

Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de arroz em Minas Gerais

Adaptability and phenotypic stability of rice lines in Minas Gerais

Adaptabilidad y estabilidad fenotípica de las líneas de arroz en Minas Gerais

Recebido: 24/08/2020 | Revisado: 31/08/2020 | Aceito: 03/09/2020 | Publicado: 05/09/2020

Natália Botega Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6637-9648>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: nataliabotegaagro@gmail.com

Antônio Rosário Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5082-2067>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: rosario.agronomia@gmail.com

Douglas Goulart Castro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2478-0975>

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

E-mail: douglasgoulartcastro@gmail.com

Camila Soares Cardoso da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3917-4588>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: scscamila51@hotmail.com

Bruno Manoel Rezende de Melo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6930-1093>

Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil

E-mail: bruno.melo@ifsuldeminas.edu.br

Flávia Barbosa Silva Botelho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1675-0944>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: flaviabotelho@dag.ufla.br

Resumo

A alternativa adotada nos programas de melhoramento genético para diminuir o efeito da

interação genótipo x ambiente (G x A), é através da avaliação das linhagens em uma rede de experimentos, sendo esses, conduzidos em vários anos e ambientes representativos das regiões edafoclimáticas de cultivo. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de arroz de terras altas no estado de Minas Gerais, utilizando a ferramenta gráfica para análise de dados, o GGE biplot. Foram utilizados dados de produtividade de grãos, provenientes da avaliação de vinte linhagens de arroz do ensaio de Valor de Cultivo e Uso do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a Embrapa e Epamig. Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos completos, com três repetições nas safras de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016. Os experimentos foram conduzidos em um total de nove locais divididos dentro das três safras nas cidades de Lambari, Lavras e Patos de Minas, todas localizadas no estado de Minas Gerais. Concluiu-se com este trabalho que as linhagens foram em quase sua totalidade mais adaptadas e estáveis que as cultivares comerciais. Os genótipos 10 e 13 foram superiores à média geral para produtividade e apresentaram alta estabilidade, sendo candidatos futuros para lançamento como novas cultivares.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; Produtividade de grãos; GGE Biplot.

Abstract

The alternative adopted in the breeding programs to decrease the effect of the genotype x environment interaction (G x E), is through the evaluation of the lineages in a network of experiments, these being conducted in several years and representative environments of the edaphoclimatic regions of cultivation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the adaptability and productive stability of upland rice genotypes from the Minas Gerais, using the graphical tool for analysis of data, the GGE biplot. Grain yield data were used, derived from the evaluation of twenty rice lineages from the Cultivation Value and Use test of the Upland Rice Breeding Program at the Federal University of Lavras in partnership with Embrapa and Epamig. The tests were conducted in a complete block design, with three replications in the 2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016 agricultural years. The experiments were conducted in a total of nine locations divided into the three agricultural years in the cities of Lambari, Lavras and Patos de Minas, all located in the state of Minas Gerais. It was concluded with this work that the lineages were almost entirely more adapted and stable than the commercial cultivars. The genotypes 10 and 13 were higher than the general average for productivity and showed high stability, being future candidates for launch as new cultivars.

Keywords: *Oryza sativa*; Grain yield; GGE Biplot.

Resumen

La alternativa adoptada en los programas de mejoramiento para disminuir el efecto de la interacción genotipo x ambiente (G x A), es a través de la evaluación de las cepas en una red de experimentos, estos se llevan a cabo en varios años y ambientes representativos de las regiones edafoclimáticas de cultivo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la adaptabilidad y estabilidad productiva de genotipos de arroz de secano en el estado de Minas Gerais, utilizando la herramienta gráfica para análisis de datos, el biplot GGE. Se utilizaron datos de productividad de grano, de la evaluación de veinte líneas de arroz de la prueba de Valor de Cultivo y Uso del programa de mejoramiento de arroz de secano de la Universidad Federal de Lavras en alianza con Embrapa y Epamig. Las pruebas se realizaron en un diseño de bloque completo, con tres réplicas en las temporadas 2013/2014, 2014/2015 y 2015/2016. Los experimentos se realizaron en un total de nueve localidades divididas dentro de las tres cosechas en las ciudades de Lambari, Lavras y Patos de Minas, todas ubicadas en el estado de Minas Gerais. Con este trabajo se concluyó que las cepas estaban casi completamente más adaptadas y estables que los cultivares comerciales. Los genotipos 10 y 13 fueron superiores al promedio general en productividad y mostraron alta estabilidad, siendo futuros candidatos para el lanzamiento como nuevos cultivares.

Palabras clave: *Oryza sativa*; Productividad de grano; GGE Biplot.

