

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E  
ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-COMUM PARA  
CULTIVO NA MESORREGIÃO DO SUDOESTE SUL-MATO-  
GROSSENSE**

**VANDER ANDRÉ BERRES**

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL

2018

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-COMUM PARA CULTIVO NA MESORREGIÃO DO SUDOESTE SUL-MATOGROSSENSE**

**VANDER ANDRÉ BERRES**

ORIENTADOR Prof. Dr. MANOEL CARLOS GONÇALVES

CO-ORIENTADORA Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> LILIAM SILVIA CANDIDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2018

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B533c Berres, Vander Andre

Comparação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-comum para cultivo na mesorregião do sudoeste sul-mato-grossense / Vander Andre Berres -- Dourados: UFGD, 2018.

54f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Manoel Carlos Gonçalves

Co-orientadora: Liliam Silvia Candido

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados

Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Interação genótipos x ambientes. 3. recomendação de genótipos. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E  
ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-COMUM PARA CULTIVO NA  
MESORREGIÃO DO SUDOESTE SUL-MATO-GROSSENSE**

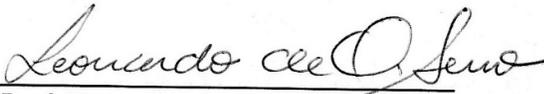
por

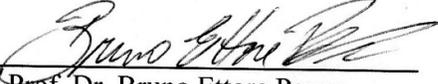
**Vander André Berres**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 02 / 03 / 2018

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves  
UFGD  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leonardo de Oliveira Seno  
UFGD

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan  
UNESP

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, pela força, coragem e perseverança concedidas a mim.

Ao meu Orientador, Dr. Manoel Carlos Gonçalves, pelos ensinamentos, apoio e conselhos acadêmicos durante estes dois anos.

À minha Co-Orientadora, Dr<sup>a</sup> Liliam Silvia Candido, pela amizade, companheirismo, ensinamentos e críticas construtivas durante todos estes anos de trabalho.

Ao Grupo de Melhoramento e Biotecnologia Vegetal (GMBV) pelo conhecimento adquirido e pelos companheiros de trabalho que ganhei.

À Universidade Federal da Grande Dourados pela oportunidade concedida.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 A cultura do feijoeiro: Aspectos gerais e importância econômica.....	4
3.2 Interação Genótipo x Ambiente (G x E).....	5
3.3 Adaptabilidade e Estabilidade.....	7
3.4 Métodos que avaliam adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	10
3.4.1 Annicchiarico (1992).....	10
3.4.2 Eberhart e Russell (1966) .....	11
3.4.3 Cruz, Torres e Vencovsky (1989).....	13
3.4.4 Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) .....	13
3.4.5 AMMI-Biplot.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
4.1 Caracterização dos ambientes .....	17
4.2 Caracterização dos genótipos e delineamento experimental .....	20
4.3 Análises Estatísticas .....	22
4.3.1 Análises de variância .....	22
4.3.2 Método proposto por Annicchiarico (1992).....	23
4.3.3 Método proposto por Eberhart e Russell (1966) .....	24

4.3.4	Método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) .....	25
4.3.5	Método proposto por Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) ....	26
4.3.6	Método AMMI-Biplot .....	27
4.3.7	Comparação entre metodologias de adaptabilidade e estabilidade .....	29
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1	Análises de variância.....	32
5.2	Método de Annicchiarico (1992) .....	33
5.3	Método de Eberhart e Russell (1966).....	35
5.4	Método de Cruz et al. (1989).....	37
5.5	Método de Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998).....	39
5.6	Método AMMI-Biplot.....	41
5.7	Comparação entre metodologias de adaptabilidade e estabilidade .....	43
6.	CONCLUSÕES .....	47
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
8.	ANEXO.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluvial (PP) (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no primeiro ambiente (DDOS2015-2) (INMET, 2017). .....	18
Figura 2. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no segundo ambiente (DDOS2016-3) (INMET, 2017). .....	19
Figura 3. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no terceiro ambiente (DDOS2017-2) (INMET, 2017). .....	19
Figura 4. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no quarto ambiente (PP2017-2) (INMET, 2017). .....	20
Figura 5. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no quinto ambiente (RB2017-2) (INMET, 2017). .....	20
Figura 6. Biplot da análise AMMI1 para produtividade de grãos, em kg ha <sup>-1</sup> , de 20 genótipos (G) e cinco ambientes (A) no estado de Mato Grosso do Sul. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos ambientes experimentais.....	18
Tabela 2. Relação dos genótipos de feijão-comum utilizados no experimento.....	21
Tabela 3. Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	32
Tabela 4. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	33
Tabela 5. Parâmetros de estabilidade segundo metodologia de Annicchiarico (1992) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	34
Tabela 6. Médias gerais, índices ambientais e classes ambientais, segundo metodologia de Annicchiarico (1992) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	35
Tabela 7. Resumo da análise de variância conjunta geral segundo metodologia de Eberhart e Russell, referente à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	35
Tabela 8. Médias gerais ( $\beta_0$ ), estimativas dos coeficientes de regressão ( $\beta_1$ ), desvios de regressão ( $S^2d$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	36
Tabela 9. Médias gerais e índices ambientais, segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	37
Tabela 10. Média geral ( $\beta_0$ ), média em ambientes desfavoráveis (MD), média em ambientes favoráveis (MF), parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_1i$ ), responsividade ( $\beta_1+\beta_2$ ), desvio de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), estimados por meio do método de Cruz et al. (1989), para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	39
Tabela 11. Estimativas dos parâmetros $P_i$ gerais, favoráveis e desfavoráveis referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	40
Tabela 12. Resultados dos testes de Gollob da análise AMMI da variável produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	41
Tabela 13. Classificações genotípicas segundo as médias de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul, pelas	

metodologias de Annicchiarico (1992), Eberhart e Russell (1966), Cruz et al e método AMMI utilizadas para caracterização da adaptabilidade e estabilidade ..... 44

Tabela 14. Estimativas do coeficiente de correlação de Spearman para cada par de métodos e produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul ..... 45

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1 - Análise de solo nos municípios aonde foram instalados os experimentos. ....	54
---	----

BERRES, V.A. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-COMUM PARA CULTIVO NA MESORREGIÃO DO SUDOESTE SUL-MATO-GROSSENSE, 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

### RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-comum, em cinco ambientes, no estado de Mato Grosso do Sul, por meio dos métodos propostos por Annicchiarico (1992), Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e *Additive Main Effect and Multiplicative Interaction* (AMMI-Biplot). Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2015, 2016 e 2017, nos municípios de Dourados, Rio Brillhante e Ponta Porã e em duas épocas distintas, época da seca e época de inverno. Os ambientes consistiram da combinação dos fatores local, ano e época. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e 20 tratamentos (linhagens de feijão-comum). Por meio da análise de variância conjunta foi constatado a significância da interação genótipos x ambientes para a produtividade de grãos. As metodologias utilizadas foram eficientes em identificar linhagens com alta adaptabilidade, estabilidade e média de produtividade de grãos. A metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) destaca-se pela facilidade de utilização, uma vez que engloba em um único parâmetro, os fatores de adaptabilidade, estabilidade e produtividade. Para este trabalho, essa metodologia pode ser utilizada em conjunto com as metodologias de Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989) ou AMMI-Biplot, uma vez que não obtiveram correlação significativa, o ordenamento dos genótipos mais estáveis e adaptáveis foram semelhantes. A metodologia de Annicchiarico (1992) não deve ser utilizada em conjunto com a de Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998) pelo fato de estarem altamente correlacionadas e apresentarem redundância nos resultados. Os genótipos que reuniram bons parâmetros de adaptabilidade, estabilidade produtiva e alta produtividade de grãos, e que poderão ser indicados para cultivo no estado de Mato Grosso do Sul foram os genótipos 3, 9 e 12. O genótipo 9, além de ter apresentado a maior produtividade de grãos, mostrou-se também altamente adaptável e estável pelas cinco metodologias utilizadas.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*.; Interação genótipos x ambientes; recomendação de genótipos;

BERRES, V.A. COMPARISON BETWEEN ADAPTABILITY AND STABILITY METHODS OF COMMON BEAN GENOTYPES FOR CULTIVATION IN THE SOUTHWEST REGION OF MATO GROSSO DO SUL, 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

#### ABSTRACT

This work was carried out with the objective of evaluating the adaptability and phenotypic stability of common bean genotypes in five environments in the state of Mato Grosso do Sul, using the methods proposed by Annicchiarico (1992), Eberhart and Russell (1966), Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and *Additive Main Effect and Multiplicative Interaction* (AMMI-Biplot) experiments were conducted in the agricultural years of 2015, 2016 and municipalities of Dourados, Rio Brillhante and Ponta Porã and in two distinct seasons, drought season and winter season. The environments consisted of the combination of factors local, year and season. The experimental design was a randomized block with three replicates and 20 treatments (common bean lines). Through the analysis of joint variance was verified the significance of interaction genotypes x environments for grain yield. The methodologies used were efficient to identify strains with high adaptability, stability and average grain yield. The methodology of Lin and Binns modified by Carneiro (1998) stands out for the ease of use, since it includes in a single parameter, the factors of adaptability, stability and productivity. For this work, this methodology can be used in conjunction with the methodologies of Eberhart and Russell (1966), Cruz et al. (1989) or AMMI-Biplot, since they obtained no significant correlation, the ordering of the most stable and adaptable genotypes were similar. The methodology of Annicchiarico (1992) should not be used in conjunction with that of Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998) because they are highly correlated and redundant in the results. The genotypes that had good parameters of adaptability, productive stability and high grain yield, and that could be indicated for cultivation in the state of Mato Grosso do Sul were genotypes 3, 9 and 12. Genotype 9, besides having presented the highest grain yield, was also highly adaptable and stable by the five methodologies used.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*.; Genotype x environment interaction; genotype recommendation;

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris L.*) se destaca pela sua importância econômica e social. A importância social reside no fato do feijão ser constituinte básico da alimentação do brasileiro, representando, para a camada de mais baixa renda da população, a principal fonte de proteínas (FACHINI et al. 2006).

No ano agrícola 2016/2017 a área colhida foi de 1,67 milhões hectares com produção de 2,62 milhões de toneladas de grãos de feijão e produtividade média de grãos de 1568 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017). No estado de Mato Grosso do Sul, a cultura ocupou uma área de 25,8 mil hectares, com produção total de 44 mil toneladas e uma produtividade média de 1703 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017).

No Brasil, a produtividade varia muito de estado para estado, de 323 kg ha<sup>-1</sup> na Paraíba a 2400 kg ha<sup>-1</sup> em Goiás (CONAB, 2017). Essa divergência na produtividade pode ser explicada pelos diversos sistemas de cultivo, dificuldades de mecanização agrícola, suscetibilidade às pragas e fitopatógenos, baixo índice de utilização de insumos, suscetibilidade a estresse ambiental, diferentes épocas e utilização de genótipos mal adaptados para determinada região (RAMALHO, 1997).

Sabe-se que os diferentes genótipos geralmente respondem de maneira diferenciada às alterações ambientais, sejam elas alterações feitas pelo produtor, ou seja, previsíveis, como a utilização de diferentes áreas de cultivo, utilização de diferentes fórmulas e doses de fertilizantes, defensivos e métodos de irrigação, ou sejam elas inerentes à natureza, as imprevisíveis, como a ocorrência ou não de chuva, diferentes épocas agrícolas ou temperatura. Essa diferença na resposta dos genótipos aos ambientes é chamada de interação genótipo x ambiente. A interação dos genótipos com os ambientes, quando presente, dificulta a recomendação de genótipos para diversas áreas de cultivo.

Duas características que auxiliam a recomendação de genótipos para diferentes ambientes é a adaptabilidade e a estabilidade. A adaptabilidade refere-se a capacidade do genótipo responder positivamente às melhorias ambientais, e a estabilidade é a habilidade de um genótipo de produzir constantemente, independente do ambiente em que é cultivado (MARIOTTI et al. 1976). Deste modo, é de grande importância a identificação de genótipos que apresentem alta estabilidade fenotípica e também uma adaptabilidade à melhoria ambiental, além de alta produtividade de grãos.

