe.i, alpha = 0.05, group = TRUE,
main = NULL))

medge.i <- summary(lsmmeans(lme.i, ~ LOCAL:TRAT))
medge.ii <- cbind(medge.i[,1],medge.i[,2],medge.i[,3])
colnames(medge.ii) <- c("LOCAL", "TRAT", "MEDIA")
print ("Arquivo de dados para análise: Toler")
print(medge.ii)

med <- matrix(medge.ii[,3], nrow = nlevels(droplevels(dados.i)$TRAT), ncol =
nlevels(droplevels(dados.i)$LOCAL), byrow = T)
medias <- as.data.frame(cbind(1:nlevels(droplevels(dados.i)$TRAT),med))
colnames(medias) <- c("TRAT",levels(droplevels(dados.i)$LOCAL))

medias <- medias[order(medias$TRAT),]
print(annichiarico(data = medias, alpha = 0.25, check = 34, graph = T))
#print(annichiarico.med(data = medias, alpha = 0.25))
print(annichiarico.check(data = medias, alpha = 0.25,check=34))
}

```