

## Desempenho Produtivo de Híbridos de Sorgo Biomassa do Programa de Melhoramento da Embrapa



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
187**

**Desempenho Produtivo de Híbridos  
de Sorgo Biomassa do Programa  
de Melhoramento da Embrapa**

Isadora Cristina Martins Oliveira  
Cynthia Maria Borges Damasceno  
Maria Marta Pastina  
Rafael Augusto da Costa Parrella

*Embrapa Milho e Sorgo  
Sete Lagoas, MG  
2019*

**Esta publicação está disponível no endereço:**  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Rod. MG 424 Km 45  
Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
Fone: (31) 3027-1100  
Fax: (31) 3027-1188  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sa](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sa)

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Sidney Netto Parentoni*

Secretário-Executivo  
*Elena Charlotte Landau*

Membros  
*Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia  
Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia  
Ferreira Simeone, Roberto dos Santos  
Trindade e Rosângela Lacerda de Castro*

Revisão de texto  
*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica  
*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

Tratamento das ilustrações  
*Tânia Mara Assunção Barbosa*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Tânia Mara Assunção Barbosa*

Foto da capa  
*Rafael Augusto da Costa Parrella*

**1ª edição**  
*Publicação digitalizada (2019)*

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Nome da unidade catalogadora

---

Desempenho produtivo de híbridos de sorgo biomassa do programa de melhora-  
mento genético da Embrapa / Isadora Cristina Martins Oliveira ... [et al.]. – Sete  
Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2019.  
17 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo,  
ISSN 1679-0154; 187).

1. Melhoramento genético vegetal. 2. *Sorghum bicolor*. 3. Produtividade. I. Oli-  
veira, Isadora Cristina Martins. II. Damasceno, Cynthia Maria Borges. III. Pastina,  
Maria Marta. IV. Parrella, Rafael Augusto da Costa. IV. Título. V. Série.

CDD 633.174 (21. ed.)

## Sumário

---

Resumo .....	4
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	8
Resultados e Discussão .....	9
Conclusões.....	15
Referências .....	15

## Desempenho Produtivo de Híbridos de Sorgo Biomassa do Programa de Melhoramento da Embrapa

Isadora Cristina Martins Oliveira<sup>1</sup>

Cynthia Maria Borges Damasceno<sup>2</sup>

Maria Marta Pastina<sup>3</sup>

Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>4</sup>

**Resumo** – Anualmente, diferentes híbridos de sorgo biomassa são avaliados ao longo de vários locais no programa de melhoramento da Embrapa, com o objetivo de identificar materiais mais produtivos, com ampla adaptabilidade e estabilidade a um determinado conjunto de ambientes. Modelos mistos do tipo fator-analítico (FA) permitem ajustar as correlações genéticas entre ambientes, sendo apropriados para estudos da interação entre genótipos e ambientes (GxA) em programas de melhoramento. Este trabalho teve como objetivo utilizar modelos FA para avaliar GxA e identificar materiais com maior produtividade, adaptabilidade e estabilidade ao longo de um determinado conjunto de ambientes. Foram utilizados dados fenotípicos de peso de massa verde para um total de 70 híbridos avaliados ao longo de onze locais, entre os anos de 2012 e 2017. Com base nos resultados, observou-se que Goiânia foi o mais distinto dentre os ambientes avaliados, sendo necessária a recomendação de híbridos específicos para este local (por exemplo, H3 e H14). Por outro lado, o híbrido H19 se destacou pela alta produtividade e adaptabilidade na maior parte dos ambientes avaliados, com exceção de Goiânia. Assim, verificou-se que modelos FA podem ser eficientemente

---

<sup>1</sup> Eng-Agrôn., M.Sc. Doutoranda em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa (UFV)

<sup>2</sup> Eng-Agrôn., Ph.D. em Biologia Molecular, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo

<sup>3</sup> Eng-Agrôn., D.Sc. em Genética e Melhoramento, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo

<sup>4</sup> Eng-Agrôn., D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

utilizados para a seleção e recomendação de híbridos de sorgo biomassa para diferentes regiões do Brasil.

**Termos para indexação:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, melhoramento genético, ensaios em múltiplos ambientes, modelos do tipo fator analítico, interação entre genótipos e ambientes.