1. Introdução

A análise da interação genótipo por ambiente (G x A) é um dos assuntos que mais tem despertado a atenção dos melhoristas e biometristas, com especial atenção as condições tropicais, já que nessas regiões há uma maior heterogeneidade do ambiente o que acarreta em maiores chances de ocorrer interação (Ramalho et al. 2012).

A interação G x A é considerada um dos maiores entraves para os programas de melhoramento. A estimativa do ganho de seleção pode ser prejudicada, pois a avaliação em apenas um ou poucos locais, desconsiderando a interação, pode resultar em uma superestimação ou uma subestimação do valor genotípico (Cruz, Regazzi & Carneiro, 2004). Um importante efeito da interação G x A é que não há uma correlação perfeita entre o genótipo e o fenótipo, dificultando assim a validação dos resultados quando se busca o

melhoramento de plantas ou o estudo da herdabilidade (Anputhas et al. 2011, Comstock & Moll, 1963). Sendo assim, a recomendação de cultivares para os agricultores é muito dificultada visto que se torna impossível predizer o comportamento dos genótipos e ambientes durante os sucessivos anos de produção (Kang & Gauch, 1996).

Quando não há interação genótipo por ambiente ($G \times A$) ou essa é não significativa, a escolha das cultivares independe do ambiente e pode ser definida por comparação de médias. Havendo interação significativa é interessante utilizar algum método de análise de adaptabilidade e estabilidade para se obter a resposta de cada cultivar em diferentes ambientes, fazer a recomendação adequada aos agricultores bem como para a obtenção de maiores ganhos nos programas de melhoramento (Vencovsky; Barriga, 1992; Yan et al., 2007; Storck et al., 2014).

Técnicas de análise multivariada têm sido propostas como a análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos, que superam algumas limitações da análise de regressão linear. Dentre estas técnicas destaca-se o procedimento Additive Main Effects and Multiplicative Interaction, ou AMMI. Neste procedimento estão combinados num mesmo modelo componentes aditivos para os efeitos principais (genótipos e ambientes) e componentes multiplicativos para os efeitos da interação $G \times A$.

Outra abordagem para estudos da interação $G \times A$ utilizando técnicas multivariadas foi proposta por Yan et al. (2000). Estes autores modificaram a análise AMMI e desenvolveram a metodologia GGE biplot para uma análise gráfica de dados de múltiplos ambientes. Nesta metodologia G é o efeito principal do genótipo e GE é o efeito da interação, e estes são os dois efeitos mais relevantes na avaliação de cultivares.

O efeito do ambiente não é relevante para a avaliação do genótipo, devendo ser analisado simultaneamente. Na análise GGE o efeito do genótipo é aditivo, idêntico ao utilizado na análise AMMI, em conjunto com o efeito multiplicativo da interação, e a análise desses efeitos é feita por meio dos componentes principais (ACP) utilizando Sites Regression ou SREG (Balestre et al. 2009). O modelo não separa os efeitos dos genótipos do efeito da $G \times A$, mantendo-os juntos num termo multiplicativo.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de arroz de terras altas dos experimentos de VCU do Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas/ Lavras, Minas Gerais, utilizando a ferramenta gráfica para análise de dados, o GGE biplot.

2. Metodologia

Foram utilizados dados de produtividade de grãos, provenientes da avaliação de linhagens de arroz do ensaio de Valor de Cultivo e Uso do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig (Tabela 1). Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos completos, com três repetições nas safras de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016. Os experimentos foram conduzidos em um total de nove locais divididos dentro das três safras nas cidades de Lambari (21°58'02" S e 45°20'48" W), Lavras (21°14'43" S e 45°00'00" W) e Patos de Minas (18°34'44" S e 46°31'04" W), todas localizadas no estado de Minas Gerais. As parcelas foram constituídas de cinco linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,35 metros e densidade de semeadura de 80 sementes por metro linear, sendo somente as três linhas centrais consideradas úteis. Os tratos culturais realizados seguiram o indicado para a cultura.

Tabela 1. Tratamentos utilizados nos experimentos nas três safras agrícolas citadas.

Identificação	Genótipos
1	CMG 2162
2	CMG 2168
3	BRS Esmeralda
4	CMG 2170
5	CMG 2172
6	BRS MG Caçula
7	CMG 2185
8	CMG 2187
9	CMG 2188
10	CMG 2085
11	BRS Caravera
12	BRS MG Relâmpago
13	CMG 1511
14	CMG 2089
15	CMG 1896
16	CMG 2097

17	CMG 2093
18	CMG 1977
19	CMG 1509
20	CMG 1987

Fonte: Autores.

Foram realizadas as análises de variância individuais para cada ambiente e análise conjunta para todos os ambientes utilizando do software R (2015).

