

## Comparação entre métodos para o estudo da adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo sacarino

**Ruane Alice da Silva<sup>(1)</sup>; Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>(2)</sup>; Pakizza Sherma da Silva Leite<sup>(3)</sup>; Dalila Dominique Duarte Rocha<sup>(4)</sup>; André May<sup>(5)</sup>; Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella<sup>(6)</sup>; Robert Eugene Schaffert<sup>(7)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Graduanda em Engenharia Agrônômica; Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas - MG; ruane.alice29@gmail.com; <sup>(2)</sup> Pesquisador; Embrapa Milho e Sorgo <sup>(3)</sup> Doutoranda em Genética e Melhoramento de Plantas; Universidade Federal de Lavras <sup>(4)</sup> Mestranda em produção vegetal; Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas - MG; <sup>(5)</sup> Pesquisador; Embrapa Milho e Sorgo <sup>(6)</sup> Professora Adjunta; Universidade Federal de São João del-Rei; <sup>(7)</sup> Pesquisador; Embrapa Milho e Sorgo.

**RESUMO:** O sorgo sacarino tem se destacado cada vez mais no cenário energético, dessa forma estudos na área são de extrema importância. Diante disso o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes métodos estatísticos de análise da adaptabilidade e estabilidade e indicar genótipos de interesse em sorgo sacarino. Os experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2015/2016 em Sete Lagoas-MG, Janaúba-MG, e Jaguariúna-SP. Utilizaram-se 25 cultivares de sorgo sacarino, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Foram avaliadas as seguintes características: produção de massa verde (PMV, kg.ha<sup>-3</sup>), teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH, t.ha<sup>-1</sup>). As análises foram desenvolvidas no programa estatístico-computacional GENES. Os dados foram submetidos a análise de variância e a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi avaliada por meio dos seguintes métodos Annicchiarico (1992), Lin e Binns (1988), Wricke e Weber (1986). Cada método classificou genótipos diferentes para cada característica, destacando que os genótipos que se apresentaram mais estáveis e adaptáveis foram 2015(B)005, 2015(B)008, 2015(B)012, 2015(B)020 e BRS511, associando maior peso de massa verde com maior valor de sólidos solúveis totais sendo de interesse para o desenvolvimento de híbridos de sorgo sacarino. Ressaltando que para a determinação da adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo sacarino os métodos Annicchiarico (1992) e Lin e Binns (1988) expressaram resultados coerentes entre si, diferentes dos obtidos pelo método de Wricke e Weber (1986), que optam pela escolha de genótipos altamente estáveis, no entanto com baixa adaptabilidade, o que é indesejável.

**Termos de indexação:** *Sorghum bicolor*, ambientes, interação.

## INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem se destacado cada vez mais no setor sucroenergético, sendo uma cultura complementar para ser utilizada na entressafra da cana-de-açúcar. Apresenta características agroindustriais favoráveis como mecanização total da cultura, ciclo curto e altos teores de açúcar no colmo (MAY et al., 2014). Porém, ainda existe a necessidade de diversos estudos para o manejo ideal dessa cultura, visto que o sorgo sacarino vem passando por um processo de adaptação dentro do cenário energético (SCHAFFERT et al., 2011).

Alguns desses estudos, que garantem a indicação de genótipos aptos para determinadas regiões, são os de adaptabilidade e estabilidade. Eles são de extrema importância na fase final dos programas de melhoramento, isso porque, por meio deles, pode-se indicar cultivares de comportamento mais estável e de desempenho superior, associadas em situações de variações ambientais (CRUZ et al., 2010). Os métodos a serem utilizados para estes estudos vão variar, de acordo com a precisão experimental e número de ambientes avaliados, ficando ao cargo do melhorista escolher o que se adéqua mais as suas condições experimentais (SOUZA et al., 2013).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar diferentes métodos estatísticos de análise da adaptabilidade e estabilidade e indicar genótipos de interesse em sorgo sacarino.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2015/2016 em Sete Lagoas, região Central de Minas Gerais, Janaúba, no Norte de Minas e em Jaguariúna, região metropolitana de Campinas-SP.