## Production Performance of Biomass Sorghum Hybrids from the Embrapa Breeding Program

**Abstract** – Annually, different biomass sorghum hybrids are evaluated over several sites in the Embrapa breeding program, aiming to identify more productive materials, with wide adaptability and stability to a specific set of environments. Factor-analytic (FA) mixed models allow to fit genetic correlations between environments, being appropriate for genotype-by-environment interaction (GxE) studies in breeding programs. In this study, FA models were used to evaluate GxE and to identify materials with higher productivity, adaptability, and stability over a given set of environments. Phenotypic data of fresh biomass weight for a total of 70 hybrids evaluated across 11 sites, between 2012 and 2017, were used. Based on the results, Goiânia was considered the most distinct among the evaluated environments, suggesting the recommendation of specific hybrids for this site (for example, H3 and H14). In contrast, the hybrid H19 stood out by high productivity and adaptability in most of the evaluated environments, except for Goiânia. Thus, FA models can be efficiently used for selection and recommendation of biomass sorghum hybrids for different regions of Brazil.

**Index terms:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, genetic improvement, multi-environment assays, analytical factor type models, interaction between genotypes and environments

## Introdução

---

Nos últimos anos, o sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] vem ganhando espaço no mercado dos biocombustíveis, por causa principalmente da escassez de matéria-prima e dos altos preços dos combustíveis fósseis. O Brasil possui um grande parque industrial alimentado por caldeiras à base de biomassa, que também vem sofrendo com os altos preços do bagaço da cana-de-açúcar. Nesse contexto, o sorgo biomassa entra como uma fonte alternativa, tanto como matéria-prima para a produção de vapor na industrialização ou cogeração de energia, como na produção de etanol de segunda geração (Silva et al., 2018).

A alta produtividade de matéria verde e a alta qualidade da biomassa, caracterizada por altas concentrações de lignina e baixo teor de umidade, fazem do sorgo biomassa uma excelente matéria-prima para a cogeração de energia, em razão do seu alto poder de queima (Simeone et al., 2018). Além disso, em relação ao milho e à cana-de-açúcar, o sorgo se destaca por ser uma cultura que apresenta menor requerimento em fertilizantes, maior eficiência no uso da água e maior potencial de resistência ao déficit hídrico, além de apresentar melhor desempenho quando cultivado em áreas marginais (Castro, 2017). Adicionalmente, o sorgo biomassa possui sistemas de produção já estabelecidos, é propagado por sementes e apresenta ciclo relativamente curto (5 a 6 meses) quando comparado a outras culturas utilizadas para a mesma finalidade (Batista et al., 2018).

O Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo vem realizando estudos com o sorgo biomassa há aproximadamente sete anos, na busca por materiais mais produtivos e com maior potencial para queima. Anualmente, são realizados ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), nos quais são avaliados, em vários anos e locais de diferentes regiões brasileiras, híbridos que apresentaram maior potencial produtivo em ensaios de avaliação preliminar de híbridos e VCUs dos anos anteriores, seguindo as normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para registro de novos cultivares (Brasil, 2019).

Como esses ensaios de VCU são conduzidos em múltiplos ambientes, ao longo de diferentes anos e locais, um dos principais obstáculos para a identificação de materiais mais promissores para um conjunto de ambientes



é a existência da interação entre genótipos e ambientes (G x A). Nesse caso, um determinado genótipo pode apresentar diferentes respostas quando submetido a condições ambientais distintas. Assim, genótipos que em geral tiveram um bom desempenho produtivo em um determinado ambiente podem não apresentar uma boa resposta em outros ambientes, o que dificulta a identificação de genótipos com um bom desempenho produtivo em uma ampla gama de ambientes (Jarquín et al., 2017).

Modelos mistos do tipo fator analítico (Smith et al., 2001) têm sido amplamente utilizados para estudos de adaptabilidade e estabilidade em programas de melhoramento de plantas (Dias et al., 2018). Além de possibilitar a análise de dados de múltiplos ambientes, que são frequentemente desbalanceados, esses modelos permitem ajustar as correlações genéticas e residuais entre ambientes. Assim, a partir desses modelos, é possível fazer inferências sobre a interação G x A, identificar genótipos com maior adaptabilidade para uma determinada condição ambiental, e, também, identificar genótipos com maior estabilidade ao longo de diferentes ambientes (Smith et al., 2015). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar essas ferramentas de análise para avaliar a interação G x A e identificar híbridos de sorgo biomassa com maior desempenho produtivo, maior adaptabilidade e estabilidade ao longo dos ambientes avaliados nos ensaios de VCU, realizados entre os anos de 2012 e 2017 pelo Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo.