Verificada a interação genótipo x ambiente procedeu-se a análise de adaptabilidade e estabilidade considerando o caráter produtividade. A avaliação foi feita utilizando o método GGE-Biplot (Genotype and Genotype-Environment Interaction) pelo modelo (YAN et al. 2001), através do software R (2015) utilizando o pacote GGE Biplot GUI, de acordo com o modelo a seguir:

$$G + GE = [(g_i + ge_{ij})] = \sum_{s=1}^n \lambda_s \gamma_{is} \delta_{js} + \rho_{ij}$$

Em que:

$G + GE$: matriz dos efeitos dos genótipos somados aos efeitos das interações genótipos por ambientes;

λ_s : valor singular do s-ésimo componente principal;

γ_{is} e δ_{js} : autovetores do s-ésimo componente principal associado ao efeito genótipo i e ambiente j, respectivamente;

n: número dos componentes principais retidos do modelo;

ρ_{ij} : ruído.

Os gráficos biplots foram obtidos a partir dos escores para melhorar o entendimento da inter-relação entre genótipos e ambientes, conforme Yan e Tinker (2006), sendo estes construídos a partir da decomposição das médias, apresentando qual genótipo possui o melhor desempenho. Os biplots foram construídos a partir dos dois primeiros componentes principais do efeito dos tratamentos mais a interação (G x A) (PCA1 e PCA2).

3. Resultados e Discussão

Todas as linhagens do Programa de Melhoramento do Arroz de Terras Altas foram superiores quanto à produtividade média, nos nove ambientes, quando comparadas com as testemunhas. Este fato pode ser explicado considerando que todas as linhagens foram selecionadas durante condução do programa de melhoramento nestes mesmos locais, Lambari, Lavras e Patos de Minas. Apesar da testemunha 12 (Relâmpago) ter apresentado um bom resultado quanto à estabilidade, a produtividade abaixo da média faz com que não seja atrativa em termos de melhoramento, tendo em vista que o ideal é material produtivo e estável simultaneamente.

Para o lançamento de uma nova cultivar é necessária a avaliação dos genótipos selecionados em um conjunto de ambientes, que consiste no VCU (Experimento de Valor de Cultivo e Uso). Com o resultado do VCU é possível que o melhorista certifique-se da manutenção das características agrônômicas, pelas quais os materiais foram selecionados, nos diferentes locais de cultivo. Os resultados deste trabalho mostraram que houve forte interação genótipos por ambiente (Tabela 2) para o caráter produtividade e esta interação foi do tipo complexa, ou seja, houve alteração no ranking das cultivares quando implantadas em diferentes ambientes (Figura 1). Este é um indicativo de que a recomendação das cultivares deve ser realizada regionalmente/por safra. Regionalizar a indicação do cultivar é um modo de lidar com a interação genótipo por ambiente, pois assim é possível reduzir seus efeitos negativos na produção agrícola (Ramalho et al. 2012).

A análise de variância conjunta (Tabela 2) demonstrou que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) para os genótipos e para os ambientes. Para a interação G x A foi verificada significância ($p < 0,05$), indicando que os genótipos tiveram comportamento não coincidente nos diferentes ambientes.

Tabela 2. Análise de variância conjunta para o caráter produtividade em linhagens de arroz de terras altas.

FV	GL	SQ	QM
Genótipos (G)	19	61593974.63	3241788.139**
Ambiente (A)	8	825058613.35	103132326.669**
G x A	152	315629915.41	2076512.601**
Rep (A)	18	48994567.87	2721920.437**
Erro	342	163355818.47	477648.592
Contraste	1	41794828.958	41794828.958**
CV (%)	13.59		
Acurácia (%)	92,34		
Média Geral	5086,366		
Média dos tratamentos	5225.47 a		
Média das testemunhas	4529,96 b		
Média dos tratamentos – Média das testemunhas =	695.511		

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%. Fonte: Autores.

Através do efeito significativo do contraste entre linhagens e testemunhas e do teste de médias podemos constatar que as médias das linhagens do programa diferiram significativamente e foram superiores as das testemunhas para a produtividade de grãos. Isso mostra que o programa de melhoramento tem sido eficaz na seleção de linhagens superiores às já disponíveis no mercado.

A avaliação final das linhagens em um programa de melhoramento exige que os experimentos sejam bem conduzidos e que apresentem alta precisão experimental. Para inferir sobre a precisão, foram calculados o coeficiente de variação (Pimentel-Gomes, 2009) e a acurácia (Resende; Duarte, 2007). A baixa estimativa do coeficiente de variação (13.59%) associado a alta estimativa da acurácia (92.34%) mostraram que o experimento apresentou boa precisão.