Diferentes metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade podem ser utilizadas na avaliação de um grupo de genótipos numa série de ambientes (CRUZ et al., 2012). Entre os principais métodos estão os que se baseiam em análise de variância, regressão linear, regressão bissegmentada, análises multivariadas e estatísticas não paramétricas. (BARROS et al., 2008; BASTOS et al., 2007). A existência de relações entre os métodos também deve ser considerada, principalmente no que se refere ao ordenamento dos genótipos quanto à estabilidade e adaptabilidade.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Estimar a adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-comum em cinco ambientes na mesorregião sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul.

### **2.2 Objetivos específicos**

Comparar diversas metodologias de adaptabilidade e estabilidade fenotípica;

Identificar genótipos produtivos, com alta adaptabilidade e estabilidade;

Indicar genótipos para cultivo nos ambientes avaliados.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A cultura do feijoeiro: Aspectos gerais e importância econômica

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie pertencente à família Fabaceae, ordem Rosales e gênero *Phaseolus*, originária do continente americano. Admite-se dois *pool* gênicos, ou seja, dois locais de domesticação para esta cultura, sendo um Andino e um Mesoamericano (GEPTS et al. 1986). Seu ciclo varia de 61 a 110 dias, o que o torna segundo Aidar (2007) uma cultura apropriada para compor desde sistemas agrícolas intensivos irrigados, altamente tecnificados, até aqueles com baixo uso tecnológico, principalmente de subsistência.

*Phaseolus vulgaris* L. é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies englobados como feijão nas estatísticas da *Food and Agriculture Organization* (FAO), estas envolvem cerca de 107 países produtores em todo o mundo (YOKOYAMA, 2007).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum, com uma área plantada de 1,67 milhões de hectares, uma produção média anual de 2,62 milhões de toneladas e produtividade aproximada de 1,5 toneladas por hectare. A produção de feijão no Brasil se dá em três épocas distintas, a primeira é chamada “época das águas”, com semeadura entre outubro e novembro e colheita entre janeiro e fevereiro, a segunda época denominada “época da seca”, com semeadura entre fevereiro e março e colheita entre junho e julho, e a terceira “época de inverno”, de semeadura entre junho e julho e colheita entre setembro e outubro.

No ano agrícola de 2017, a semeadura da primeira época ocupou uma área de 653 mil hectares, com produção de 1,14 milhões de toneladas e produtividade média de 1745 kg ha<sup>-1</sup>. A segunda época teve uma área plantada de 565 mil hectares, produção de 756 mil toneladas e produtividade média de 1338 kg ha<sup>-1</sup>. Já o cultivo na terceira época ocupou uma área de 552 mil hectares, com uma produção de 758 mil toneladas e produtividade média de 1373 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017). A segunda e terceira épocas são as que mais necessitam de irrigação como suplementação das necessidades hídricas da cultura (OLIVEIRA et al., 2005).

No estado de Mato Grosso do Sul, o cultivo do feijão acontece principalmente na segunda época, tendo sido obtido na safra 2016/2017 uma produção de 42,5 mil toneladas de grãos, valor muito maior que o cultivo da primeira época (1,4

mil toneladas) e da terceira época, que não teve cultivo confirmado em Mato Grosso do Sul (CONAB, 2017). Essa diferença de produção no estado provavelmente está relacionado aos dois principais fatores limitantes para a cultura, que são a temperatura e a precipitação pluviométrica (DIDONET e DA SILVA, 2004). Tanto as temperaturas altas na primeira época, quanto o baixo índice pluviométrico na terceira época dificultam uma maior produção nestas duas épocas. A baixa pluviosidade pode ser contornada com a adoção de um sistema de irrigação, porém esta alternativa encarece o sistema de produção, como um todo. Já as altas temperaturas só podem ser evitadas através de cultivo em outro período.

A cultura do feijoeiro possui grande importância socioeconômica para o Mato Grosso do Sul, uma vez que se trata de cultivo sob o predomínio da agricultura familiar. Nesse contexto, parte da produção é utilizada para o consumo familiar e o restante destinado à comercialização, representando significativa fonte de renda às famílias (PADOVAN et al., 2007). A rentabilidade da cultura pode variar de acordo com os anos, porém estudos comparando a produção de feijão com a do milho, a cultura mais comum na safrinha (mesmo período da época da seca e de inverno), indicam que o cultivo do feijão pode ser até 2,5 vezes mais rentável que o cultivo do milho safrinha (JÚNIOR, 2009).

O feijão é um dos alimentos mais presentes na dieta dos brasileiros. Devido à sua importância na alimentação humana, tem merecido grande destaque no cenário nacional e internacional por suprir as necessidades dos consumidores como fonte básica e barata de proteínas e calorias. É um produto de alta expressão econômica e social, visto que, juntamente com o arroz, é a base da alimentação nacional, fornecendo ricas quantidades de proteína vegetal e carboidratos, sendo a principal fonte proteica na alimentação da população menos favorecida. É ainda complementar em termos de aminoácidos essenciais, sendo considerado por especialistas, de excelente valor nutritivo. Além da importância do feijão na alimentação da população brasileira e mundial, a cadeia de produção, beneficiamento e comercialização, geram ocupação e renda, principalmente à classe menos privilegiada (FACHINI et al., 2006).

### **3.2 Interação Genótipo x Ambiente (G x E)**

A interação dos genótipos com ambientes (Interação G x E) pode ser definida como o efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos, ou seja, é a

resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental. A maioria dos caracteres de importância econômica em um programa de melhoramento genético constitui-se de caracteres quantitativos, de herança poligênica, ou seja, são caracteres de variação contínua e altamente influenciados pelo ambiente (CHAVES, 2001). Shelbourne (1972) define a interação genótipo x ambiente como a variação entre genótipos em sua resposta a diferentes condições ambientais.

Em um determinado ambiente, ou seja, combinações de local, ano, épocas ou manejo, a manifestação fenotípica é resultado da ação do genótipo (G) sob influência do ambiente (E), ( $F = G + E$ ). Quando se tem uma série de ambientes e genótipos, são detectados efeitos genéticos, ambientais e o efeito adicional proporcionado pela interação dos genótipos com os ambientes (MORAIS, 2005).

A interação G x E pode ser classificada em interação simples ou complexa. A interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade genética entre genótipos dentro dos ambientes, ou seja, há diferença no desempenho dos genótipos nos variados ambientes porém não há alteração na ordem dos genótipos mais produtivos, e a interação complexa reflete a ausência de correlação linear entre genótipos de um ambiente para outro. Assim, nesse caso, haverá troca de posicionamento de genótipos, tornando mais difícil a seleção e, ou, recomendação desses genótipos de forma ampla (CRUZ et al., 2012).

A maior parte de interação simples facilita o trabalho dos melhoristas, pois a classificação de desempenho dos genótipos nos diversos ambientes não é alterada, permitindo a definição de estratégias de seleção e facilitando a recomendação para uma ampla região de cultivo. Já a interação complexa altera o ordenamento dos genótipos nos ambientes, dificultando a seleção e recomendação. Esses fatores interferem na classificação relativa dos genótipos, influenciando sua avaliação e fazendo com que as interpretações das estimativas fenotípicas não possam ser estendidas a outras regiões. Assim, nesse caso, deverão ser realizadas recomendações regionalizadas (RAMALHO et al., 1993).

A existência da interação dos genótipos com os ambientes, de origem complexa, representa uma das principais dificuldades encontradas pelo melhorista durante a seleção ou recomendação de genótipos em programas de melhoramento. Nas etapas preliminares desse processo (com avaliações normalmente em uma só localidade), a interação GxE pode inflacionar as estimativas da variância genética, resultando em superestimativas dos ganhos genéticos esperados com a seleção. Nas

fases finais, os ensaios são conduzidos em vários ambientes (locais, anos e/ou épocas), o que possibilita o isolamento daquele componente da variabilidade (interação G x E), muito embora, neste momento, a intensidade de seleção seja baixa, o que já minimizaria seus efeitos sobre previsões de ganho genético. Por outro lado, a presença dessa interação, na maioria das vezes, faz com que os melhores genótipos em um determinado local não o sejam em outros, dificultando a recomendação dos genótipos para toda a população de ambientes amostrada pelos testes (DUARTE e VENCOVSKY, 1999). Diversos trabalhos foram realizados a fim de se estudar a complexidade da interação de características de feijão-comum e suas implicações para programas de melhoramento (MELO et al. 2007; OLIVEIRA, 2012; PEREIRA et al. 2010).

### **3.3 Adaptabilidade e Estabilidade**

Estudos envolvendo a interação G x E são de grande importância para o melhoramento, porém, não proporcionam informações detalhadas a respeito do comportamento de cada genótipo perante variações ambientais. Para este objetivo, é possível realizar a estimação de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade, pelos quais se torna possível a identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (CRUZ et al., 2012).

Finlay e Wilkinson (1963) definiram estabilidade média de uma forma dinâmica para caracterizar um genótipo. Por essa definição, a produção varia de acordo com a capacidade dos ambientes em proporcionar altas ou baixas produtividades. A estabilidade, segundo Allard e Bradshaw (1964) é vista de um modo geral, sob os aspectos da homeostase populacional e individual. O primeiro compreende o caso em que diferentes genótipos são adaptados a diferentes faixas de variação ambiental. O segundo é visto como uma consequência de uma reação estabilizadora dos indivíduos "*per se*", de modo que cada membro da população adapta-se a diversos ambientes. Desta maneira, populações de base genética estreita são mais dependentes da homeostase individual para conservar seus caracteres, porém, em populações de ampla base genética, os tipos de homeostase estão presentes. Desse modo, um genótipo estável para os autores é aquele que apresenta potencial para ajustar o seu estado genotípico e fenotípico às flutuações ambientais.

Becker (1981) distinguiu dois tipos de estabilidade: a biológica ou homeostática e a agrônômica. A estabilidade biológica seria aquela em que o genótipo mantém uma produtividade constante entre ambientes. Já na estabilidade no sentido agrônômico, o genótipo é considerado estável se produzir bem em relação ao potencial produtivo dos ambientes testados. Segundo Fox et al. (1997), a ideia de estabilidade agrônômica está relacionada com ordenamento e genótipo estável é aquele consistentemente bem ordenado.

Lin et al. (1986) sugeriram três conceitos sobre estabilidade: a) Tipo 1, em que o genótipo é considerado estável se sua variância entre ambientes for pequena, relacionado a respostas relativamente pobres em ambientes de baixas produtividades, e, baixas produtividades em ambientes altamente produtivos; b) Tipo 2, em que o genótipo estável é aquele em que sua resposta aos ambientes é paralela ao desempenho médio de todos os genótipos avaliados nos experimentos; e c) Tipo 3, em que, o genótipo estável apresenta o quadrado médio do desvio de regressão baixo, próximo a zero, ou seja, alta confiabilidade na resposta estimada. Os autores também identificaram quatro grupos de parâmetros estatísticos necessários para a avaliação da estabilidade: Grupo A - estimativas a partir dos efeitos genotípicos; Grupo B - estimativas baseadas na variância da interação genótipo com ambiente (GE); Grupo C – estimativas baseadas nos coeficientes de regressão; e Grupo D – estimativas baseadas nos desvios de regressão.

Becker e Léon (1988) dividiram estabilidade em estática e dinâmica. O tipo estática está associado àqueles genótipos que apresentam desempenho constante com as variações ambientais, sendo um tipo de estabilidade desejável quando se quer preservar determinada característica genética. O tipo dinâmico está associado aos genótipos que apresentam um comportamento previsível dentro das variações ambientais.

Vencovsky e Torres (1988) apontaram os tipos de estabilidade espacial e temporal. Segundo os autores a estabilidade espacial é sinônimo de adaptabilidade, enquanto na estabilidade temporal espera-se boa produtividade, sem que haja interações com as flutuações climáticas existentes entre anos.