## Material e Métodos

---

Foi avaliado um total de 70 híbridos de sorgo biomassa do programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, distribuídos em sete ensaios de valor de cultivo e uso (VCU). Os ensaios de VCU foram conduzidos em onze ambientes distribuídos por todo o território brasileiro, entre os anos de 2012 e 2017, totalizando 44 ensaios. O número de híbridos avaliados nos ensaios de VCU foi diferente entre os anos, mas foi constante dentro do mesmo ano entre os diferentes locais de avaliação.

Todos os experimentos foram conduzidos seguindo o delineamento em látice com três repetições e parcelas de duas linhas de cinco metros cada, espaçadas por 0,7 metros. A característica fenotípica avaliada em todos os ensaios foi peso de massa verde (PMV), que foi tomada com base no peso

de todas as plantas da parcela, e posteriormente convertida em tonelada por hectare. A colheita foi realizada após a maturação fisiológica dos grãos.

Primeiramente, os dados fenotípicos foram analisados individualmente para cada experimento (ambiente), para a obtenção da média ajustada de cada híbrido. Também foram obtidos, para cada experimento, as herdabilidades generalizadas, de acordo com Cullis et al. (2006), e os coeficientes de variação (CV%). Em seguida, as médias ajustadas dos experimentos individuais foram utilizadas para a análise conjunta dos dados dos múltiplos ambientes, utilizando modelos do tipo fator analítico (FA), seguindo os procedimentos descritos em Dias et al. (2018).

## Resultados e Discussão

---

As estimativas das variâncias genéticas para PMV foram diferentes de zero, com base no teste da razão de verossimilhança, considerando nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ), realizado nas análises individuais para cada ambiente, mostrando que existe variabilidade genética entre os híbridos avaliados. As médias para cada ambiente, as estimativas da herdabilidade generalizada e os coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 1. As médias de produtividade dos híbridos variaram de 27,66 (Campos dos Goytacazes em 2015) a 102,97 t ha<sup>-1</sup> (Dourados em 2015) para PMV, com média geral de 67,70 t ha<sup>-1</sup>.

Dado que o sorgo biomassa é usado principalmente para a produção de vapor na industrialização ou cogeração de energia, buscam-se materiais com maior poder de queima. Estudos já comprovaram que materiais com maior produção de massa seca são materiais que promovem maior combustão. No entanto, em razão do grande número de processos e da demora para a aferição do peso de massa seca, e da alta correlação entre esta característica e PMV (Almeida et al., 2019), tem-se usado PMV como o indicador de poder de queima dos materiais. Assim, materiais com alto PMV são conseqüentemente materiais que promovem maior combustão.

De acordo com Resende e Duarte (2007), coeficientes de herdabilidade com valores variando de 0,99 a 0,70, de 0,50 a 0,65, e 0,40 a 0,00 são considerados altos, moderados, e baixos, respectivamente. Assim, neste trabalho, as herdabilidades generalizadas variaram de moderadas (0,54

em Goiânia no ano de 2015) a altas (0,96 em Sinop no ano de 2017). Os coeficientes de variação (CV%) variaram de 7,45 (Planaltina em 2017) a 20,87 (Uberlândia em 14), demonstrando que os ensaios apresentaram boa precisão experimental. Valores semelhantes a esses foram encontrados por Parrella et al. (2016) e Lombardi et al. (2018) para produção de massa verde em sorgo sacarino, cultivados em Sete Lagoas e Lavras, respectivamente.

**Tabela 1.** Médias fenotípicas, herdabilidades generalizadas ( $h^2$ ) e coeficientes de variação (CV%) para os locais e anos de avaliação dos VCU do programa de melhoramento de sorgo da Embrapa.