### Tratamentos e amostragens

Utilizaram-se 25 cultivares de sorgo sacarino, sendo 20 híbridos (2015(B)001 a 2015(B)020), 4 variedades (CMSXS646, CMSXS647, BRS508 e BRS511) pertencentes ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo e um híbrido comercial (CV198). As parcelas foram dispostas em 2 fileiras de 5 metros de comprimento, espaçadas 0,7 m entre as linhas, onde foram avaliadas as seguintes características: produção de massa verde (PMV), kg.ha<sup>-3</sup>, teor de sólidos solúveis totais (SST) em °Brix e toneladas de brix por hectare<sup>-1</sup> (TBH). O PMV foi obtido a partir da pesagem das duas linhas de cada entrada e o peso em Kg foi convertido em kg.ha<sup>-3</sup>. A medida de SST foi determinada com o auxílio de um refratômetro digital, em que a leitura é dada de forma direta em ° Brix do caldo extraído dos colmos. Para toneladas de brix por hectare foi utilizada a seguinte fórmula:

$$TBH = PMV * (SST/100)$$

### Delineamento e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. As análises foram realizadas no programa estatístico-computacional GENES (CRUZ, 2013). Após realizada a análise de variância foram utilizados os seguintes métodos para estudo da adaptabilidade e estabilidade: Annicchiarico (1992), Lin e Binns (1988), Wricke e Weber (1986).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância para produção de massa verde (PMV), em t.ha<sup>-1</sup>, teor de sólidos solúveis totais (SST), em graus brix, e toneladas de brix por hectare (TBH), em t.ha<sup>-1</sup>, estão apresentados na Tabela 1. Os resultados da análise de variância demonstraram valores significativos para todas as características, exceto para PMV e TBH em relação a fonte de variação cultivares. Para as características de PMV e TBH em relação ao ambiente foi verificada diferença estatística de ( $p \leq 0,01$ ) e para SST ( $p \leq 0,05$ ), demonstrando variabilidade entre os ambientes. Para fonte de variação Cultivares x Ambientes, todas as características expressaram probabilidade de 1 % no teste F, comprovando que o comportamento dos cultivares diferiu em todos os ambientes.

**Tabela 1** – Análise de variância para produção de massa verde (PMV), em kg.ha<sup>-3</sup>, teor de sólidos solúveis totais (SST), em graus brix, e toneladas de brix por hectare (TBH), em t.ha<sup>-1</sup>, avaliados em cultivares de sorgo sacarino, na safra 2015/2016, em Sete Lagoas-MG, Janaúba-MG, Jaguariúna-SP.

| FV         | GL | PMV       | SST      | TBH       |
|------------|----|-----------|----------|-----------|
| Cultivares | 24 | 28,212 ns | 3,215 *  | 37,372 ns |
| Ambiente   | 2  | 0,138 **  | 3,136 *  | 0,101 **  |
| Cult x Amb | 48 | 0,001 **  | 0,433 ** | 0,016 **  |
| MÉDIA      |    | 61,466    | 18,135   | 11,144    |
| CV(%)      |    | 18,939    | 9,408    | 22,250    |

\*\* e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste F.

Considerando a análise geral de todos os métodos, no método de Annicchiarico (1992) a escolha dos materiais deve ser feita a partir do índice Wi. Quanto maior esse índice, mais adaptável e estável é o genótipo para determinada característica, ou seja, apresenta maior média e menor desvio padrão. Para a variável PMV, os materiais que obtiveram índice de confiança, maior que 100, foram os genótipos 201543(B)004, 201543(B)005, 201543(B)012, 201543(B)020, BRS 511 e CV198 (Tabela 1). Isso significa que esses genótipos apresentam menores riscos de estarem abaixo da média geral para PMV. Para SST, os genótipos 201543(B)007, 201543(B)008, 201543(B)012, 201543(B)015, 201543(B)016, 201543(B)019 e BRS 508 foram superiores. Considerando a variável TBH, os genótipos superiores foram: 201543(B)005, 201543(B)008, 201543(B)012, 201543(B)020, BRS 511 (Tabela 2). Pode-se então observar que apenas o genótipo 201543(B)012 se repetiu para as três características.