Alliprandini (1992) definiu estabilidade com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e dos desvios da regressão ( $S^2di$ ), e adaptabilidade como consequência do desempenho do genótipo em relação à média dos genótipos avaliados e da responsividade medida pelo coeficiente de regressão ( $b_i$ ). Já Yue et al. (1997) consideram estabilidade como sendo a consistência no ordenamento relativo de determinados genótipos num dado grupo de ambientes.

Na literatura existem muitos conceitos de estabilidade, todavia, os autores tem utilizado as terminologias de Finlay e Wilkinson (1963) e de Eberhart e Russell (1966) ou variações das mesmas. Algumas definições apresentam certa concordância, ou seja, genótipo estável é aquele que, quando cultivado em vários ambientes, apresenta pouca oscilação para o caráter avaliado. Segundo Vencovsky e BARRIGA (1992), as propriedades, adaptabilidade e estabilidade, embora sejam características relacionadas, não devem ser considerados como um só.

De acordo com Eberhart e Russell (1966), adaptabilidade refere-se à capacidade de um genótipo assimilar vantajosamente os estímulos ambientais de maneira a assegurar uma alta produção média em todos os ambientes (adaptabilidade ampla) ou em ambientes específicos, ou seja, ambientes favoráveis e desfavoráveis. Já o termo estabilidade diz respeito à capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente. O ideal é que o genótipo apresente adaptabilidade geral e previsibilidade alta, sendo capazes de responder ao estímulo do ambiente e de ser estável, mantendo bom desempenho quando as condições ambientais forem desfavoráveis.

A análise de adaptabilidade e estabilidade é utilizada em larga escala nas etapas finais de um programa de melhoramento de plantas que tem por objetivo a recomendação de genótipos para ambientes gerais e específicos de cultivo, para isso existem diversas metodologias (CARGNELUTTI FILHO, 2005). As diferenças entre as diversas metodologias para se avaliar o desempenho genotípico encontram-se nos parâmetros adotados na avaliação, nos procedimentos biométricos empregados para avaliá-lo, ou na informação ou detalhamento de sua análise (CRUZ et al. 2012), uma vez que todos são fundamentados na existência da interação G x E.

Vale ressaltar que a caracterização da adaptabilidade e estabilidade fenotípica é relativa ao conjunto dos genótipos incluídos no experimento. Como a produtividade do ambiente é expressa pelo próprio desempenho médio dos genótipos no experimento, não há qualquer segurança de que um genótipo manterá o mesmo comportamento quando avaliado com diferentes genótipos (EASTON e CLEMENTS, 1973; LIN et al., 1986).

A adaptabilidade e a estabilidade de um genótipo dependem de sua constituição genética, ou seja, do número de genes que a constitui. São características do material genético e lhe permitem responder aos fatores limitantes do ambiente e usufruir dos fatores ambientais (BORÉM e MIRANDA, 2005).

### **3.4 Métodos que avaliam adaptabilidade e estabilidade fenotípica**

Existem diversas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade destinadas à avaliação de um grupo de genótipos em diversos ambientes. A diferença entre elas se dá, basicamente, pelos parâmetros adotados em sua avaliação, nos procedimentos biométricos empregados para medi-la e na informação ou detalhamento de sua análise, uma vez que todas são fundamentadas na existência de interações (CRUZ et al., 2012; VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

#### **3.4.1 Annicchiarico (1992)**

Os métodos que avaliam a estabilidade pela análise de variância das interações GxE são os mais antigos e consistem na análise de grupos de experimentos sendo a variação de ambientes, dentro de cada genótipo, usada como estimador do parâmetro de estabilidade, de forma que o genótipo que apresenta menor quadrado médio, ou seja, menor variância, é considerado o mais estável. Um dos métodos mais usados que utilizam a partição do quadrado médio da interação como critério é o de Annicchiarico (1992). Este método baseia-se na estimação de um índice de confiança ou índice de recomendação ( $\omega_i$ ) de um genótipo que mostre comportamento relativamente superior ao comparado com os demais (CRUZ et al., 2012).

Esta metodologia é muito utilizada pelos melhoristas de plantas para análise da estabilidade fenotípica, pois a mesma apresenta uma relativa facilidade de aplicação e de interpretação dos resultados gerados. Baseia-se em análise de variância e considera a estimação de um índice de confiança ( $\omega_i$ ) que representa a chance de um genótipo  $i$  apresentar performance fenotípica superior à média geral do conjunto genotípico que está sendo avaliado (NUNES et al., 1999).

Nesta metodologia, os valores absolutos da variável analisada são convertidos para valores em porcentagem relativa a média de cada ambiente e depois são calculados os desvios relativos de cada tratamento nos diversos ambientes. Posteriormente, a média e os desvios relativos são então utilizados no cálculo do índice de recomendação. Assim quanto maior o índice de confiança maior será a estabilidade e adaptabilidade do genótipo, traduzida na confiança da indicação do mesmo (SCHMILDT, 2001).

De acordo com Annicchiarico (1992), quanto maior a estimativa de  $\omega_i$ , mais estável é considerado o genótipo, sendo preferidos os genótipos que apresentem estimativa superior a 100%. Dessa forma, pela proposta de Annicchiarico (1992), os genótipos que apresentarem valor de  $\omega_i$  superior a 100% não deverão apresentar médias fenotípicas inferiores à média geral.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos utilizando a metodologia de Annicchiarico (1992) para se avaliar a estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-comum (FERREIRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2012; PONTES JÚNIOR et al., 2012; WANDERLEI et al., 2013).

### 3.4.2 Eberhart e Russell (1966)

Dentre as metodologias de adaptabilidade e estabilidade existentes, destinadas à avaliação de um grupo de genótipos, a proposta por Eberhart e Russell (1966), entre as que se baseiam na regressão linear, tem sido uma das mais utilizadas na recomendação de cultivares em função da simplicidade dos cálculos, facilidade de interpretação e informações fornecidas (MIRANDA, 1993; VERONESI, 1995).

Por este método o comportamento de cada genótipo, nas variações ambientais, é estimado por meio de uma análise de regressão linear simples da variável dependente em relação a um índice ambiental definido como a diferença entre a média de cada ambiente e a de todos os ambientes.

Na metodologia de Eberhart e Russel, a adaptabilidade é avaliada por meio de análise de regressão linear, na qual é estimada uma equação de regressão para cada genótipo em teste. Assim, são fornecidas informações sobre a resposta relativa de cada um dos genótipos avaliados em relação às médias dos ambientes, bem como em relação à sua resposta linear (Eberhart e Russel, 1966). Assim, considera-se o coeficiente de intercepto ( $\beta_{0i}$ ), coeficiente angular ( $\beta_{1i}$ ), os desvios da regressão ( $\delta_{ij} = S_{d2}$ ), um índice ambiental ( $I_j$ ), ou qualidade do ambiente, que pode ser obtido por meio da média do ambiente menos a média geral, e o erro experimental ( $\epsilon_{ij}$ ). Além disso, são estimados os coeficientes ( $R^2$ ) para cada uma das equações obtidas para cada um dos genótipos, para verificar o ajuste da equação ao genótipo em questão.

Dessa forma, é possível estimar a resposta fenotípica de todo genótipo a partir de índices de qualidade ambiental. Esta análise é capaz de fornecer estimativas referentes à estabilidade, bem como à adaptabilidade, ou seja, tanto os coeficientes de

regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental, quanto os desvios da regressão proporcionam estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, respectivamente (CRUZ et al., 2012).

A adaptabilidade pode ser estimada a partir do coeficiente de regressão ( $\beta_I$ ) e os genótipos podem ser classificados em genótipos de adaptabilidade ampla ou específica. Genótipos de adaptabilidade ampla são aqueles que apresentam coeficiente de regressão ( $\beta_I$ ) igual a 1 (um), ou seja, este genótipo é capaz de apresentar bons resultados tanto em ambientes altamente produtivos, quanto em ambientes considerados desfavoráveis. Já os genótipos de adaptabilidade específica são aqueles capazes de apresentar bons resultados apenas em ambientes específicos, de acordo com a exigência de cada genótipo.

Segundo Eberhart e Russell (1966), os genótipos podem ser classificados quanto à adaptabilidade em três grupos:

a) adaptabilidade geral com  $\beta_i = 1$  que apresenta média acima da média geral é o tipo desejável em ambientes com muitas variações imprevisíveis;

b) adaptabilidade específica a ambientes favoráveis com  $\beta_i > 1$  que agrupa os genótipos com alto desempenho em ambientes favoráveis;

c) adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis com  $\beta_i < 1$  que agrupa os genótipos que se destacam em ambientes desfavoráveis.

As estimativas para  $\beta_i$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0: \beta_i = 1$  e hipótese alternativa  $H_1: \beta_i \neq 1$ , avaliada por meio da estatística t.

De acordo com os autores, os genótipos podem ser classificados quanto à estabilidade em genótipos de alta estabilidade ( $S^2d_i = 0$ ) e genótipos de baixa estabilidade ( $S^2d_i \neq 0$ ).

Existem genótipos específicos para ambientes de baixa qualidade (desfavoráveis) ( $\beta_I < 1$ ), bem como genótipos específicos para ambientes de ótima qualidade (favoráveis) ( $\beta_I > 1$ ). Estes genótipos normalmente não são os preferidos pelos melhoristas, visto que as condições ambientais estão sempre flutuando e, tais genótipos dificilmente apresentam produtividade previsível (CRUZ et al., 2012).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos utilizando a metodologia de Eberhart e Russell (1966) para se avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos, como em Domingues et al. (2013); Franceschi et al. (2010); Pontes Júnior et al. (2012) e Ribeiro et al. (2010).

### **3.4.3 Cruz, Torres e Vencovsky (1989)**

A metodologia de Eberhart e Russell (1966), por ser baseada em apenas uma regressão linear, pode ser considerada conservadora, já que favorece genótipos com desempenho médio em relação ao conjunto analisado. Diante da hipótese de se identificar genótipos com performance desejável nos ambientes considerados desfavoráveis e favoráveis, levantou-se a alternativa de se empregar dois segmentos de reta, modificando os métodos inicialmente propostos por esses autores (CHAVES, 2001). As metodologias baseadas em regressão bissegmentada, apresentam ligeira superioridade quando comparadas com metodologias baseadas em apenas uma regressão linear (OLIVEIRA et al., 2006)

Cruz et al. (1989) apresentaram uma modificação dessa metodologia, proporcionando uma simplificação nas estimativas dos parâmetros e nas somas de quadrados, e com propriedades estatísticas mais adequadas aos propósitos do melhoramento. Esta metodologia baseia-se na análise de regressão bissegmentada, possuindo três parâmetros de adaptabilidade: a média ( $\beta_{0i}$ ), a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_{2i}$ ). A estabilidade é avaliada pelo desvio da regressão ( $\delta_{ij}$ ) de cada genótipo em função das variações ambientais. Por esse método as estimativas  $\beta_{1i}$  e  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  não são correlacionadas entre si, o que leva a independência dos dois segmentos de reta.

O genótipo ideal, de acordo com os autores, seria aquele que apresentasse alta média de produção ( $\beta_{0i}$ ), baixo  $\beta_{1i}$  (adaptabilidade a ambientes desfavoráveis),  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  acima de um (responsividade à melhoria ambiental), e  $\delta_{ij}$  próximo a zero (estabilidade fenotípica).

A metodologia de Cruz et al. (1989) é utilizada comumente em trabalhos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (DOMINGUES et al., 2013; FRANCESCHI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2006).

### **3.4.4 Lin e Binns modificado por Carneiro (1998)**

A maioria dos métodos utilizados para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos exige pressuposições básicas, tais como: distribuição normal dos dados, independência das variâncias e a existência de um modelo matemático associado a um delineamento experimental (MAURO et al., 2000). Entretanto, algumas

vezes, na experimentação agrícola, estes pressupostos não são observados assim, nestes casos deve-se utilizar metodologias mais simples, porém, que sejam efetivas na avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos.

A metodologia proposta por Lin e Binns (1988) é muito utilizada por melhoristas de plantas por se tratar de uma metodologia relativamente simples quanto à sua interpretação, além de proporcionar resultados seguros quanto à estabilidade produtiva de genótipos. Trata-se de uma técnica baseada em métodos não paramétricos, que difere das metodologias baseadas em regressão linear e ainda possibilita identificar um ou mais genótipos com desempenho próximo ao máximo nos vários ambientes testados.