Local	Ano	Média	$h^2$	CV%
Nova Porteirinha (NP*)	12	66,22	88,44	10,13
Pelotas (Pel)	12	61,78	88,05	12,57
Sete Lagoas (SL)	12	84,30	90,72	12,11
Goiânia (Goi)	13	50,64	76,26	18,34
Lavras (Lav)	13	74,93	78,34	16,60
Nova Porteirinha (NP)	13	74,45	83,28	12,46
Sinop (Sin)	13	82,06	86,40	19,34
Sete Lagoas (SL)	13	64,12	94,07	9,65
Santa Vitória (SV)	13	60,69	69,06	12,54
Uberlândia (Ube)	13	43,26	65,41	13,20
Nova Porteirinha (NP)	13.S**	61,55	83,76	16,30
Sete Lagoas (SL)	13.S**	84,49	65,06	9,96
Santa Vitória (SV)	13.S**	78,59	68,05	13,23
Dourados (Dou)	14	85,16	78,67	15,99
Goiânia (Goi)	14	45,73	78,21	11,03
Lavras (Lav)	14	81,56	88,77	19,49
Nova Porteirinha (NP)	14	70,50	79,32	12,56
Pelotas (Pel)	14	35,60	70,08	12,76
Sinop (Sin)	14	68,70	70,70	9,37
Sete Lagoas (SL)	14	41,61	71,76	18,93
Uberlândia (Ube)	14	51,53	73,83	20,87

Local	Ano	Média	h <sup>2</sup>	CV%
Campos dos Goytacazes (CG)	15	27,66	89,12	13,53
Dourados (Dou)	15	102,97	90,31	10,76
Goiânia (Goi)	15	73,06	54,22	11,74
Lavras (Lav)	15	68,11	89,48	13,26
Nova Porteirinha (NP)	15	102,23	86,84	9,93
Pelotas (Pel)	15	33,21	87,04	18,88
Sinop (Sin)	15	74,16	63,49	8,50
Sete Lagoas (SL)	15	66,03	69,73	13,23
Campos dos Goytacazes (CG)	16	79,12	84,71	8,58
Dourados (Dou)	16	94,08	84,32	13,65
Goiânia (Goi)	16	52,89	68,76	19,31
Lavras (Lav)	16	64,54	95,45	12,83
Nova Porteirinha (NP)	16	93,79	90,61	13,67
Pelotas (Pel)	16	52,25	60,32	16,07
Planaltina (Pla)	16	60,91	89,59	7,74
Sete Lagoas (SL)	16	75,09	89,78	9,91
Campos dos Goytacazes (CG)	17	80,38	77,51	18,56
Goiânia (Goi)	17	65,51	95,47	12,44
Lavras (Lav)	17	50,73	92,62	13,22
Nova Porteirinha (NP)	17	87,60	92,08	19,95
Planaltina (Pla)	17	55,06	84,56	7,45
Sinop (Sin)	17	70,99	96,08	14,38
Sete Lagoas (SL)	17	81,09	95,28	9,52

\* Sigla para os locais de avaliação dos VCU. \*\* Experimento em segunda safra (safrinha).

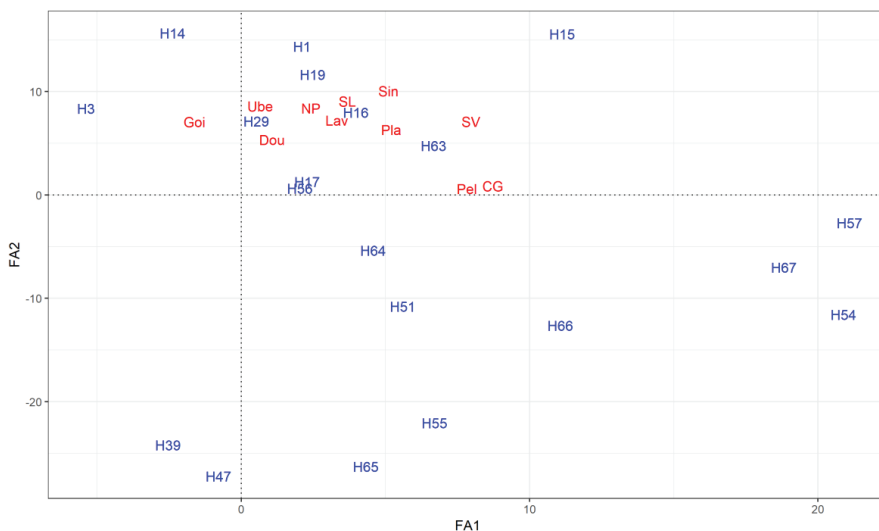
Com base na análise de modelos mistos do tipo FA, é possível a obtenção de um número reduzido de fatores que sejam representativos de um número elevado de ambientes, de modo que cada fator represente ambientes altamente correlacionados entre si. Dessa forma, para cada fator,

são obtidos valores para os ambientes e para os genótipos, denominados cargas ambientais e escores genotípicos, respectivamente. Essa análise também possibilita a identificação de mega-ambientes por meio da avaliação das cargas ambientais, além de permitir a interpretação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, com base nos escores genotípicos obtidos para cada fator (Cullis et al., 2010).