Para a metodologia de Lin e Binns (1988), o genótipo mais estável é o que apresenta menor Pi (índice de estabilidade do genótipo). Esse apresenta maior média tanto no ambiente favorável quanto no ambiente desfavorável. Verificou-se que os genótipos 201543(B)002, 201543(B)004, 201543(B)005, 201543(B)008, 201543(B)0012, 201543(B)014, 201543(B)020, BRS 511 e CV198 obtiveram menores níveis de Pi para PMV (Tabela 2). Os genótipos 201543(B)007, 201543(B)008, 201543(B)009, 201543(B)012, 201543(B)015, 201543(B)016, 201543(B)019, BRS508 e BRS 511

tiveram menores  $P_i$  para SST (Tabela 2). Para variável TBH os genótipos mais estáveis e que apresentaram, maiores médias foram os 201543(B)002, 201543(B)005, 201543(B)008, 201543(B)009, 201543(B)012, 201543(B)014, 201543(B)020, BRS 511 e CV198 (Tabela 2). Diferentemente do método anterior, não só o genótipo 201543(B)012, mas também os genótipos 201543(B)008 e BRS511 apresentaram baixo  $P_i$  para as três variáveis.

O método de Wricke e Weber (1986) estima que o genótipo mais estável é o que apresenta menor ecovalência ( $w_i$  %), ou seja, o que apresenta menor contribuição para a interação genótipo x ambiente. Os genótipos considerados mais estáveis por este método para PMV foram os 201543(B)004, 201543(B)005, 201543(B)006, 201543(B)012, 201543(B)013, 201543(B)020, CMSXS647 e BRS 511 (Tabela 2). Para os sólidos solúveis totais, foram os genótipos 201543(B)002, 201543(B)003, 201543(B)005, 201543(B)006, 201543(B)007, 201543(B)014, 201543(B)016 e BRS508, e para TBH, os genótipos 201543(B)005, 201543(B)006, 201543(B)011, 201543(B)012, 201543(B)015, 201543(B)016, CMSXS647 e BRS511 (Tabela 1). Os genótipos coincidentes para as três características foram 201543(B)005 e 201543(B)006.

Em estudos de adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino utilizando o método de Annicchiarico (1992), Souza et al., 2013, concluiu que as variedades CMSXS646 e CMSXS634(BRS511) foram os genótipos mais adaptado e estáveis, superando os híbridos avaliados. Nos estudos de adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino utilizando o método GGEbiplot, Figueiredo et al., 2015, verificaram que a variedade BRS511 apresentou-se como uma cultivar duplamente desejável, superando os híbridos avaliados. Estes resultados corroboram com os obtidos neste trabalho, em que a variedade BRS511 expressa adaptação e estabilidade, podendo ser utilizada com eficiência para produção de etanol.

Os caracteres PMV e o SST são diretamente correlacionados com a produção de etanol (MURRAY et al., 2008; LOMBARDI et al., 2015). O THB é um índice que combina o PMV e o SST, sendo um importante caráter para seleção de genótipos superiores de sorgo sacarino. Considerando esta característica, destacaram-se os híbridos B005, B008, B012, B020 e BRS511, visando à produção de etanol.

### CONCLUSÕES

As metodologias de estudo da adaptabilidade e estabilidade Annicchiarico (1992) e Lin e Binns

(1988) expressaram resultados coerentes entre si, diferentes dos obtidos pelo método de Wricke e Weber (1986), que optam pela escolha de genótipos altamente estáveis, no entanto, com baixa adaptabilidade, o que é indesejável.