Esta metodologia caracteriza os genótipos superiores por meio do parâmetro  $P_i$ , associado à estabilidade e à produtividade, e define um genótipo superior como aquele que apresenta performance próxima do máximo nos vários ambientes testados (LIN e BINNS, 1988). A estimativa " $P_i$ " é o quadrado médio da distância em relação à resposta máxima em cada ambiente.

Cruz et al. (2012) ressaltam que pelo fato das diferenças em relação à máxima serem elevadas ao quadrado, esta apresenta propriedade de variância, ou seja, de estabilidade (previsibilidade de comportamento), de forma que genótipos estáveis são aqueles que apresentam as menores variações de  $P_i$  em relação ao comportamento do genótipo hipotético. Esclarecem ainda que, como a diferença  $P_i$  é a diferença da produtividade do genótipo avaliado em relação ao hipotético, esta estatística também leva em consideração a adaptação dos genótipos. Assim, a estatística  $P_i$  mede, num único parâmetro, adaptação, adaptabilidade e estabilidade.

Carneiro (1998) propôs algumas modificações no método proposto por Lin e Binns (1988) tornando esta metodologia mais adequada à avaliação da performance genotípica para a obtenção da estimativa dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade de comportamento a fim de facilitar a recomendação de genótipos.

As medidas propostas por Carneiro (1998) tiveram como objetivo a recomendação de genótipos dividindo os grupos de ambientes em favoráveis e desfavoráveis, que refletiriam, de certa forma, ambiente onde há emprego de alta e baixa tecnologia, respectivamente, além de introduzir um referencial mais apropriado do que a distância do genótipo a pontos máximos, como preconiza a metodologia de Lin e Binns (1988), tornando a sua metodologia de aplicação mais ampla tanto em relação aos caracteres avaliados como aos genótipos disponíveis (CRUZ et al., 2012). A

classificação dos ambientes segundo essa metodologia é baseada nos índices ambientais que nada mais são do que a diferença dos genótipos em cada ambiente e a média geral.

A metodologia de Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998) é uma das metodologias mais utilizadas em trabalhos de adaptabilidade e estabilidade devido à sua simplicidade de interpretação dos dados. Diversos trabalhos foram desenvolvidos utilizando esta metodologia em feijão (DOMINGUES et al., 2013; FRANCESCHI et al., 2010; SILVA et al., 2013; PONTES JÚNIOR et al., 2012; RIBEIRO et al., 2010).

### 3.4.5 AMMI-Biplot

De acordo com Crossa (1990), metodologias baseadas em regressão linear, explicam pouco da heterogeneidade da regressão e pode falhar nos casos em que ocorre grande diversidade ambiental. Diante dessas limitações, modelos alternativos de análises têm sido buscados, no sentido de melhor explicar a interação genótipos por ambientes.

Uma alternativa para o melhor entendimento do efeito da interação de genótipos com ambientes é a utilização da chamada análise AMMI (ZOBEL et al., 1988; GAUCH 1992) - *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model* – cuja tradução literal significa modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa. Este método combina técnicas estatísticas, como a análise de variância e técnicas multivariadas (análise de componentes principais) em um único modelo, aditivo quanto aos efeitos principais de genótipos e ambientes e multiplicativo no detalhamento da interação genótipos por ambientes.

Zobel et al. (1988) sustentam que o método AMMI permite uma análise mais detalhada da interação G x E, garantindo a seleção de genótipos mais produtivos (capazes de aproveitar as interações positivas com ambientes), uma vez que fornece estimativas mais precisas das respostas genotípicas, além disso, possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística.

Esta análise procura capturar padrões presentes nas estruturas de dados, que possam contribuir para explicar de uma maneira mais eficiente, a resposta diferencial dos genótipos quando cultivados em diferentes ambientes (DUARTE e VENCOSKY, 1999). O detalhamento da interação GxE é feito via decomposição da soma dos quadrados originais ( $SQ_{G \times E}$ ), em uma porção denominada padrão e em outra denominada ruído. A primeira possibilita a identificação de fatores ambientais e

genotípicos mais diretamente relacionados à interação, sendo obtida após o descarte de ruídos adicionais ao erro experimental. Isso proporciona uma melhoria na capacidade preditiva das respostas genotípicas (OLIVEIRA et al., 2003).

A possibilidade de se representar graficamente os escores dos efeitos da interação é outra vantagem do método podendo, dessa forma, a interpretação ser feita por meio da análise da magnitude e do sinal dos escores pela obtenção de gráficos de componentes principais mantidos na análise do modelo AMMI e gráficos dos escores de eixos de IPCA contra o rendimento médio. Escores de genótipos e ambientes podem ser plotados no mesmo gráfico (denominado de biplot) e usado para identificar, visualmente, a estabilidade e a similaridade entre genótipos e ambientes (FERREIRA et al., 2006; LAVORANTI, 2004).

Escore baixo (próximo de zero) são próprios de genótipos e ambientes que contribuíram pouco ou quase nada para a interação, caracterizando-os como estáveis. Genótipos e ambientes com escores de mesmo sinal devem interagir positivamente evidenciando um sinergismo adaptativo a ser aproveitado na seleção. Aqueles com sinais opostos devem interagir negativamente, sugerindo um certo antagonismo, ou seja, uma combinação desfavorável de genótipo e ambiente (DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

A metodologia AMMI vêm sendo muito utilizada em trabalhos de adaptabilidade e estabilidade, principalmente em conjunto com as metodologias mais tradicionais. Na cultura do feijoeiro, diversos trabalhos foram desenvolvidos recentemente utilizando esta metodologia (BORGES et al., 2000; DOMINGUES et al. 2013; PEREIRA et al., 2009; MELO et al., 2007).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização dos ambientes

Cinco experimentos, com 20 genótipos de feijão-comum, foram realizados entre os anos de 2015 e 2017, nos municípios de Dourados, Ponta Porã e Rio Brillhante, na região sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul. Em Dourados, três experimentos foram realizados, sendo um de março a junho de 2015, outro em julho a outubro de 2016 e o terceiro de março a junho de 2017, caracterizados respectivamente como “época da seca”, “época de inverno” e “época da seca”. Em Rio Brillhante e em Ponta Porã os experimentos foram realizados no período de março a junho de 2017, classificados como “época da seca”.

O solo predominante nos três locais são latossolo vermelho distroférico, latossolo vermelho argiloso e latossolo vermelho distroférico de textura argilo-arenosa em Dourados, Rio Brillhante e Ponta Porã, respectivamente (EMBRAPA, 1999).

Em Dourados, os experimentos foram realizados em área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados cujas coordenadas geográficas são 22°12'16" latitude sul e 54°48'20" longitude oeste e altitude de 452m. Em Rio Brillhante, o experimento foi conduzido na Fazenda Gramado de coordenada geográfica 21°49'00" latitude sul e 54°38'35" longitude oeste, altitude 318m. Em Ponta Porã, o experimento foi conduzido na Fazenda União, de coordenada geográfica 22°27'32" latitude sul e 55°22'53" longitude oeste e altitude de 645m.

Os ambientes compreenderam a combinação dos fatores local (município), ano e época. Para o primeiro ambiente foi considerado o local Dourados, ano de 2015 durante a 2ª época do feijão (época da seca) (DDOS2015-2), o segundo ambiente Dourados, ano de 2016 na 3ª época do feijão (época de inverno) (DDOS2016-3), o terceiro ambiente Dourados, ano de 2017, na 2ª época de feijão (DDOS2017-2), o quarto ambiente Ponta Porã, ano de 2017 na 2ª época de feijão (PP2017-2), e o quinto ambiente Rio Brillhante, ano de 2017 na 2ª época de feijão (RB2017-2) (Tabela 1).

Os ambientes localizados em Dourados receberam irrigação durante todo o ciclo da cultura. As temperaturas médias durante o ciclo foram de 22°C, 19,6°C, 21°C, 18°C e 20,6°C para o primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ambientes, respectivamente. A quantidade de chuva acumulada para o período em que foram realizados os experimentos foi de 492mm, 101mm, 368mm, 484mm e 455mm para o primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ambientes respectivamente (Figuras 1 a 5).

A adubação utilizada nos experimentos foi de 280 kg ha<sup>-1</sup> de adubo de fórmula comercial 0-20-20 em Dourados, 280 kg ha<sup>-1</sup> de adubo 13-16-16 em Rio Brillhante e 280 kg ha<sup>-1</sup> de adubo 10-15-15 em Ponta Porã. A correção de acidez do solo foi realizada conforme recomendação da análise de solo (Anexo 1).

Tabela 1. Caracterização dos ambientes experimentais.

Ambiente	Local	Época	Ano	Temperatura Média <sup>1</sup>	Pluviosidade <sup>2</sup>
DDOS2015-2	Dourados	época da seca	2015	22,0°C	492mm
DDOS2016-3	Dourados	época de inverno	2016	20,3°C	179mm
DDOS2017-2	Dourados	época da seca	2017	21,4°C	368mm
PP2017-2	Ponta Porã	época da seca	2017	18,8°C	484mm
RB2017-2	Rio Brillhante	época da seca	2017	20,6°C	455mm

<sup>1</sup>Temperatura média durante o ciclo da cultura; <sup>2</sup> Precipitação pluviométrica acumulada durante o ciclo da cultura (INMET, 2017).

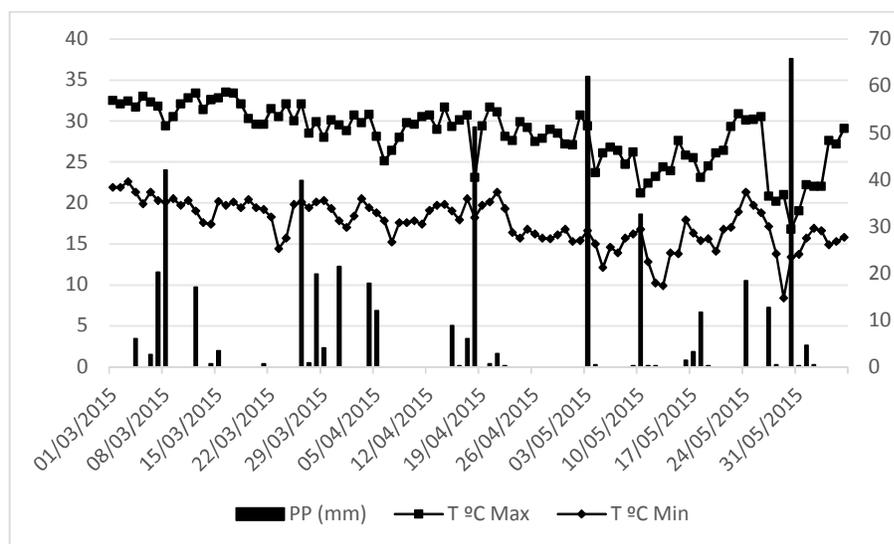


Figura 1. Precipitação pluvial (PP) (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no primeiro ambiente (DDOS2015-2) (INMET, 2017).

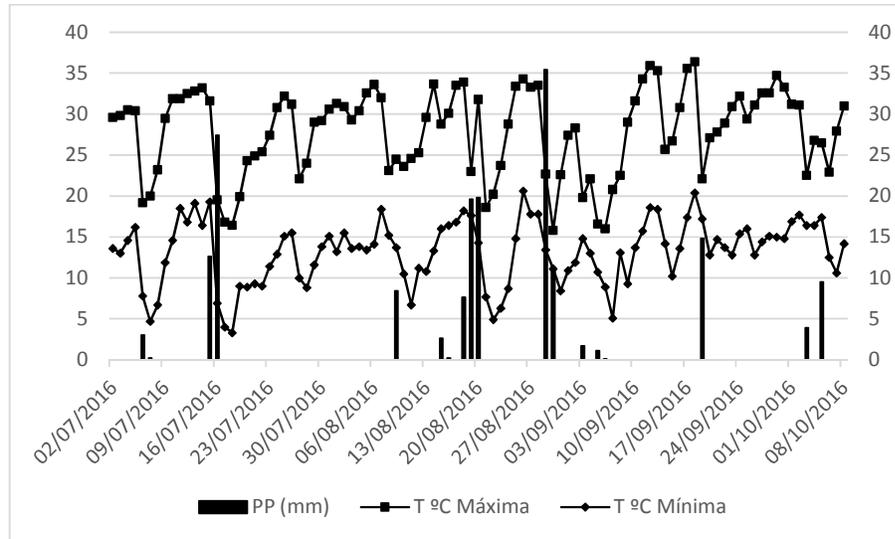


Figura 2. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no segundo ambiente (DDOS2016-3) (INMET, 2017).