A Tabela 3 mostra a distribuição das cultivares com base nas médias de produtividade de cada uma nos nove ambientes considerados no estudo. Podemos observar que houve alteração no ranking dos genótipos à medida que o ambiente muda. Esta interação G x A consiste, portanto, do tipo complexa.

Tabela 3. Médias referentes a produtividade de grãos para os 20 genótipos nos 9 ambientes em que foram conduzidos os experimentos.

Genótipos	Ambientes								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	7504,00	5009,33	5988,89	4615,08	5713,49	5725,00	3275,00	5211,11	5523,33
2	6659,00	4355,00	5020,63	4254,76	4739,68	6963,33	3012,50	4215,28	6370,27
3	5357,33	5291,00	3565,08	3734,92	5471,43	5855,67	3065,28	4281,94	5401,87
4	7805,67	3965,00	5963,49	4540,48	5496,03	6286,00	2429,17	4612,50	5950,63
5	5722,33	3080,33	5644,44	4197,62	4438,89	6458,00	3490,28	4177,08	5881,03
6	7857,33	3453,67	1696,83	4282,54	5548,41	6738,33	3016,67	3334,72	3627,87
7	8059,67	4727,67	5187,30	5146,03	5433,33	7463,33	2638,89	4467,36	5554,77
8	7825,00	4450,33	5787,30	4582,54	5203,97	7677,00	3115,28	4437,50	5783,77
9	6674,67	5252,00	3901,59	5511,90	4495,24	7749,33	3431,94	4533,33	5915,97
10	8793,00	5070,00	5971,43	4564,29	5504,76	6224,67	3368,06	3645,83	5294,27
11	4123,00	5373,33	2101,59	3442,06	4967,46	6416,33	2959,72	3577,78	6273,27
12	6682,33	5226,00	2814,29	4707,14	4273,02	7160,33	3062,50	3543,06	4794,33
13	8694,33	4034,33	6668,25	4965,08	5180,16	6985,67	3634,72	3402,78	5033,73
14	8515,00	4723,33	5858,73	4248,41	5331,75	7030,33	3390,28	3129,17	4697,13
15	7813,33	5512,00	4830,16	5413,49	6154,76	5819,33	3829,17	4619,44	4929,70
16	9194,33	3994,67	6425,40	4465,08	6296,03	6991,00	2759,72	3694,44	3575,77
17	8258,00	4333,33	6085,71	4025,40	5752,38	6669,00	3502,78	3695,83	4290,93
18	6869,33	4446,00	5307,94	4869,05	5490,48	6238,67	3012,50	3712,50	4474,57
19	8873,00	4554,33	6014,29	5123,81	5298,41	6016,33	3276,39	3954,86	4811,67
20	8634,67	3856,67	6487,30	4038,89	4880,95	6535,67	3416,67	3243,75	2836,30

Fonte: Autores.

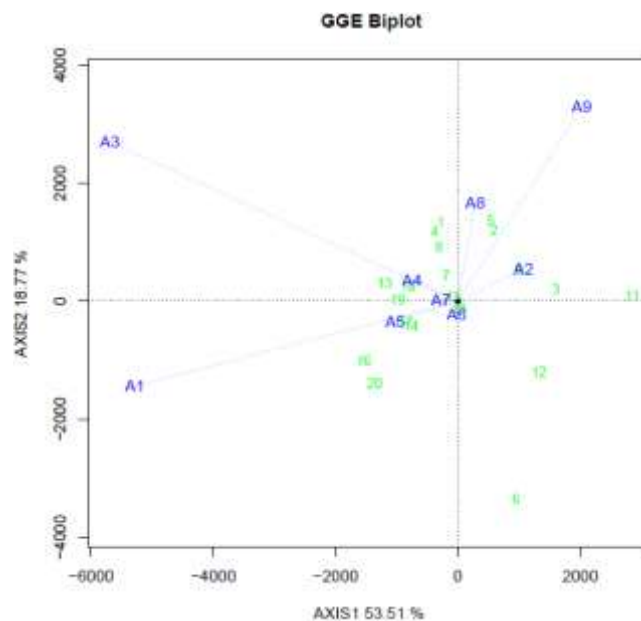
Detectada a interação genótipo por ambiente do tipo complexa, deve-se levar em consideração a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos para a seleção (Resende, 2007). Esta interação é decorrente das diferenças abióticas específicas de cada ambiente bem como de técnicas de manejo e tudo que possa causar qualquer oscilação no desempenho dos genótipos nos diferentes ambientes.