Os genótipos que se apresentaram mais estáveis e adaptados segundo os métodos de Annicchiarico (1992) e Lin e Binns (1998) foram B005, B008, B012, B020 e BRS511, associando maior peso de massa verde com maior teor de sólidos solúveis totais, sendo de interesse para a produção de etanol.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa Milho e Sorgo, ao Projeto Sweetfuel, à Universidade Federal de São João del-Rei, ao CNPq, e à Fapemig, pelo apoio na realização deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- ANNICCHIARICO, P.; **Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy**. Journal of Genetics and Plant Breeding, New Jersey, v. 46, p. 269-278, 1992.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M. V.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; FILHO, M. R. A. **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 1).
- CRUZ, C. D. GENES: **a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- FIGUEIREDO, U. J. de; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. da C.; SOUZA, E. D.; SILVA, A. R. da; EMYGDIO, B. M.; MACHADO, J. R. A.; TARDIN, F. D. **Adaptability and stability of genotypes of sweet sorghum by GGEbiplot and Toler methods**. Genetics and Molecular Research, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 11211-11221, 2015.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. **A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter**. Theoretical and Applied Genetics, New York, v. 76, n. 3, p. 425-430, 1988.
- LOMBARDI, G. M. R.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; TEIXEIRA, D. H. L.; BRUZI, A. T.; DURÃES, N. N. L.; FAGUNDES, T. G. **Path analysis of agro-industrial traits in sweet sorghum**. Genetics and Molecular Research, Ribeirão Preto, v. 14, n. 4, p. 16392-16402, 2015.
- MURRAY, S. C., SHARM, A., ROONEY, W. L.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E., MITCHELL, S. E., ; KRESOVICH, S. **Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: I. QTL for Stem Sugar and Grain Nonstructural Carbohydrates**. Crop Sci. 48:2165–2179 (2008). doi: 10.2135/cropsci2008.01.0016



MAY, A.; PARRELLA, R. A. da C.; DAMASCENO, C. M. B.; SIMEONE, M. L. F. **Sorgo como matéria-prima para produção de bioenergia: etanol e cogeração.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 14-20, jan./fev. 2014.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C.; MAY, A.; DURAES, F. O. M. **Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino.** Agroenergia em Revista, Brasília, v. 2, n. 3, p. 47, ago. 2011.

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

WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding.** Berlin: Walter de Gruyter, 1986. 406 p.

**Tabela 2.** Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 25 cultivares de sorgo sacarino avaliados em três ambientes no Brasil nos anos de 2015 e 2016, pelos métodos de Annicchiarico, de Lin & Binns (L&B) e Wricke & Weber, para três características, sendo elas produção de massa verde (PMV), kg.ha<sup>-3</sup>, teor de sólidos solúveis totais (SST) em °Brix e toneladas de brix por hectare<sup>-1</sup> (TBH), além da média geral de cada uma para os três ambientes.