Na análise conjunta dos múltiplos ambientes, foi utilizado o modelo FA com dois fatores (FA2) para a estrutura da matriz de variâncias e covariâncias (VCOV) genéticas entre ambientes, que explicou 51,92% da variância genética observada nos dados de VCU de sorgo biomassa do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo. Na Figura 1, estão plotados os escores para cada genótipo (em azul) e as cargas dos ambientes (em vermelho). De acordo com Murakami e Cruz (2004), genótipos alocados em quadrantes onde há poucos ambientes possuem adaptabilidade específica a estes ambientes. Assim, para Goiânia, as performances genotípicas foram distintas dos demais ambientes avaliados, o que sugere que os híbridos com maior adaptabilidade a esse ambiente devem ser diferentes daqueles indicados para cultivo nos demais ambientes. Assim, os híbridos H14 e H3 seriam mais adaptados a Goiânia (Figura 1).

De acordo com Cruz e Carneiro (2006), adaptabilidade é definida como sendo a capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente. Cullis et al. (2010) indicam que genótipos alocados no mesmo quadrante de um grande número de ambientes são amplamente adaptados a estes ambientes, dessa forma, pode-se destacar os híbridos H1, H15, H17, H19, H29, H56, H63 e a testemunha comercial BRS716 (H16) como os híbridos mais adaptados a todos os ambientes avaliados pelo programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, exceto a Goiânia (Figura 1).

Segundo Cruz e Carneiro (2006), estabilidade é a capacidade de um genótipo mostrar um comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente. Assim, indivíduos que possuem escores fatoriais próximos de zero são considerados estáveis no sentido de terem pouca resposta à mudança nas cargas, destacando no nosso estudo os híbridos H17 e H56, que foram considerados os genótipos mais estáveis aos ambientes avaliados, entre os 20 genótipos que apresentaram maior média ajustada para PMV.



**Figura 1.** Biplot das cargas ambientais e dos escores genotípicos estimados dos 20 genótipos com maior média ajustada pelo modelo do tipo fator analítico.

Na Tabela 2, estão apresentados os 20 híbridos de sorgo biomassa que apresentaram as maiores médias ajustadas pelo modelo FA (2), com destaque para o híbrido H19, que apresentou a maior média geral e foi classificado como um dos genótipos mais adaptados aos ambientes avaliados. Vale destacar que este genótipo foi superior à testemunha BRS716, cultivar comercial lançada pela Embrapa.

**Tabela 2.** Ranking dos 20 híbridos de sorgo biomassa que apresentaram as maiores médias ajustadas ( $\bar{\mu}$ ) pelo modelo FA (2), para os dados históricos do programa de melhoramento da Embrapa.

Híbrido	$\bar{\mu}$
H19	82,73
H66	76,23
H16 (BRS716)	75,74
H47	75,39
H3	74,69
H17	74,54
H1	74,40
H64	74,04
H67	73,78
H29	73,75
H55	73,63
H65	73,34
H39	72,71
H15	72,68
H54	71,60
H57	71,11
H14	71,00
H51	70,73
H63	70,48
H56	70,21

O híbrido de sorgo biomassa H16 é a cultivar BRS716, que é a única registrada até o momento pelo programa de melhoramento da Embrapa. Na Tabela 2, verifica-se que somente dois híbridos (H19 e H66) foram em média mais produtivos que a cultivar, e apenas o híbrido H19 mostrou alta adaptabilidade aos ambientes avaliados, exceto a Goiânia, dado os escores genotípicos para FA (1) e FA (2) localizados no mesmo quadrante da maioria das cargas ambientais (Figura 1). Estes resultados mostram a dificuldade de se encontrar um híbrido potencialmente produtivo e adaptado para futuros registros como cultivar, mesmo com o grande volume de dados anuais disponíveis no programa.