Na Figura 1 está representado o biplot entre os genótipos e os ambientes para o caráter produtividade (construído com os valores singulares focados no ambiente, escala=0 e centralizado em $G + G \times A$). A análise GGE Biplot apresentou boa eficiência, explicando 72,28% da soma de quadrados de $G + G \times A$. Este método considera o efeito do ambiente como irrelevante na seleção de cultivares, pois, a capacidade adaptativa dos genótipos é mais

importante neste caso quando comparada as condições ambientais (Camargo-Buitrago et al., 2011).

As linhas traçadas entre a origem e os ambientes são utilizadas para especificar a inter-relação entre os ambientes e os genótipos. A performance de um genótipo em um determinado ambiente é representada pelo ângulo formado entre o genótipo e o ambiente. O desempenho de um genótipo em um determinado ambiente é melhor que a média se o ângulo formado entre ele e o ambiente for menor que 90° . Se este ângulo for maior que 90° o desempenho do genótipo neste ambiente é menor que a média. Caso o ângulo formado seja igual ou próximo a 90° , consideramos que o desempenho do genótipo seja igual a média (Yan & Tinker, 2006; Yan, 2011). Podemos constatar que os genótipos formam ângulos pequenos ($<90^\circ$) com todos os ambientes, o que demonstra que estes tratamentos estão acima da média em todos os ambientes (Figura 1).

Figura 1. GGE Biplot para produtividade, demonstrando a relação entre os genótipos e os ambientes.



Fonte: Autores.

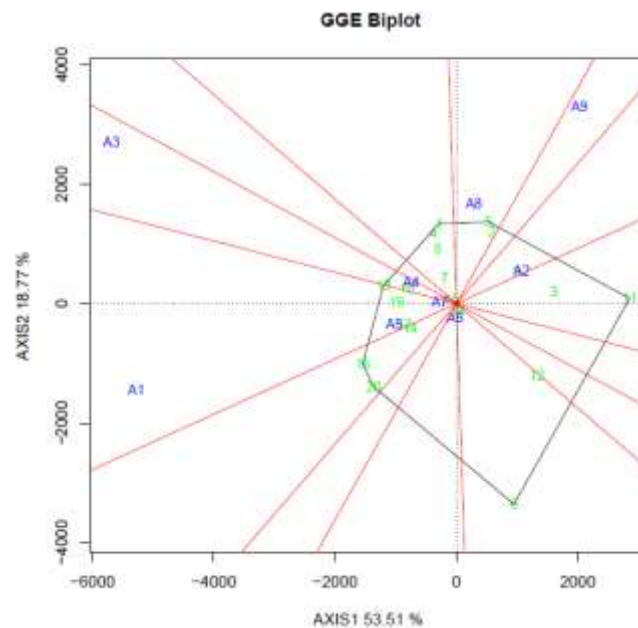
Na análise multi-ambiental é importante realizar o teste de ambientes com o intuito de classificá-los quanto à capacidade de discriminar os tratamentos. Um bom ambiente para realizar a seleção é aquele que melhor discrimina os genótipos (Yan, Tynker, 2006). Os ambientes foram divididos em seis grupos ou mega-ambientes quanto a produtividade das linhagens (Figura 2). Os ambientes que estão contidos dentro do mesmo mega-ambiente são

considerados semelhantes quanto à resposta dos genótipos. Neste caso é recomendada a escolha de apenas um dos ambientes do mega-ambiente para representar os demais do grupo, já que a resposta de todos eles foram semelhantes, o que possibilita inclusive a economia de recursos.

Na Figura 2 é possível visualizar o agrupamento ambientes com base nos melhores genótipos formando os mega-ambientes. O biplot foi construído com $SVP = 2$, escala = 0 e centralizado no $G + G \times A$. Os vértices do polígono são formados pelos genótipos 1, 5, 6, 11, 13, 16 e 20. Os ambientes foram divididos em seis grupos, de acordo com as linhas vermelhas que saíram da origem do biplot. Essa divisão é realizada de acordo com a variação do grupo de genótipos em um determinado grupo de ambientes. Os ambientes foram agrupados da seguinte forma (I) A1, A5 e A7 (Lavras 2013/2014, Muquem2014/2015 e Lambari 2015/2016), (II) A2 (Patos de Minas 2013/2014) (III) A3 e A4 (Lambari 2014/2015 e Lavras 2014/2015) (IV) A6 (Patos de Minas 2014/2015) (V) A8 (Lavras 2015/2016) (VI) A9 (Patos de Minas 2015/2016).

