

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS EM PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO DE ESTRESSE SALINO EM GENÓTIPOS DE ARROZ

Rodrigo Danielowski¹; Taiane Peres Viana²; Elisane Weber Tessmann²; Mateus Olivo²; Cristiano Matias Zimmer³; Eder Licieri Golli³; Anderson Rodrigues⁴; Antonio Costa de Oliveira⁵; Luciano Carlos da Maia⁵.

Palavras-chave: biplot, abiótico, índices, adaptabilidade.

INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os dez países que mais produzem arroz (*Oryza sativa* L.) (FAOSTAT, 2013). O Estado do Rio Grande do Sul responde por mais de 60% da produção nacional, com níveis de produtividade superiores a 7 t ha⁻¹ (CONAB, 2015). A salinidade dos solos é um dos estresses abióticos mais severos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo o arroz umas das plantas mais sensíveis aos danos causados por este estresse (MUNNS e TESTER, 2008). Estima-se que até o ano de 2050 aproximadamente 50% dos solos agricultáveis apresentarão algum tipo de limitação devido à salinidade presente nos solos (FAO, 2006). Esta situação preocupa, uma vez que estimativas da (FAO, 2010) apontam que em 2030 a população mundial deverá ser de 8,3 bilhões de habitantes. A avaliação de genótipos de arroz em resposta a estresses abióticos é uma das estratégias de pré-melhoramento que tem como objetivo identificar plantas tolerantes às condições adversas. Desta forma as plantas tolerantes podem ser empregadas diretamente nos sistemas produtivos ou então entrarem na composição de cruzamentos, com o intuito de obter plantas mais tolerantes. Atualmente, existem metodologias para mensurar e caracterizar os genótipos em tolerantes e sensíveis a estresses abióticos, entre elas cita-se o índice de tolerância ao estresse (ITS) proposto por FERNANDEZ (1993), que avalia genótipos que se mostram mais produtivos em ambientes com ou sem estresse. O índice de sensibilidade ao estresse (ISS) mostra quais são os genótipos que sofrem menos os efeitos da salinidade em comparação ao tratamento controle (FISCHER e MAURER 1978). O desempenho relativo (DR) é outra forma de avaliação baseada na produção obtida por um genótipo no ambiente com estresse, em relação a sua produção no ambiente sem estresse. Existem também modelos utilizados na avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos frente a diferentes ambientes. Duas destas metodologias são o coeficiente de variação ambiental descrito por RAMALHO et al. (2012) e o método baseado no desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e da interação genótipos x ambientes, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo descrito por YATES e COCHRAN (1938). Sendo assim o objetivo deste experimento foi avaliar 24 genótipos de arroz em função de diferentes níveis de estresse salino por meio dos parâmetros índice de sensibilidade ao estresse (ISS), índice de tolerância ao estresse (STI), desempenho relativo (DR), coeficiente de variação ambiental (CV%) e adaptabilidade pelo método de YATES e COCHRAN (QM).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com 24 genótipos de arroz. A solução nutritiva fornecida foi a proposta SINGH et al., (2010). O estresse foi proporcionado pela adição de NaCl P.A., nas concentrações de 0, 30, 60 e 90 mM. O cultivo foi realizado em casa de vegetação em um sistema constituído por tanques com capacidade de 20 litros e bandejas flutuantes (*floating*) com 72 células. As soluções nutritivas foram substituídas semanalmente e o pH

¹ Eng. Agr. Doutorando em Agronomia – PPGA/UFPel; Capão do Leão/RS; rodrigodanielrs@gmail.com

² Eng. Agr. Estudante de Doutorado;

³ Eng. Agr. Estudante de Mestrado;

⁴ Estudante de Graduação em agronomia;