## Conclusões

---

Os híbridos H3 e H14 apresentaram mais especificidade ao ambiente Goiânia, enquanto o híbrido H19 destacou-se como o mais produtivo e de ampla adaptabilidade ao longo dos diferentes ambientes. Com base nesses resultados, é possível afirmar que modelos FA podem ser eficientemente utilizados em programas de melhoramento de sorgo biomassa para a identificação de materiais com maior estabilidade produtiva ao longo de um determinado conjunto de ambientes, e, também, para a recomendação de materiais com adaptabilidade específica a um dado ambiente.

## Referências

---

ALMEIDA, L. G. F. de; PARRELLA, R. A. da C.; SIMEONE, M. L. F.; RIBEIRO, P. C. de O.; SOARES, A.; SANTOS, A. S. dos; COSTA, A. S. V. da; GUIMARÃES, A.; SCHAFFERT, R. E. Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 122, p. 343-348, 2019.

BATISTA, V. A. P.; BATISTA, V. Z. P.; MOREIRA, T. D. S.; BARROS, A. F. D. Agronomic and energetic potential of sorghum evaluated in two consecutive crops. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 22, n. 6, p. 1-9, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Formulários para registro de cultivares**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/semences-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/formularios-para-registro-de-cultivares>>. Acesso em: 13 maio 2019.

CASTRO, E.; NIEVES, I. U.; RONDÓN, V.; SAGUES, W. J.; FERNÁNDEZ-SANDOVAL, M. T.; YOMANO, L. P.; YORK, S. W.; ERICKSON, J.; VERMERRIS, W. Potential for ethanol production from different sorghum cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 367-373, 2017.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 585 p.



CULLIS, B. R.; SMITH, A. B.; BEECK, C. P.; COWLING, W. A. Analysis of yield and oil from a series of canola breeding trials. Part II. Exploring variety by environment interaction using factor analysis. **Genome**, v. 53, n. 11, p. 1002-1016, 2010.

CULLIS, B. R.; SMITH, A. B.; COOMBES, N. E. On the design of early generation variety trials with correlated data. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 11, n. 4, p. 381, 2006.

DIAS, K. O. das G.; GEZAN, S. A.; GUIMARÃES, C. T.; MAGALHÃES, J. V. de; GUIMARÃES, P. E. de O.; CARNEIRO, N. P.; PORTUGAL, A. F.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANONI, C. de O.; SOUZA, J. C. de; GUIMARAES, L. J. M.; PASTINA, M. M. Estimating genotype X environment interaction for and genetic correlations among drought tolerance traits in maize via factor analytic multiplicative mixed models. **Crop Science**, v. 58, p. 72-83, 2018.

JARQUÍN, D.; SILVA, C. L. da; GAYNOR, R. C.; POLAND, J.; FRITZ, A.; HOWARD, R.; BATTENFIELD, S.; CROSSA, J. Increasing genomic-enabled prediction accuracy by modeling genotype x environment interactions in Kansas wheat. **The Plant Genome**, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2017.

LOMBARDI, G. M. R.; NAVEGANTES, P. C. A.; PEREIRA, C. H.; FONSECA, J. M. O.; PARRELLA, R. A. da C.; CASTRO, F. M. R.; ROCHA, M. J.; ORNELAS, D. O.; BRUZI, A. T.; NUNES, J. A. R. Heterosis in sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 593-601, maio 2018.

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

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

RESENDE, M. D. V. D.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, 182-194, 2007.

SILVA, M. J. da; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, N. N. L. D.; PASTINA, M. M.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. Evaluation of the potential of

lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 379-385, 2018.

SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, R. A. da C.; MAY, A.; SCHAFFERT, R. E. Production and characterization of high-biomass sorghum pellet. **Brazilian Applied Science Review**. v. 2, n. 5, p. 1682-1695, 2018.

SMITH, A. B.; CULLIS, B. R. Plant breeding selection tools built on factor analytic mixed models for multi-environment trial data. **Euphytica**. v. 214, n. 8, p. 143, 2018.

SMITH, A.; CULLIS, B.; THOMPSON, R. Analyzing variety by environment data using multiplicative mixed models and adjustments for spatial field trend. **Biometrics**, v. 57, n. 4, p. 1138-1147, 2001.

SMITH, A. B.; GANESALINGAM, A.; KUCHEL, H.; CULLIS, B. R. Factor analytic mixed models for the provision of grower information from national crop variety testing programs. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 128, n. 1, p. 55-72, 2015.

**Embrapa**

---

**Milho e Sorgo**



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