O genótipo que corresponde ao vértice do grupo de ambientes representa o melhor genótipo para aquele mega-ambiente. A linhagem 5 é o vértice do setor que engloba o ambiente A8, dessa forma esta foi a melhor linhagem neste ambiente. Já para os demais agrupamentos, não foram observados vértices ou eles não foram bem definidos dentro dos grupamentos. Isso evidencia que nenhum material do conjunto mostrou desempenho significativamente elevado em relação aos demais tratamentos nos mega-ambientes observados. Em alguns setores não foram constatados nenhum dos ambientes. Nestes encontram-se os genótipos 1, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 16, 20. Este resultado mostra que estes tratamentos obtiveram as piores médias em um ou mais ambientes. Dentre estes genótipos, com as piores médias, estão todas as quatro testemunhas utilizadas nos ensaios (Esmeralda, Caçula, Primavera e Relâmpago, que correspondem respectivamente aos materiais 3, 6, 11 e 12), realçando a superioridade dos genótipos do Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas em relação às mesmas.

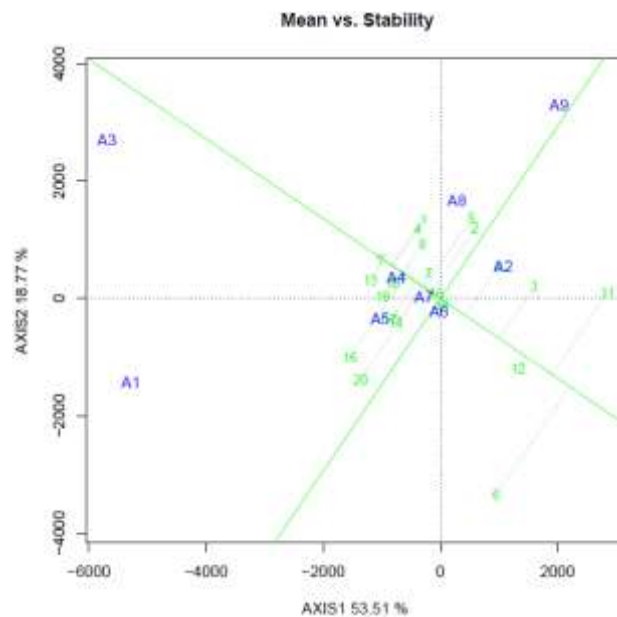
Figura 2. GGE biplot “Which-won-where” para os dados de produtividade na cultura do arroz de terras altas. Mostra quais genótipos obtiveram melhor desempenho em que ambientes.



Fonte: Autores.

A visualização do GGE Biplot “Média vs Estabilidade” (Figura 3) é uma ferramenta eficaz para a avaliação de genótipos considerando tanto a produtividade como a estabilidade dos genótipos nos ambientes sob estudo. Neste gráfico é possível identificar os genótipos que possuem média alta associada a alta estabilidade, associação essa muito desejada pelos melhoristas (Yan, Tynker, 2006, Yan, 2011). O gráfico “Média vs Estabilidade” foi centralizado em $G + G \times A$ (centralização = 2), e com $SVP = 1$.

Figura 3. GGE biplot “Média vs. Estabilidade” associando a produtividade média à estabilidade em linhagens de arroz.



Fonte: Autores.

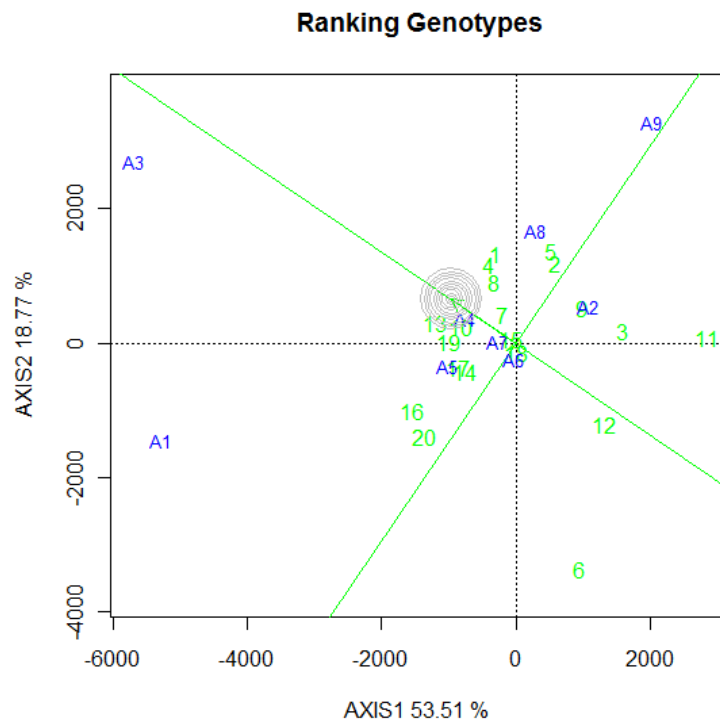
A linha que passa pela origem do gráfico é o eixo do ambiente médio. A seta indica o sentido de maiores produtividades. A linha perpendicular ao eixo do ambiente médio está relacionada à estabilidade do genótipo. Quanto menor o afastamento do genótipo da linha do eixo médio, maior sua estabilidade.