| Cultivares   | Características |               |             | Annicchiarico |            |          | Lin e Binns    |                  |                | Wricke & Weber |              |            |
|--------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|------------|----------|----------------|------------------|----------------|----------------|--------------|------------|
|              | Média (PMV)     | Média (°Brix) | Média (TBH) | Wi (PMV)      | Wi (°Brix) | Wi (TBH) | Pi geral (PMV) | Pi geral (°Brix) | Pi geral (TBH) | ωi % (PMV)     | ωi % (°Brix) | ωi % (TBH) |
| 201543(B)001 | 56.39           | 17.83         | 9.85        | 79.03         | 93.34      | 76.48    | 763.18         | 5.24             | 29.23          | 1.92           | 3.72         | 2.02       |
| 201543(B)002 | 61.64           | 18.07         | 11.00       | 91.32         | 96.81      | 90.90    | 490.36         | 4.01             | 17.15          | 3.67           | 1.25         | 2.80       |
| 201543(B)003 | 60.55           | 17.92         | 10.85       | 82.96         | 98.05      | 82.15    | 659.75         | 4.15             | 23.02          | 4.08           | 0.11         | 3.16       |
| 201543(B)004 | 65.02           | 17.99         | 11.31       | 104.06        | 88.96      | 93.86    | 459.45         | 5.68             | 18.10          | 0.16           | 18.10        | 1.56       |
| 201543(B)005 | 64.73           | 17.87         | 11.51       | 103.62        | 96.76      | 100.58   | 438.28         | 4.12             | 15.28          | 0.14           | 0.62         | 0.26       |
| 201543(B)006 | 61.95           | 17.69         | 10.85       | 97.33         | 96.23      | 94.76    | 505.56         | 5.10             | 19.04          | 0.51           | 0.22         | 0.22       |
| 201543(B)007 | 54.84           | 19.13         | 10.56       | 74.25         | 103.14     | 78.76    | 1006.77        | 1.30             | 26.47          | 10.47          | 0.98         | 7.76       |
| 201543(B)008 | 64.80           | 19.91         | 12.86       | 95.63         | 105.48     | 105.00   | 493.22         | 0.35             | 10.74          | 1.98           | 2.99         | 2.22       |
| 201543(B)009 | 68.21           | 18.63         | 12.87       | 94.57         | 99.39      | 94.70    | 518.52         | 3.08             | 15.25          | 7.77           | 1.76         | 9.71       |
| 201543(B)010 | 57.02           | 17.47         | 10.07       | 84.39         | 91.56      | 82.37    | 639.94         | 6.87             | 23.14          | 2.56           | 3.90         | 1.39       |
| 201543(B)011 | 54.56           | 18.48         | 10.09       | 79.45         | 92.71      | 86.35    | 848.37         | 5.01             | 23.38          | 4.49           | 14.67        | 1.09       |
| 201543(B)012 | 66.85           | 19.79         | 13.36       | 105.99        | 103.10     | 115.12   | 412.62         | 1.16             | 7.29           | 0.08           | 5.86         | 0.92       |
| 201543(B)013 | 56.78           | 17.11         | 9.80        | 85.31         | 90.20      | 75.91    | 750.23         | 7.96             | 29.33          | 0.84           | 2.79         | 1.82       |
| 201543(B)014 | 62.79           | 18.12         | 11.43       | 90.53         | 98.46      | 92.67    | 440.84         | 4.06             | 14.81          | 3.82           | 0.36         | 2.34       |
| 201543(B)015 | 52.60           | 18.70         | 9.72        | 76.37         | 100.14     | 79.86    | 809.82         | 2.33             | 25.46          | 1.55           | 1.56         | 1.46       |
| 201543(B)016 | 58.55           | 19.40         | 11.46       | 89.34         | 106.08     | 96.05    | 728.61         | 1.14             | 18.32          | 1.75           | 0.10         | 1.24       |
| 201543(B)017 | 60.78           | 16.47         | 9.86        | 83.25         | 82.22      | 73.40    | 562.52         | 11.94            | 29.45          | 2.97           | 10.05        | 2.70       |
| 201543(B)018 | 57.74           | 16.63         | 9.76        | 78.37         | 86.76      | 68.91    | 660.82         | 10.04            | 28.43          | 2.45           | 4.01         | 2.71       |
| 201543(B)019 | 63.35           | 19.14         | 12.15       | 81.85         | 102.79     | 84.06    | 780.19         | 1.79             | 21.35          | 15.91          | 1.32         | 15.76      |
| 201543(B)020 | 69.53           | 18.14         | 12.73       | 103.94        | 97.50      | 102.38   | 388.22         | 3.27             | 11.17          | 1.80           | 1.28         | 2.81       |
| CMSXS 646    | 50.70           | 18.48         | 9.52        | 65.17         | 98.81      | 65.44    | 1082.10        | 3.60             | 34.93          | 5.42           | 1.48         | 6.27       |
| CMSXS647     | 63.31           | 16.19         | 10.09       | 98.18         | 85.41      | 89.48    | 525.05         | 10.18            | 24.79          | 0.61           | 3.07         | 0.13       |
| BRS 508      | 55.97           | 19.36         | 10.82       | 85.49         | 105.61     | 90.67    | 700.67         | 1.25             | 18.23          | 1.67           | 0.15         | 1.82       |
| BRS 511      | 64.35           | 18.56         | 11.99       | 99.99         | 98.29      | 99.52    | 471.61         | 2.55             | 13.37          | 0.48           | 2.80         | 1.12       |
| CV198        | 83.66           | 16.30         | 14.11       | 106.93        | 80.19      | 86.52    | 107.67         | 12.87            | 10.58          | 22.89          | 16.83        | 26.69      |