⁵ Prof. PhD/Dr. Departamento, de Fitotecnia – PPGA/UFPel

foi verificado diariamente. As plântulas previamente germinadas foram transplantadas para as bandejas, recebendo a solução nutritivas normal (0 mM NaCl) por sete dias. Posteriormente a solução nutritiva foi substituída, e se deu início aos tratamentos com as respectivas concentrações de NaCl. Após o período de 21 dias, todas as plantas foram avaliadas em função do comprimento da parte aérea (CPA), sendo os comprimentos obtidos com régua graduada em centímetros. A parte aérea é mais afetada pela salinidade do que as raízes segundo SHABALA e MUNNS (2012). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial com 24 genótipos e 4 concentrações de NaCl (24X4). Após a coleta de dados, estes foram analisados com o uso do software Genes versão 2015.5.0. A partir da constatação de efeito significativo para a interação entre os fatores, realizou-se a construção dos índices de sensibilidade ao estresse (ISS), índices de tolerância ao estresse (STI), desempenho relativo (DR), coeficiente de variação ambiental (CVi%) e adaptabilidade pelo método de (QM) de YATES e COCHRAN (1938). Com as médias obtidas pelos genótipos em cada tratamento, procederam-se os cálculos para a obtenção dos parâmetros. Na obtenção dos índices SSI, STI e DR utilizou-se apenas as médias obtidas pelos genótipos nos tratamentos controle e 90 mM de NaCl. Já para CVi% e QM utilizou-se as médias obtidas em todos os tratamentos (0, 30, 60, 90 mM de NaCl). Os parâmetros resultantes foram então padronizados para a realização da análise de componentes principais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os parâmetros obtidos pelos genótipos em função das concentrações de NaCl utilizadas. O índice de sensibilidade ao estresse (SSI) mostra quais são os genótipos que menos são afetados pelos ambientes com estresse, assim valores altos deste índice representam maiores perdas de produtividade em relação a produção em ambiente sem estresse. De acordo com ALI et al. (2013) este índice é eficiente na caracterização de genótipos sensíveis a estresses abióticos, sendo assim podemos destacar o genótipo BRS TAIM como o mais sensível ao estresse salino segundo este parâmetro. Resultado que corrobora com os obtidos por BENITEZ et al. (2010). Já o índice de tolerância ao estresse (STI) caracteriza os genótipos como tolerantes, aqueles que apresentaram maiores valores deste índice. Desta forma podemos destacar o genótipo BR IRGA 411 com o índice de 1,52. O DR é outra forma de se avaliar os genótipos frente a uma condição de estresse, e assim obtêm-se o percentual produtivo em relação ao tratamento controle, podendo gerar valores como o obtido pelo genótipo BRS TALENTO com produção superior ao tratamento controle. Esta resposta pode ser explicado pelo fato desta

Tabela 1 – Número do genótipo (n°), índices de sensibilidade ao estresse (SSI), índices de tolerância ao estresse (STI), desempenho relativo (DR), coeficiente de variação de ambiente (CVi%) e quadrado médio (QM).

Genótipos	n°	SSI	STI	DR	Cvi(%)	QM
BRS 6 CHUI	1	1,72	0,83	85,71	6,96	24,92**
BRS 7 TAIM	2	3,29	0,63	72,69	14,98	81,33**
BRS CONAI	3	-1,10	1,00	109,13	6,86	29,76**
BRS COLOSSO	4	0,04	1,03	99,70	2,67	4,41ns
BRS A GRISUL	5	2,23	0,80	81,48	10,94	57,34**
BRS LIDERANÇA	6	-0,23	1,08	101,91	2,58	4,26ns
BRS LIGEIRINHO	7	1,70	1,27	85,92	8,10	46,47**
BRS QUERÊNCIA	8	0,70	0,76	94,17	4,61	9,46ns
BRS PELOTA	9	0,35	0,79	97,05	7,70	26,12**
BRS A TALANTA	10	1,66	0,96	86,25	7,00	27,00**
BRS BOJURU	11	-0,47	0,84	103,88	8,43	32,13**
BR IRGA 413	12	1,79	1,29	85,14	9,23	70,94**
BR IRGA 411	13	-1,64	1,52	113,63	5,40	27,30**
BR IRGA 410	14	1,80	0,75	85,04	6,81	21,53**
IRGA 418	15	2,50	1,01	79,20	10,87	73,31**
IRGA 416	16	1,01	0,85	91,65	5,91	16,67*
IRGA 420	17	1,82	0,91	84,87	10,40	56,74**
IRGA 417	18	2,81	0,88	76,62	14,80	117,30**
BRS SINUELO	19	0,29	0,57	97,61	4,08	5,36ns
IR8	20	1,43	0,43	88,10	5,45	7,50ns
DIAMANTE	21	0,80	1,21	93,33	6,04	28,93**
BRS TALENTO	22	-2,32	0,76	119,26	7,95	29,33**
CANA ROXA	23	0,77	1,34	93,57	4,12	13,81ns
BRS PAMPA	24	2,05	0,82	82,96	9,14	43,68**