Os genótipos podem ser classificados de acordo com sua produtividade seguindo a ordem estabelecida pelo eixo do ambiente médio, sendo mais produtiva a linhagem 13 e a menos produtiva a linhagem 6. Os genótipos 15 e 18 foram os mais estáveis devido à maior proximidade em relação ao eixo do ambiente médio. Isso não significa que estes genótipos tiveram bons rendimentos, mas sim, que o desempenho relativo de ambos foi consistente. O genótipo 6 foi o menos estável, sendo a linhagem 6 considerada o pior genótipo para recomendação. Destaque foi dado para os genótipos 10 e 13, que aliado a alta estabilidade obtiveram uma produtividade bem acima da média. Os genótipos que mais contribuíram com a interação foram o 6 e 20, visto que ambos apresentaram os menores indicativos de estabilidade.

O conceito de ideótipo é utilizado para descrever uma planta que apresente características ótimas em um determinado ambiente. No presente caso a melhor linhagem é a que apresenta alta produtividade e estabilidade. A Figura 4 mostra o desempenho para

produtividade neste conjunto de ambientes, baseando-se na proximidade dos genótipos do centro dos círculos concêntricos. Desta forma os genótipos mais próximos do centro do círculo são os mais próximos do ideal. O genótipo considerado melhor para estes ambientes foram 13 e 10, seguido pelo genótipo 19.

Figura 4. GGE biplot com eixo do ambiente-média para ranquear os genótipos com base no ideótipo (centro dos círculos concêntricos) considerando o caráter produtividade.



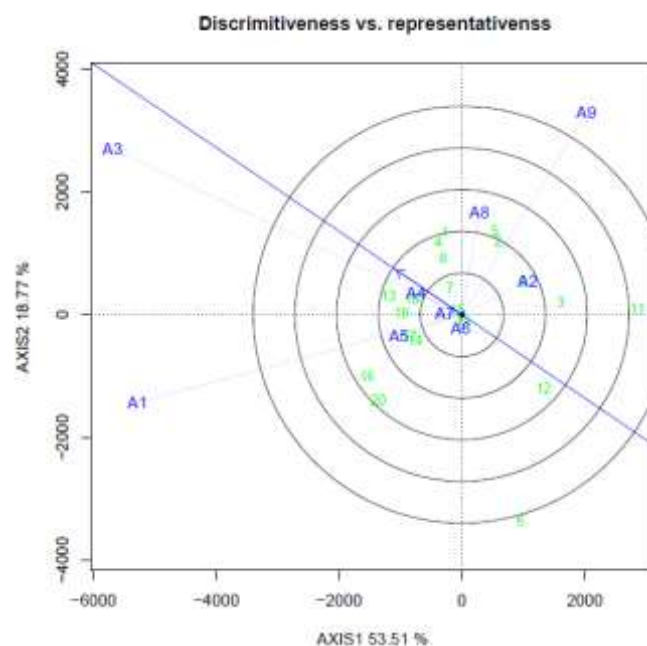
Fonte: Autores.

Ambientes de teste ideais são aqueles que possuem maior poder de discriminar os genótipos, e melhor representar os demais ambientes. Neste caso, a avaliação dos locais tem como objetivo identificar os melhores ambientes que podem ser utilizados para selecionar genótipos superiores de forma eficaz para um mega-ambiente. A seleção de um ambiente de teste deve apresentar maior discriminação dos genótipos e representatividade. Na Figura 5 está representado o biplot intitulado de “Discriminativos vs representativos” que foi construído com $SVP = 2$, centralizado em $G + G \times A$ e escala = 0. O comprimento da linha que sai da origem até o ponto onde está localizado o ambiente representa o desvio padrão das médias dos genótipos, e é utilizado para medir a discriminação do ambiente. Logo, ambientes de teste com vetores mais longos são mais discriminantes em relação aos genótipos, o que significa que os genótipos não tendem a comportar-se de forma semelhante e as diferenças

genotípicas entre os materiais podem ser reveladas (YAN, 2011). Desta forma o ambiente que mais discriminou os genótipos para produtividade foi o A3 (Lambari safra 2014/2015), sendo o mais indicado para testar os genótipos. Já o ambiente mais representativo é aquele que possui menor ângulo com o eixo do ambiente médio, que no presente caso foram A7 e A4 (Lambari safra 2015/2016 e Lavras 2014/2015). Estes são ambientes de teste ideais para a seleção de genótipos adaptados uma vez que são os que melhor unem estas duas características, discriminante e representativo. Os ambientes de teste que são discriminantes, mas não representativos (A3) são úteis para a seleção de genótipos adaptados especificamente em mega-ambientes ou para a seleção de genótipos instáveis se o ambiente teste é um único mega-ambiente (Hongyu et al., 2015).