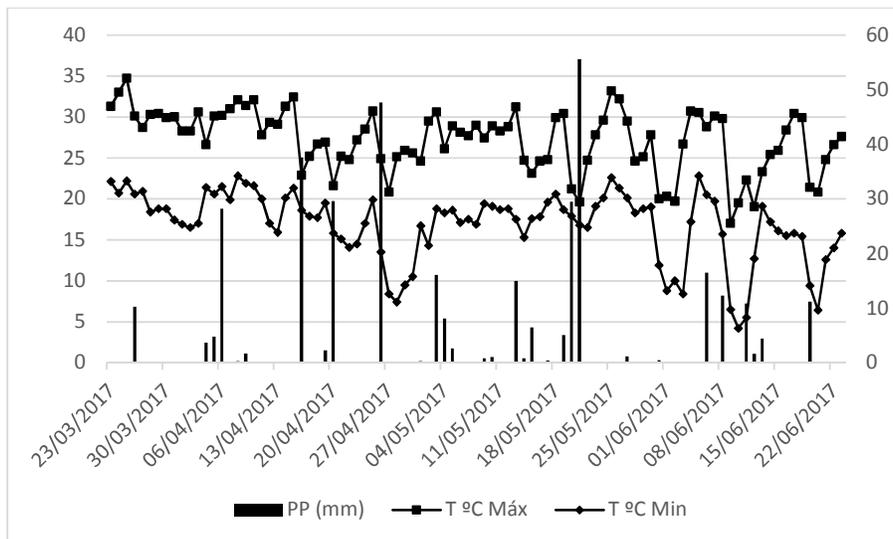


Figura 3. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no terceiro ambiente (DDOS2017-2) (INMET, 2017).

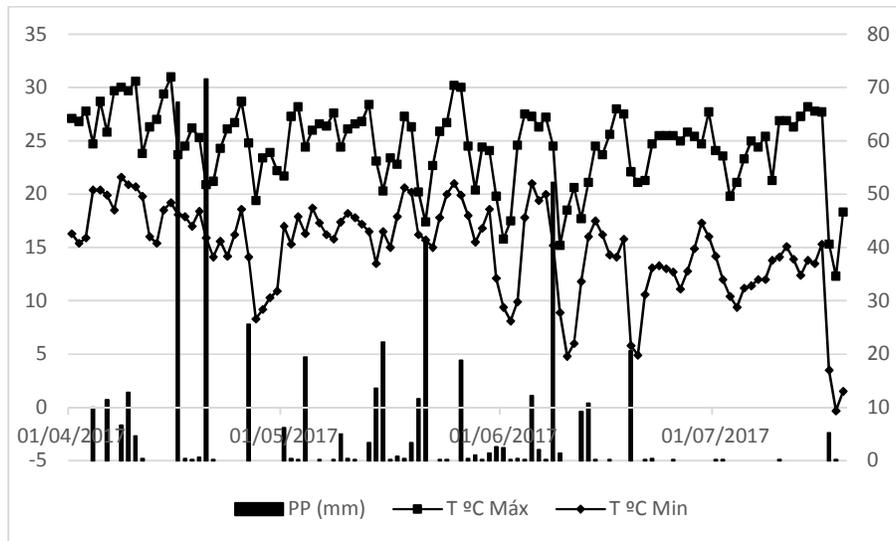


Figura 4. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no quarto ambiente (PP2017-2) (INMET, 2017).

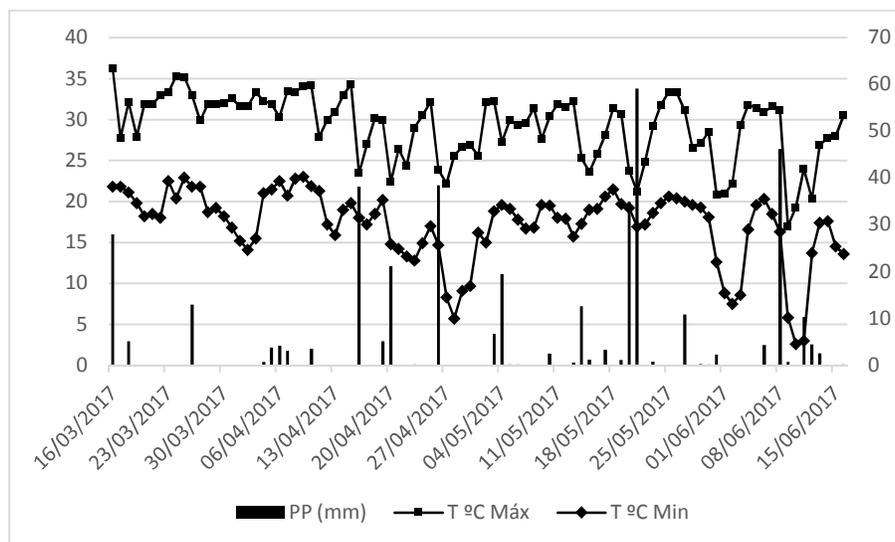


Figura 5. Precipitação pluvial (mm) e Temperaturas máxima e mínima (°C) ocorridas durante o cultivo no quinto ambiente (RB2017-2) (INMET, 2017).

#### 4.2 Caracterização dos genótipos e delineamento experimental

Vinte genótipos de feijão-comum foram utilizados nos cinco experimentos conduzidos, sendo quinze linhagens pré-comerciais, oriundas do cruzamento dos

genitores FEIS-L113 e carioca branco, e cinco testemunhas, todas provenientes do banco de germoplasma do programa de melhoramento genético conduzido na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus Ilha Solteira, SP (Tabela 2).

Tabela 2. Relação dos genótipos de feijão-comum utilizados no experimento.

IG	Genótipos	Cultivar
1	1	Linhagem
2	2	Linhagem
3	3	Linhagem
4	4	Linhagem
5	5	Linhagem
6	6	Linhagem
7	7	Linhagem
8	8	Linhagem
9	9	Linhagem
10	10	Linhagem
11	11	Linhagem
12	12	Linhagem
13	13	Linhagem
14	14	Linhagem
15	15	Linhagem
16	IAC Una	Cultivar
17	IAC Imperador	Cultivar
18	IAC Formoso	Cultivar
19	IAC Milênio	Cultivar
20	IAC Alvorada	Cultivar

IG: identificação dos genótipos

O delineamento experimental implantado na condução do experimento foi o de blocos casualizados com três repetições. A parcela experimental foi composta de quatro linhas de quatro metros, espaçadas em 0,5 metros entre si, considerando-se como área útil as duas linhas centrais.

Nos experimentos conduzidos em Dourados foi realizado o preparo mecanizado do solo, com abertura de sulcos para incorporação do adubo e das sementes manualmente. Já em Ponta Porã e Rio Brillhante foi realizado adubação e formação das linhas de semeadura utilizando uma plantadeira de plantio direto, em que posteriormente foram distribuídas as sementes nas linhas já adubadas. Em todos os experimentos foram semeadas 15 sementes por metro linear, correspondendo a uma

população de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram realizadas capinas manuais durante o período crítico de competição, de 15 a 30 dias após a emergência.

A colheita, em todos os experimentos, foi realizada aproximadamente 95 dias após a emergência, quando as plantas estavam completamente secas. Posteriormente as mesmas foram debulhadas em uma trilhadeira experimental. Em seguida foi realizada a pesagem da produção obtida na parcela, para obtenção da estimativa de produtividade (PROD) de cada genótipo no laboratório. A correção do peso de grãos obtido nas parcelas foi realizada pelo método de correção de estande da covariância com estande ideal (STEEL e TORRIE, 1980), e correção para a umidade de 13%.

### **4.3 Análises Estatísticas**

As análises estatísticas constituíram-se de análise de variância individual para cada ambiente, seguida de uma análise de variância conjunta de experimentos, segundo modelo proposto por Cruz et al. (2012) para avaliar a significância da interação genótipo x ambiente.

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para os 20 genótipos de feijão-comum foram estimados utilizando-se as metodologias propostas por, Annicchiarico (1992), Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e pelo método AMMI-Biplot, utilizando o software estatístico GENES (CRUZ, 2013), para a realização de todas as análises estatísticas.

#### **4.3.1 Análises de variância**

Após a coleta e compilação dos dados, estes foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors (1967), e verificada a normalidade dos dados, foram realizadas as análises de variância individuais para cada um dos cinco ambientes, considerando os 20 genótipos. Tais análises destinaram-se à verificação da existência de variabilidade genética entre os tratamentos (genótipos), à obtenção das estimativas dos erros experimentais visando testar a homogeneidade de variâncias e a precisão dos experimentos. O esquema utilizado na análise de variância individual para cada caráter foi o de blocos ao acaso, de acordo com o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : valor observado do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo bloco;

$\mu$ : média geral do ensaio;

$g_i$ : efeito do genótipo  $i$ ;

$b_j$  : efeito do bloco  $j$ ;

$\varepsilon_{ij}$ : erro aleatório associado à observação  $Y_{ij}$

A partir dos resultados das análises individuais foi verificada a relação entre os erros experimentais das análises individuais e estabeleceu-se uma relação máxima igual a 7 entre o maior e o menor quadrado médio do erro, para a realização da análise conjunta, conforme sugestão de Pimentel Gomes (2009).

A análise de variância conjunta para os 20 genótipos nos cinco ambientes, tendo como principal objetivo verificar a existência de interações dos genótipos com ambientes, foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + (b/a)_{jk} + a_j + g_{aij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

$Y_{ijk}$ : observação do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ano no  $k$ -ésimo bloco;

$\mu$ : média geral;

$g_i$ : efeito fixo do  $i$ -ésimo genótipo;

$(b/a)_{jk}$ : efeito do bloco  $k$  dentro do  $j$ -ésimo ambiente;

$a_j$ : efeito do  $j$ -ambiente;

$g_{aij}$ : efeito do  $i$ -genótipo no  $j$ -ambiente;

$\varepsilon_{ijk}$  : erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ .

#### 4.3.2 Método proposto por Annicchiarico (1992)

Por este método estima-se o índice de confiança ( $\omega_i$ ) de um determinado genótipo apresentando desempenho abaixo da média do ambiente, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$\omega_i = Y_i - Z_{(1-\alpha)} * S_i$$

Em que:  $\omega_i$ : índice de confiança (%);

$Y_i$ : media do genótipo  $i$  em porcentagem;

Z: percentil  $(1-\alpha)$  da função de distribuição normal acumulada;

$\alpha$ : nível de significância;

S<sub>i</sub>: desvio padrão dos valores percentuais.

### 4.3.3 Método proposto por Eberhart e Russell (1966)

O modelo de regressão linear adotado pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) é dado por:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que :

$Y_{ij}$  : média do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente;

$\beta_{0i}$ : média geral do  $i$ -ésimo genótipo;

$\beta_{1i}$ : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do  $i$ -ésimo genótipo à variação do ambiente;

$I_j$ : índice ambiental;

$\delta_{ij}$  : desvio da regressão do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente;

$\varepsilon_{ij}$  : erro experimental médio associado a observação  $Y_{ij}$

A adaptabilidade ( $\beta_i$ ) foi estimada de acordo com a seguinte expressão:

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^n Y_{ij}I_j}{\sum_{j=1}^n I_j^2}$$

em que:

$Y_{ij}$  média do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente;

$I_j$  índice ambiental, em que:

$$I_j = [(Y_j/p) - (Y_{\infty}/pn)]$$

em que:

$Y_j$ : média de todos os genótipos no  $j$ -ésimo ambiente;

$Y_{\infty}$ : média geral;

$n$  : número de genótipos;

$p$  : número de ambientes.