ns, ** e * não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

cultivar ter em sua genealogia cerca de 50% genótipos tolerantes a seca (CASTRO et al., 2002). O coeficiente de variação ambiental de RAMALHO (2012) é uma variação da metodologia citada por LIN et al. (1986) para a avaliação da adaptabilidade e/ou estabilidade tipo 1 (BECKER 1981). A vantagem desta metodologia e também a descrita por YATES e COCHRAN (1938) baseada no quadrado médio, é que se trabalha com as médias obtidas pelos genótipos em todas as concentrações de NaCl (simulação de ambientes). Desta forma os genótipos com menores valores de CVi% são os mais adaptados segundo esta metodologia, pois estes são menos afetados pelas concentrações de NaCl. Assim destacamos o genótipo BRS LIDERANÇA como o genótipo mais tolerante a salinidade segundo esta metodologia. O quadrado médio apresenta resultado semelhante ao CVi% com a vantagem da realização do teste F, proporcionando maior precisão na caracterização dos genótipos. Assim temos seis genótipos que não foram significativamente afetados pelas concentrações de NaCl empregadas neste estudo, com destaque para o BRS LIDERANÇA que obteve o menor valor de QM. Na tabela 2 estão as estimativas dos autovalores e a fração cumulativa dos componentes principais. É possível observar que os dois primeiros componentes explicam 85,35% da variação total. Na figura 1 podemos observar que o componente principal 1 que representa 63,78% da variação total, dividiu os parâmetros em dois grupos, a partir da origem. Assim uma correlação positiva ente o CP 1 e os parâmetro de QM, CVi% e SSI é observada. De acordo com cada metodologia, valores altos destes parâmetros representam baixos níveis de adaptabilidade no caso do QM e CVi% e sensibilidade ao estresse para o índice SSI. Esta informação corrobora com o fato dos genótipos 5 (BRS AGRISUL) e 2 (BRS TAIM) serem caracterizados com suscetíveis a salinidade TERRES et al. (2004); BENITEZ et al. (2010). Correlação negativa com o CP1 foi mais proeminente para o DR. Neste parâmetro podemos destacar o genótipo 22 (BRS TALENTO) que possui em sua genealogia uma grande contribuição de genótipos tolerantes a seca, assim os valores negativos do CP 1 correspondem a um elevado valor de DR para este genótipo. O STI foi o que teve maior correlação ao CP 2, que representa 21,57% da variação total. Neste parâmetro podemos destacar o genótipo 13 (BR IRGA 411) por apresentar o maior valor de STI. Os genótipos 9 (BRS PELOTA), 10 (BR IRGA 413), 11 (BRS BOJURU) e 16 (IRGA 416) podem ser caracterizados como moderadamente tolerantes por se manterem mais próximos da origem do gráfico, ou seja, eles apresentam valores intermediários para os parâmetros utilizados neste estudo.

Tabela 2 – Estimativas dos autovalores obtidos conforme a técnica de componentes principais e fração cumulativa da variância explicada por estes.

Componentes Principais (CP)	Estimativa dos autovalores		
	Raiz	Raiz (%)	Acumulado (%)
1	3,1892	63,78	63,78
2	1,0784	21,57	85,35
3	0,7014	14,03	99,38
4	0,0310	0,62	100,00
5	0,0000	0,00	100,00

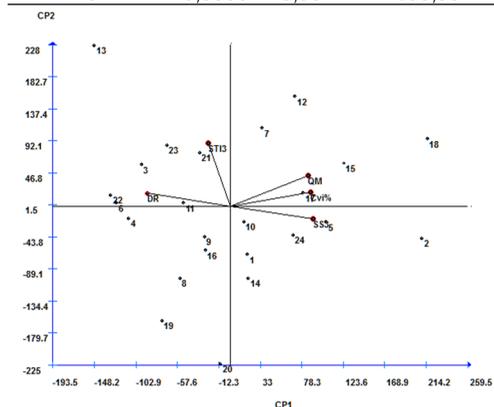


Figura1 - Biplot dos dois primeiros Componentes Principais de 24 genótipos de arroz em função dos parâmetros de avaliação de estresse.