Como a maioria dos ambientes foi distribuída individualmente nos grupos, podemos constatar que à maioria dos ambientes em que os genótipos são testados diferem quanto à resposta de produtividade das linhagens. Destaca-se o ambiente A3 (Lambari safra 2014/2015) pela melhor capacidade de discriminar os genótipos quanto a produtividade e os ambientes A4 e A7 (Lambari safra 2015/2016 e Lavras 2014/2015) por serem os mais discriminantes e representativos (Figura 5).

Figura 5. GGE biplot “Discriminativos vs representativos”, visando identificar ambientes teste com melhor capacidade de discriminar e representar os demais ambientes para o caráter produtividade.



Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

As linhagens do Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas foram em quase sua totalidade mais adaptadas e estáveis que as cultivares comerciais.

Os melhores genótipos foram 10 e 13 foram superiores à média geral para produtividade e apresentaram alta estabilidade, sendo candidatos futuros para lançamento como novas cultivares.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Referências

Allard, R. W., Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype x environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, Madison, 4(5), 503-8.

Andrade, M. H. M. L. (2016). *Adaptabilidade e estabilidade para caracteres agrônômicos em clones de batata resistentes ao Potato Virus Y (PVY)*. Lavras: UFLA, 2016. 77 p.: il. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2016.

Anputhas, M., Samita, S., Abeyasiriwardena, D. S. (2011). Stability and adaptability analysis of rice cultivars using environment-centered yield in two-way ANOVA model. *Communications in Biometry and Crop Science*, 6(2), 80-6.

Balestre, M. (2009). Yield stability and adaptability of maize hybrids based on GGE biplot analysis characteristics. *Crop Breeding & Applied Biotechnology*, 9(3).

Bernardo, R. (2010). *Breeding for Quantitative Traits in Plants*. 2.ed. Woodbury: Stemma

Press, 390 p.

Camargo-Buitrago, I.; Intire, E. M.; Córdon-Mendoza, R. (2011). Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de progênes superiores de arroz em Panamá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Goiânia, 46(9), 1601-69.

Companhia Nacional de Abastecimento – Conab. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – v.4, n.7 (2016/17) Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_b.pdf>..

Comstock, R. E. & Moll, R. H. (1963). *Genotype-environment interactions*. Statistical genetics and plant breeding, p. 164-196.

Cruz, C. D., Torres, R A de, Vencovsky, R. (1989). An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12(30), 567-80.

Cruz, C. D., Regazzi, A. J. & Carneiro, P. C. S. (2004). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, MG: UFV, v. 1, 480 p.

Ferreira, D. F. (2006). Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. *Cerne*, 12(40), p. 373-88.

Food and Agriculture Organization - FAO. (2016). *Rice market monitor*. v. 65, April, p.821-822.

Hongyu, K. (2015). Comparação entre os modelos ammi e gge biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 33, n. 2, p. 139-155.

Pimentel-Gomes, F. (2009). *Curso de estatística experimental*. 15º edição, Ed. FEALQ, 451 p.

R Core Team. (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ramalho, M. A. P., Abreu, A. F. B., Santos, J. B., Nunes, J. A. R. (2012). *Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas*. 1. ed. Lavras: Ed. UFLA, 522p, 2012.

Resende, M. D. V. (2017). *Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético*. Colombo: Embrapa Florestas, 362 p.

Resende, M. D. V., Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(3), 182-94.

Storck, L., Filho, A. C., Guadagnin, J. P. (2014). Joint analysis of corn cultivar trials by classes of genotype x environment interaction. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), 163-172.

Vencovsky, R., Barriga, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. 1992.

Yan, W. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597-605.

Yan, W. (2001). Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science*, 41(30), 656-63.

Yan, W.; Tinker A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645.

Yan, W. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643-53.

Yan, W. (2011). GGE Biplot vs. AMMI graphs for genotype by environment data analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 65(2), 181-93.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Natália Botega Alves – 30%

Antônio Rosário Neto – 15%

Douglas Goulart Castro – 15%

Camila Soares Cardoso da Silva – 20%

Bruno Manoel Rezende de Melo – 10%

Flávia Barbosa Silva Botelho – 10%