O parâmetro de estabilidade ( $S^2d_i$ ) foi estimado de acordo com a seguinte expressão:

$$(S^2d_i) = [QMD_i - QMR]/r]$$

Em que :

$QMD_i$  é o quadrado médio dos desvios de regressão do  $i$ -ésimo genótipo;

$QMR$  : é o quadrado médio do resíduo;

$r$  : é o número de repetições.

O coeficiente de determinação  $R^2$  foi obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$R^2_i = [(SQRLinear)_i / (SQ(E/G_i))] \times 100$$

onde:

$(SQRLinear)_i$  : a soma de quadrados da regressão linear do  $i$ -ésimo genótipo;

$SQ(E/G_i)$ : a soma de quadrados de ambientes dentro do  $i$ -ésimo genótipo.

#### 4.3.4 Método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

Nessa metodologia, a média ( $\beta_0$ ), a resposta linear a ambientes desfavoráveis ( $\beta_1$ ) e favoráveis ( $\beta_1 + \beta_2$ ) são os parâmetros que estimam a adaptabilidade dos genótipos, e os desvios da regressão ( $\delta^2$ ) de cada genótipo e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), constituem os parâmetros que estimam a estabilidade. Para esta metodologia utilizou-se o modelo apresentado na equação:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ ,  $\beta_{0i}$ ,  $I_j$ ,  $\delta_{ij}$  e  $\varepsilon_{ij}$  foram definidos anteriormente na metodologia de Eberhart e Russell (1966), e  $T(I_j)$  é uma variável do eixo das abcissas. O  $\beta_{1i}$  descreve a resposta do genótipo “i” nos ambientes desfavoráveis, enquanto,  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  descreve a resposta do genótipo “i” nos ambientes favoráveis.

Para Cruz et al. (1989), o melhor genótipo é aquele que apresente média alta,  $\beta_{1i} < 1$ ,  $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$  e  $\delta^2 = 0$ .

#### 4.3.5 Método proposto por Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

Lin e Binns (1988) definiram como medida de estabilidade, o quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima para todos os locais. Rocha (2002) detalha essa definição mostrando que o parâmetro  $P_i$  representa o quadrado médio da distância entre a resposta de um determinado genótipo em relação à resposta do genótipo que apresenta produtividade máxima, entre todos os genótipos, em um determinado ambiente. Desse modo, quanto menor a distância entre a resposta do genótipo e a resposta do genótipo de produtividade máxima nos diversos ambientes, menor será o  $P_i$  e mais estável o genótipo. O  $P_i$  é estimado por meio da equação:

$$P_i = \sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2 / 2n$$

Em que:

$P_i$  = índice de superioridade do i-ésimo genótipo;

$X_{ij}$  = produtividade do i-ésimo genótipo plantado no j-ésimo ambiente;

$M_j$  = resposta máxima obtida entre todos os genótipos no j-ésimo ambiente;

$n$  = número de ambientes.

Essa expressão pode ser desdobrada em:

$$P_i = [ n (\bar{X}_i - \bar{M})^2 + \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i - M_j + \bar{M})^2 ] / 2n$$

Em que:

$\bar{X}_i$ : é a média das produtividades dos genótipos obtidas nos “ n” ambientes:

$$\bar{X}_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} / n ;$$

$\bar{M}$ : médias das produtividades máximas de todos os genótipos em todos os ambientes:

$$\bar{M} = \sum_{j=1}^n M_j / n$$

Estas estimativas permitem que se testem as hipóteses de nulidade do valor paramétrico de  $P_i$  para cada genótipo com base em um teste F. A significância desta

hipótese indica que o genótipo específico difere estatisticamente do máximo e um  $P_i$  nulo indica que ele tem desempenho semelhante ao máximo ao longo dos ambientes.

Porém, para que a recomendação de cultivares atenda ao conceito de grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis, como no método de CRUZ et al. (1989), que refletem de certa forma, ambientes onde há emprego de alta e baixa tecnologia, respectivamente, foi feita por CARNEIRO (1998) a decomposição desse estimador  $P_i$ , nas partes devidas a ambientes favoráveis ( $P_{if}$ ) e desfavoráveis ( $P_{id}$ ). A classificação destes ambientes foi feita com base nos índices ambientais, definidos como a diferença entre a média das cultivares avaliadas em cada ambiente e a média geral dos experimentos.

Para os ambientes favoráveis, com índices maiores ou iguais a zero,  $P_{if}$  foi estimado conforme a seguir:

$$P_{if} = [\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - M_j)^2] / 2f$$

Em que:

$f$  = número de ambientes favoráveis;

$Y_{ij}$  e  $M_j$  como definidos anteriormente.

Para ambientes desfavoráveis:

$$P_{id} = [\sum_{j=1}^d (Y_{ij} - M_j)^2] / 2d$$

Em que:

$d$  = número de ambientes desfavoráveis

#### 4.3.6 Método AMMI-Biplot

Nessa análise foi considerado os efeitos de genótipos e ambientes como fixos e o modelo segundo a equação:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

onde:

$Y_{ij}$ : é a resposta média do  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, G$  genótipos) no  $j$ -ésimo ambiente ( $j = 1, 2, \dots, E$  ambientes);

$\mu$ : a média geral dos ensaios;

$g_i$ : o efeito do  $i$ -ésimo genótipo;

$e_j$ : o efeito do  $j$ -ésimo ambiente;

$\lambda_k$ : o  $k$ -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interação original (denotada por GxE);

$\gamma_{ik}$ : o elemento correspondente ao  $i$ -ésimo genótipo no  $k$ -ésimo vetor singular coluna da matriz GE;

$\alpha_{jk}$ : o elemento correspondente ao  $j$ -ésimo ambiente no  $k$ -ésimo vetor singular linha da matriz GE;

$\rho_{ij}$ : o ruído associado ao termo  $(ge)_{ij}$  da interação clássica do genótipo  $i$  com o ambiente  $j$ ;

$\bar{\epsilon}_{ij}$ : erro experimental médio.

Na análise AMMI o termo  $(ge)_{ij}$  de um modelo de análise tradicional foi modelado por:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij}$$

sendo:

$$\rho_{ij} = \sum_{k=n+1}^p \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk}, \text{ em que } p \text{ é o posto da matriz GE.}$$

Os termos  $\lambda_k$ ,  $\gamma_{ik}$  e  $\alpha_{jk}$  resultam da chamada decomposição por valores singulares (DVS) da matriz de interação clássica  $GE(gxe) = [(\hat{g}e)]$  em que :

$$(\hat{g}e)_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : média do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente;

$\bar{Y}_i$ : é a média do  $i$ -ésimo genótipo;

$\bar{Y}_j$ : é a média do  $j$ -ésimo ambiente;

$\bar{Y}_{..}$ : é a média geral dos ensaios.

A obtenção da DVS de uma matriz, nesse tipo de aplicação, é descrita por Duarte e Vencovsky (1999). Para esses autores no modelo AMMI o efeito da interação

do genótipo  $i$  com o ambiente  $j$  é descrito como uma soma de “n” parcelas, cada uma resultante da multiplicação de  $\lambda_k$ , expresso na mesma unidade de  $Y_{ij}$ , por efeitos de escala (adimensionais) genotípica ( $\gamma_{ik}$ ) e ambiental ( $\alpha_{jk}$ ). O termo  $\lambda_k$  traz uma informação relativa à variação resultante da interação GxE, na k-ésima dessas parcelas. Como numa análise de componentes principais (ACP) essas sucessivas parcelas captam porções cada vez menores da variação presente na matriz GE ( $\lambda_{12} \geq \lambda_{22} \geq \dots, \lambda_{2p}$ ), isto é a  $SQ_{GxE}$  tradicional. Assim, a análise busca recuperar uma parcela determinística da matriz denominada padrão, descartando-se outra, denominada ruído ( $\rho_{ij}$ ).

Para a definição do número de eixos a serem retidos, a fim de explicar o padrão relacionado à interação, foram adotados os critérios propostos por Gauch e Zobel (1988), levando em consideração a proporção da soma de quadrados da interação ( $SQ_{GxE}$ ) acumulada até o n-ésimo eixo. Dessa forma, o ponto de parada que determina a seleção do modelo de cada membro da família de modelos AMMI (AMMI0, AMMI1, ..., AMMI $n$ ) foi obtido com base na significância dos testes F de GOLLOB (1968), para os sucessivos termos da interação incluídos no modelo definido por GOLLOB (1968).

A interpretação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos e ambientes, ou seja, as suas coordenadas nos eixos principais de interação (IPCA) foi feita com base na análise gráfica em *biplot* (GABRIEL, 1971), gráfico que contém duas categorias de pontos ou marcadores. No caso, um referindo-se a genótipos e outro a ambientes. Primeiramente procedeu-se à interpretação gráfica em *biplot* com base na variação dos efeitos principais aditivos de genótipos e ambientes e do efeito multiplicativo da interação GxE e, posteriormente, a interpretação com base apenas no efeito multiplicativo da interação GxE.

#### **4.3.7 Comparação entre metodologias de adaptabilidade e estabilidade**

A comparação entre os diferentes métodos utilizados para estimar a adaptabilidade e estabilidade foi realizada com base nos parâmetros estimados pelas quatro metodologias, por meio do coeficiente de correlação linear de Spearman, aplicado às ordens de classificação genotípicas obtidas em cada par de métodos.

Nesse estudo, foi adotado o procedimento relatado por Silva e Duarte (2006) e Pereira et al. (2009). A ordem de adaptabilidade e estabilidade foi definida com base em seus conceitos e o número de parâmetros de cada método. Assim, os genótipos

foram classificados de 1 a 20, onde aqueles que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade receberam número de ordem 1, assim sucessivamente, até o genótipo menos adaptado e estável que recebeu o número de ordem 20. Excetuando-se os casos em que dois ou mais genótipos apresentaram parâmetros iguais.

Para o método de Annicchiarico (1992), atribuiu-se a ordem com base no índice de confiança geral, no índice de confiança para ambientes desfavoráveis, e no índice de confiança para ambientes favoráveis, todos do menor para o maior, em seguida foi feita uma média dos números de ordem desses três parâmetros e obtido o número de ordem para o estudo da correlação.

Para o método de Eberhart & Russel (1966), foram obtidos os desvios de  $\beta_{1i}$  em relação a 1. Os valores absolutos dos desvios foram ordenados e o genótipo com menor valor foi colocado em primeiro lugar. Com relação ao parâmetro, os genótipos foram ordenados por suas estimativas e o que apresentou menor valor foi colocado em primeiro lugar. Em seguida, foi calculado o posicionamento médio de cada genótipo, obtendo-se a média das classificações para cada parâmetro. Essas médias foram ordenadas em ordem crescente e os genótipos com menor valor foram os mais estáveis e adaptados.

O mesmo procedimento foi realizado com a metodologia de Cruz et al. (1989) para as estimativas de  $\delta^2$ . Para  $\beta_{1i}$ , as estimativas foram ordenadas em ordem crescente e os genótipos com menor estimativa foram ordenados nos primeiros lugares. Já para o parâmetro  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ , o genótipo com a maior estimativa foi ordenado em primeiro lugar. Foi calculado o posicionamento médio dos genótipos para os três parâmetros em conjunto, de modo semelhante ao relatado anteriormente.

No método de Lin & Binns (1988), os genótipos foram ordenados pelas estimativas de  $P_i$  para todos os ambientes. O genótipo que apresentou menor estimativa foi considerado o mais estável e adaptado, e assim sucessivamente.

Na metodologia AMMI-Biplot, foi ordenado o valor dos escores absolutos do primeiro componente principal para cada genótipo. Os genótipos foram ordenados pelos valores dos escores absolutos e o de menor valor foi considerado mais estável e adaptado.