o índice SSI. Esta informação corrobora com o fato dos genótipos 5 (BRS AGRISUL) e 2 (BRS TAIM) serem caracterizados com suscetíveis a salinidade TERRES et al. (2004); BENITEZ et al. (2010). Correlação negativa com o CP1 foi mais proeminente para o DR. Neste parâmetro podemos destacar o genótipo 22 (BRS TALENTO) que possui em sua genealogia uma grande contribuição de genótipos tolerantes a seca, assim os valores negativos do CP 1 correspondem a um elevado valor de DR para este genótipo. O STI foi o que teve maior correlação ao CP 2, que representa 21,57% da variação total. Neste parâmetro podemos destacar o genótipo 13 (BR IRGA 411) por apresentar o maior valor de STI. Os genótipos 9 (BRS PELOTA), 10 (BR IRGA 413), 11 (BRS BOJURU) e 16 (IRGA 416) podem ser caracterizados como moderadamente tolerantes por se manterem mais próximos da origem do gráfico, ou seja, eles apresentam valores intermediários para os parâmetros utilizados neste estudo.

CONCLUSÃO

Os genótipos utilizados neste estudo apresentam respostas diferentes ao estresse salino. Os parâmetros empregados na avaliação são eficientes na caracterização da resposta a salinidade. Os genótipos BRS AGRISUL e BRS TAIM são sensíveis a salinidade.

Os genótipos BRS TALENTO e BR IRGA 411 são tolerantes a salinidade. BRS PELOTA, BR IRGA 413, BRS BOJURU e IRGA 416 são moderadamente tolerantes a salinidade.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos, a Embrapa por fornecer os genótipos do estudo e a UFPel pelo aporte humano intelectual e pela infraestrutura para a condução dos trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, S. et al. Stress indices and selectable traits in SALTOL QTL introgressed rice genotypes for reproductive stage tolerance to sodicity and salinity stresses. **Field Crops Research**, v. 154, p. 65-73, 2013.
- BECKER, H. C. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. **Euphytica**, v. 30, p. 835-840, 1981.
- BENITEZ, Letícia Carvalho et al. Tolerância à salinidade avaliada em genótipos de arroz cultivados in vitro. **Revista Ceres**, v. 57, n. 03, p. 330-337, 2010.
- CASTRO, Emílio da Maia de et al., **BRS Talento**: Cultivar Semi-precoce de Arroz de Terras Altas. 2002. 2p.
- CONAB. **Levantamentos de safra**: 9º Levantamento grãos safra 2014/15. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 Junho. 2015.
- YATES, F.S.; COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.28, p.556-580. 1938.
- FAO. 2006. Food and Agriculture Organization . The state of food security in the world. FAO, Rome, Italy.
- FAO. 2010. Land And Plant Nutrition Management Service. Disponível em: <http://www.fao.org>
- FAOSTAT 2013, Food and Agriculture Organization of the United Nations, The statistics division. Disponível em:< <http://faostat.fao.org/#> >. Acesso em junho de 2015.
- FERNANDEZ, C. G. J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua: AVRDC, 1993. p.257-270.
- FISHER. R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, Collingwood, v.29, n.5, p.897-907, 1978.
- LIN, C. S.; et al. Stability analysis. Where do we stand?. **Crop Science**, v 26, n. 5, p. 894-899, 1986.
- MUNNS R.; TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, vol. 59, p. 651–681. Jan. 2008.
- Programa Genes – Aplicativo computacional em genética e estatística. Versão 2015.5.0 disponível em www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm www.ufv.br/dbg/biodata.htm.
- RAMALHO M. A. P., et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522p.
- SHABALA, S; MUNNS, R. Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. In S Shabala, ed, **Plant Stress Physiology**. CAB International, Oxford, 2012, pp 59–93.
- SINGH RK; FLOWERS TJ. The physiology and molecular biology of the effects of salinity on rice. In **Handbook of Plant and Crop Stress** Third Edition edited by M. Pessaraki. Publisher: Taylor and Francis, Florida, USA. 2010. p899-939.
- TERRES, A. L. S.GOMES; FAGUNDES P. R. R; MACHADO, M. O.; MAGALHÃES JR., A. M. de.; NUNES, C. D. M.; Melhoramento genético e cultivares de arroz irrigado. in: **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899p.