Como a média de produtividade é muito importante, além da classificação de genótipos descrita anteriormente para as metodologias de Eberhart & Russel, Cruz e AMMI, também foi obtida uma classificação de genótipos considerando a média de produtividade como um dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Nesse caso, os

genótipos foram classificados por ordem crescente, a partir da maior média e, posteriormente, obteve-se a classificação dos genótipos considerando todos os parâmetros de cada método, de forma idêntica à relatada anteriormente.

O coeficiente de correlação de Spearman foi estimado conforme a equação:

$$r_s = 1 - \left( \frac{6 \sum_{i=1}^n d^2}{n^3 - n} \right)$$

em que:

$n$ : número de genótipos avaliados;

$d^2$ : diferença entre o ordenamento dos genótipos;

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises de variância

Foi observado diferença estatística significativa entre os genótipos para a característica produtividade de grãos em todos os ambientes, com exceção do segundo ambiente (DDOS2016-3), em que os genótipos não se diferiram estatisticamente entre si, apresentando em média, uma produção de grãos de 1456,7 kg ha<sup>-1</sup>. A produtividade média variou entre 1456,7 kg ha<sup>-1</sup> (DDOS2016-3) e 750,6 kg ha<sup>-1</sup> (DDOS2017-2), sendo os ambientes DDOS2016-3 e RB2017-2 mais favoráveis à expressão da produtividade de grãos para os genótipos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), de 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V.	QM (Bloco)	QM (Genótipo)	QM (Resíduo)	C.V.%	Média
DDOS2015-2	329084,8	261218,0**	41483,8	18,84	1081,0
DDOS2016-3	532784,7	68085,4 <sup>ns</sup>	53903,3	15,94	1456,7
DDOS2017-2	108340,2	34888,2**	11768,4	14,45	750,6
PP2017-2	104966,3	54817,0**	19721,4	15,85	886,2
RB2017-2	178737,5	145384,9**	39313,2	13,62	1455,5
G.L.	2	19	38	-	-

DDOS2015-2: Dourados, ano 2015, 2ª época; DDOS2016-3: Dourados, ano 2016, 3ª época; DDOS2017-2: Dourados, ano 2017, 2ª época; PP2017-2: Ponta Porã, ano 2017, 2ª época; RB2017-2: Rio Brilhante, ano 2017, 2ª época; \*\*, <sup>ns</sup>: Significativo (p<0,01) e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Os coeficientes de variação (C.V.%) variaram de 13,62 a 18,84%, um valor considerado de mediano a bom para a característica de produtividade de grãos na cultura do feijoeiro (LÚCIO et al., 1999), indicando boa precisão experimental. Ressalta-se que a produtividade é uma característica de herança complexa e altamente influenciada por fatores imprevisíveis no ambiente.

Verificou-se também que a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo realizado entre os ambientes (DDOS2016-3 e DDOS2017-2) foi menor que sete (4,58) (Tabela 1), possibilitando a realização da análise conjunta dos ensaios, conforme critério de Pimentel Gomes (2009).

Na análise conjunta, foi verificado efeito significativo para as fontes de variação ambientes e interação G x E. Entretanto não houve efeito significativo para a fonte de variação genótipos (Tabela 4), indicando que não houve diferença estatística entre os genótipos. Resultado semelhante foi encontrado por Tavares (2015) trabalhando com feijão-comum, Freire Filho et al. (2003; 2005) em trabalhos com

feijão-caupi e Cella (2012) em trabalho com soja. A significância estatística para o fator “ambientes” confirma a heterogeneidade das condições ambientais nas quais foram realizados os experimentos.

Tabela 4. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V.	G.L.	Produtividade	
		Quadrados Médios	% S. Q.
Blocos/Ambiente	10	250782	
Blocos	2	522820	
Blocos x Ambientes	8	182773	
Genótipos (G)	19	140809 <sup>ns</sup>	7,47
Ambientes (E)	4	6276578 <sup>**</sup>	70,07
G x E	76	105896 <sup>**</sup>	22,46
Resíduo	190	33238	
C.V.(%)	-	16,19	
Média	-	1126	

F.V: fonte de variação; G.L: grau de liberdade; C.V: coeficiente de variação (%); %S.Q.: porcentagem da soma de quadrados<sup>\*\*</sup>, <sup>ns</sup>: Significativo (p<0,01) e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Já a significância da interação G x E demonstra que os genótipos apresentaram comportamento diferenciado nos diferentes ambientes, evidenciando a necessidade de um estudo para identificar genótipos com maior adaptabilidade aos diferentes ambientes e também com estabilidade fenotípica. A alta porcentagem da soma de quadrados de ambientes pode explicar a significância da interação de genótipos e ambientes, mesmo não existindo diferença significativa entre os genótipos (Tabela 4).

## 5.2 Método de Annicchiarico (1992)

No método proposto por Annicchiarico (1992), a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. O método baseia-se na estimação de um índice de confiança ( $\omega_i$ ) de um determinado genótipo apresentar comportamento relativamente superior.

A estimativa do índice de confiança de Annicchiarico ( $\omega_i$  geral) foi superior a 100% para apenas dois genótipos (1 e 9), para os ambientes favoráveis ( $\omega_i$  favorável) foram superiores a 100% para seis genótipos (3, 7, 9, 10, 15 e 16) e para os ambientes desfavoráveis ( $\omega_i$  desfavorável) foram superiores a 100% para quatro genótipos (1, 2, 5 e 9) (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros de estabilidade segundo metodologia de Annicchiarico (1992) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	Média Geral	( $\omega_i$ geral)	( $\omega_i$ favorável)	( $\omega_i$ desfavorável)
1	1305,59	103,96	98,19	110,09
2	1155,21	94,47	87,86	102,24
3	1189,99	96,57	104,32	93,31
4	1112,32	88,96	96,91	85,09
5	1133,34	96,64	91,88	103,38
6	1001,01	80,00	84,14	76,23
7	1120,74	92,44	104,23	89,90
8	1076,75	84,75	96,48	78,90
9	1312,63	112,52	110,34	115,14
10	1189,61	92,62	106,62	85,32
11	1083,50	91,51	96,03	89,43
12	1226,72	99,42	97,12	98,61
13	1058,29	81,51	81,03	78,68
14	1119,82	89,79	91,12	86,73
15	1197,56	93,01	107,81	84,84
16	1192,19	92,50	110,41	84,95
17	989,16	80,77	80,99	78,91
18	1033,73	77,85	99,52	68,04
19	965,38	66,45	69,12	63,82
20	1056,35	76,73	67,00	85,45
Média Geral		1126,0		

Com base no índice de confiança de Annicchiarico pode-se indicar os genótipos 1 e 9 para todos os ambientes, pois obtiveram um índice de confiança superior ou próximo a 100% em ambientes favoráveis e desfavoráveis, além de ser um dos mais produtivos, com produção de grãos de 1305 e 1312 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Levando-se em conta apenas os ambientes favoráveis, destacaram-se os genótipos 15 e 16. Já o cultivo desses genótipos em ambientes desfavoráveis não é indicado, pelo fato de terem sido obtido valores muito abaixo de 100% nestes ambientes (Tabela 5). O segundo (DDOS2016-3) e quinto ambiente (RB2017-2) foram classificados como favoráveis, por terem obtido índices ambientais positivos (Tabela 6).

Tabela 6. Médias gerais, índices ambientais e classes ambientais, segundo metodologia de Annicchiarico (1992) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Ambiente	Média (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice Ambiental	Classificação
DDOS2015-2	1081,00	-44,99	Desfavorável
DDOS2016-3	1456,70	330,71	Favorável
DDOS2017-2	750,56	-375,43	Desfavorável
PP2017-2	886,18	-239,81	Desfavorável
RB2017-2	1455,52	329,53	Favorável

DDOS2015-2: Dourados, ano 2015, 2ª época; DDOS2016-3: Dourados, ano 2016, 3ª época; DDOS2017-2: Dourados, ano 2017, 2ª época; PP2017-2: Ponta Porã, ano 2017, 2ª época; RB2017-2: Rio Brilhante, ano 2017, 2ª época.

### 5.3 Método de Eberhart e Russell (1966)

Diferenças significativas foram observadas para os efeitos de genótipos (G), ambientes (E) e interação G x E para produtividade de grãos, sendo que o efeito de ambientes (70,07%) foi de maior magnitude que o efeito da interação G x E (22,46%) e o efeito de genótipos (7,47%) (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância conjunta geral segundo metodologia de Eberhart e Russell, referente à produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	QM	% da variação
Ambiente (E)	4	6276578,2**	70,07
Genótipo (G)	19	140809,5**	7,47
G x E	76	105896**	22,46
Resíduo	190	33238,004	

\*\*Significativo (p<0,01) pelo teste F.

Observando as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, verifica-se que a produtividade de grãos ( $\beta_0$ ) variou entre 965 kg ha<sup>-1</sup> para o genótipo 19 e 1313 kg ha<sup>-1</sup> para o genótipo 9, sendo a média geral de 1126 kg ha<sup>-1</sup>. Destacaram-se apresentando melhor adaptabilidade aqueles genótipos com produtividade de grãos acima desta média (1, 2, 3, 5, 9, 10, 12, 15 e 16) (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Considerando os nove genótipos que apresentaram as melhores médias ( $\beta_0$  > média geral), todos apresentaram as estimativas de  $\beta_1$  diferentes de 1, evidenciando que nenhum deles apresentou adaptabilidade geral ou ampla nos diferentes ambientes avaliados, e apenas os genótipos 3, 5, 9, 10 e 12 apresentaram desvio de regressão

estatisticamente igual a zero, ou seja, foram considerados como estáveis. O genótipo 5 apresentou valor de  $\beta_1 < 1$  o que indica adaptabilidade a ambientes desfavoráveis. Já os genótipos 3, 9, 10, 12 apresentaram valor de  $\beta_1 > 1$  o que indica adaptabilidade a ambientes favoráveis (Tabela 8).

Tabela 8. Médias gerais ( $\beta_0$ ), estimativas dos coeficientes de regressão ( $\beta_1$ ), desvios de regressão ( $S^2d$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipo	Média ( $\beta_0$ )	$\beta_1$	$S^2d$	$R^2(\%)$
1	1306	0,93**	49368,04**	66,54
2	1155	0,77**	18686,67*	73,39
3	1190	1,11**	9445,13 <sup>ns</sup>	89,40
4	1112	0,84**	21569,85*	74,91
5	1133	0,78**	-6724,41 <sup>ns</sup>	95,17
6	1001	1,03**	8011,95 <sup>ns</sup>	88,47
7	1121	1,25**	-10140,67 <sup>ns</sup>	99,57
8	1077	1,19**	21443,43*	85,88
9	1313	1,06**	-5535,21 <sup>ns</sup>	96,56
10	1190	1,32**	3212,36 <sup>ns</sup>	94,47
11	1084	0,99**	-6071,21 <sup>ns</sup>	96,50
12	1227	1,18**	18172,45 <sup>ns</sup>	86,90
13	1058	0,81**	49803,50**	60,12
14	1120	1,00 <sup>ns</sup>	24000,80*	79,76
15	1198	1,05**	51949,98**	71,11
16	1192	1,39**	31898,42*	86,18
17	989	0,80**	9604,64 <sup>ns</sup>	81,31
18	1034	1,01**	53821,99**	68,88
19	965	0,88**	105049,25**	47,94
20	1056	0,61**	116168,15**	28,86
Média Geral	1126			

\*\* , \* , <sup>ns</sup>: significativo ( $p < 0,01$ ), significativo ( $p < 0,05$ ) e não significativo, respectivamente.

A maioria dos genótipos apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) próximo ou superior a 80%. Um coeficiente de determinação superior a 80% indica baixa dispersão dos dados em relação ao modelo, indicando alta confiabilidade no tipo de resposta ambiental determinado pela regressão (RAIZER e VENCOSKY, 1999).

Os genótipos cultivados nos ambientes DDOS2016-3 e RB2017-2 alcançaram médias de produtividade de grãos superiores à média geral. Assim, esses ambientes podem ser classificados como favoráveis para desenvolvimento dos genótipos avaliados, ou seja, os mesmos aproveitaram as condições ambientais o que favoreceu a expressão dos genes responsáveis pela produtividade de grãos. Assim,

nestes ambientes, os genótipos apresentaram um bom desempenho médio, fato este confirmado pelos índices ambientais positivos (Tabela 9).

Tabela 9. Médias gerais e índices ambientais, segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Ambiente	Média (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice Ambiental
DDOS2015-2	1081,0	-44,99
DDOS2016-3	1456,7	330,70
DDOS2017-2	750,5	-375,43
PP2017-2	886,1	-239,81
RB2017-2	1455,5	329,52
Média Geral	1126,0	

DDOS2015-2: Dourados, ano 2015, 2ª época; DDOS2016-3: Dourados, ano 2016, 3ª época; DDOS2017-2: Dourados, ano 2017, 2ª época; PP2017-2: Ponta Porã, ano 2017, 2ª época; RB2017-2: Rio Brilhante, ano 2017, 2ª época.

Já os ambientes DDOS2015-2, DDOS2017-2 e PP2017-2 apresentaram as médias inferiores à média geral, o que os classifica como ambientes desfavoráveis para o cultivo dos genótipos estudados. Isto pode ter acontecido devido à fatores abióticos como temperatura e distribuição irregular das precipitações durante o ciclo da cultura.

O genótipo ideal de acordo com Eberhart e Russell (1966) teria boa produção de grãos ( $\beta_0$  alto), ampla adaptabilidade ( $\beta_1=1$ ) e estabilidade alta ( $\sigma^2d_i=0$ ). Entretanto, nenhum genótipo atendeu a estes critérios. Os genótipos que mais se aproximaram destes parâmetros foram os genótipos 3 e 9, que apresentaram adaptabilidade a ambientes favoráveis, porém próximo a 1, estabilidade alta, ou seja, desvios de regressão estatisticamente iguais a zero e coeficiente de determinação alto (acima de 89%). Além disto, possuem a sexta e a primeira maior produtividade de grãos respectivamente (1189 e 1312 kg ha<sup>-1</sup>).

#### 5.4 Método de Cruz et al. (1989)

De acordo com a metodologia proposta por Cruz et al. (1989), nenhum genótipo apresentou o desempenho “ideal” preconizado pelo método, ou seja, alta produtividade (alto  $\beta_0$ ) adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i} < 1$ ), responsividade à melhoria ambiental ( $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$ ), alta estabilidade, com desvio da regressão ( $s^2d_i$ ) igual a zero, e  $R^2 > 0,80$  (Tabela 8). Segundo Cruz et al. (2012), desvios de regressão igual estaticamente a zero é indicativo de que determinado genótipo apresenta previsibilidade razoável por apresentar um bom ajuste às retas da regressão.

Portanto, a seleção e recomendação dos genótipos avaliados deverão ser específicas e individuais para cada situação de ambiente favorável e desfavorável.

Deste modo, foram considerados genótipos com potencial de recomendação os que apresentaram produtividade média de grãos superior à média geral dos ambientes ( $\beta_0$ ), nos ambientes desfavoráveis (MD) e nos ambientes favoráveis (MF), bem como adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ( $\beta_1 < 1$ ), responsividade à melhoria ambiental ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ), além do máximo de previsibilidade (estabilidade) com desvios da regressão ( $s^2 d_i$ ) não significativos e/ou  $R^2 > 80\%$ . Podendo-se observar que alguns genótipos apresentaram comportamento satisfatório em uma ou em outra condição, ou seja, nenhum genótipo atendeu com rigor todas os requisitos sugeridos por Cruz et al (1989).

Domingues et al. (2013) trabalhando com feijão-comum e Santos (2015) trabalhando com feijão-caupi também não obtiveram sucesso na identificação de linhagens “ideais” para cultivo utilizando a metodologia proposta por Cruz et al. (1989) nos diversos ambientes avaliados. A dificuldade de identificação de genótipos ideais para o cultivo pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) pode ser atribuída à correlação positiva existente entre o  $\beta_{1i}$  e o  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  (MIRANDA et al., 1998).

A maioria dos genótipos apresentou valores de  $\beta_1 > 1$  e valores de  $\beta_1 + \beta_2 < 1$ , indicando uma maior adaptabilidade a ambientes favoráveis, porém uma baixa responsabilidade à melhoria do ambiente. Corroborando com a metodologia de Eberhart e Russell em relação à estabilidade, a maioria dos genótipos apresentou desvios significativos, demonstrando em geral, um comportamento não previsível.

Para se poder detectar o genótipo mais adaptado, responsivo e estável, tomamos como aceitável um genótipo que possua média geral alta, adaptabilidade o mais próximo de 1 possível, responsividade positiva e desvio de regressão igual a zero. O genótipo com melhor média,  $\beta_1$  próximo a 1,  $\beta_1 + \beta_2 > 1$  e desvio de regressão igual a zero foi o genótipo 9 (Tabela 10).

Tabela 10. Média geral ( $\beta_0$ ), média em ambientes desfavoráveis (MD), média em ambientes favoráveis (MF), parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_{1i}$ ), responsividade ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ), desvio de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), estimados por meio do método de Cruz et al. (1989), para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	$\beta_0$	MF	MD	$\beta_{1i}$	$\beta_{1i} + \beta_{2i}$	Desvio ( $s^2d_i$ )	$R^2$
1	1305,59	1535,88	1152,07	0,93**	188,87**	234938,45**	71,10
2	1155,21	1358,31	1019,81	0,77**	-139,03**	113432,99**	77,47
3	1189,99	1524,57	966,93	1,11**	10,82**	92261,28**	89,41
4	1112,32	1445,23	890,38	0,84**	-59,38**	143115,07**	75,56
5	1133,34	1378,12	970,16	0,78**	-70,30**	14293,20 <sup>ns</sup>	96,48
6	1001,01	1346,45	770,72	1,03**	-214,05**	37356,21**	94,99
7	1120,74	1540,70	840,77	1,25**	-39,78**	2456,77 <sup>ns</sup>	99,75
8	1076,75	1521,69	780,13	1,19**	-205,84**	101365,92**	90,22
9	1312,63	1640,67	1093,93	1,06**	61,25**	21145,40 <sup>ns</sup>	97,09
10	1189,61	1588,14	923,91	1,32**	64,17**	60166,91**	94,83
11	1083,50	1402,76	870,66	0,99 <sup>ns</sup>	-6,81**	22472,60 <sup>ns</sup>	96,51
12	1226,72	1587,64	986,11	1,18**	-306,24**	32437,93 <sup>ns</sup>	96,77
13	1058,29	1384,42	840,88	0,81**	363,05**	136241,66**	80,17
14	1119,82	1473,26	884,20	1,00 <sup>ns</sup>	260,37**	87249,45**	88,81
15	1197,56	1621,56	914,89	1,05**	-90,50**	274833,96**	72,01
16	1192,19	1714,02	844,30	1,39**	-187,13**	156097,44**	88,85
17	989,16	1291,25	787,76	0,80**	-197,55**	51779,88**	89,60
18	1033,73	1451,95	754,91	1,01**	-3,97 <sup>ns</sup>	292029,84**	68,88
19	965,38	1159,85	835,73	0,88**	272,38**	445204,25**	55,65
20	1056,35	1155,77	990,07	0,61**	319,68**	465752,47**	42,13
Média Geral	1126,0						

\*\* , \* , ns: significativo ( $p < 0,01$ ), significativo ( $p < 0,05$ ) e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

### 5.5 Método de Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998)

Os valores de  $P_i$ , segundo a metodologia de Lin e Binns (1988), para todos os ambientes e seu desdobramento para ambientes favoráveis e desfavoráveis conforme metodologia sugerida por Carneiro (1998) estão apresentadas na Tabela 11.

A análise dos resultados obtidos por este método, permitiu identificar cinco genótipos que possuem um valor de  $P_i$  geral baixo e uma média de produtividade maior que a média geral, sendo estes os genótipos 9, 1, 12, 3 e 10, ordenados do menor valor de  $P_i$  ao maior valor.

Para ambientes favoráveis, os genótipos que obtiveram os menores valores de  $P_i$  foram os genótipos 16, 15, 9, 12 e 10, ordenados do menor valor de  $P_i$  ao maior valor. Porém o cultivo dos genótipos 15 e 16 não é recomendado pelo fato deles possuírem valores de  $P_i$  para ambientes desfavoráveis muito alto, o que pode ser um

empecilho quanto à alteração das condições ambientais devido a fatores imprevisíveis, como por exemplo déficit hídrico ou altas temperaturas.

Tabela 11. Estimativas dos parâmetros  $P_i$  gerais, favoráveis e desfavoráveis referentes à produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	Média Geral	$P_i$ (Geral)	$P_i$ (favorável)	$P_i$ (desfavorável)
1	1305,59	18069	40323	3232
2	1155,21	43285	77063	20766
3	1189,99	32078	28816	34253
4	1112,32	87032	47442	113425
5	1133,34	54471	69971	44139
6	1001,01	106899	83142	122737
7	1120,74	58471	23341	81890
8	1076,75	89945	27393	131646
9	1312,63	13582	12130	14550
10	1189,61	35481	19486	46144
11	1083,50	66245	63008	68403
12	1226,72	25584	19061	29932
13	1058,29	119771	108779	127098
14	1119,82	81683	64487	93147
15	1197,56	74885	8559	119102
16	1192,19	65479	1353	108230
17	989,16	121984	106516	132297
18	1033,73	129893	47217	185011
19	965,38	130428	202230	82561
20	1056,35	103785	211615	31898
Média Geral		1126,0		

Para ambientes desfavoráveis, os genótipos de menor valor de  $P_i$  foram os genótipos 1, 9, 2, 12 e 3, ordenados do menor valor para o maior valor do parâmetro. O cultivo do genótipo 2 é recomendado apenas para ambientes desfavoráveis, pois possui valores de  $P_i$  muito altos nos ambientes gerais e favoráveis.

Deste modo a estatística  $P_i$  é eficiente por que classifica os genótipos quanto a adaptabilidade, estabilidade de comportamento e estabilidade fenotípica. Esta última sendo definida pela contribuição de cada genótipo para a interação, a partir da qual podemos destacar os cinco genótipos anteriores.

Cabe destacar o genótipo 9, que apresentou a maior média de produtividade, o menor valor de  $P_i$  geral, terceiro menor valor de  $P_i$  em ambientes favoráveis e segundo menor valor de  $P_i$  em ambientes desfavoráveis, o que o caracteriza como um genótipo com adaptação geral e alta previsibilidade.

## 5.6 Método AMMI-Biplot

O efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes (GxE) foi diagnosticado por meio da análise de componentes principais, decompondo-se a soma de quadrados da interação G x E ( $SQ_{G \times E}$ ) em eixos ou componentes principais da interação (CPI), sendo adotado o critério “posdictivo” para seleção de modelos AMMI mais preditivos e parcimoniosos pelo teste  $F_{Gollob}$  (GOLLOB, 1968). Observou-se que o primeiro eixo (IPCA1) apresentou significância a uma probabilidade de 1% ( $p < 0,01$ ) (Tabela 12). O primeiro eixo explicou 68,62% da  $SQ_{G \times E}$  total, indicando que o modelo mais preditivo foi o AMMI1. De acordo com Oliveira et al. (2003) não se deve proceder de maneira convencional quando se trata de interpretar a  $SQ_{G \times E}$  explicada pelo primeiro eixo, ou seja, buscando-se explicar uma máxima soma de quadrados.

Crossa et al. (1991) comentaram que uma característica marcante dos modelos multivariados é que eles captam grande parte do padrão nos primeiros eixos principais e cada vez menos padrão e mais ruídos nos eixos subsequentes. Segundo Freire Filho et al. (2003), a utilização de eixos remanescentes, que contêm mais ruído do que o padrão pode atrapalhar a interpretação da adaptabilidade e estabilidade via biplot.

Tabela 12. Resultados dos testes de Gollob da análise AMMI da variável produtividade de grãos ( $kg\ ha^{-1}$ ), para 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	% variância	% acumulada	F	Pr>F
Genótipos (G)	19	891793	46936	-	-	1,32	0,1907
Ambientes (E)	4	8368771	2092193	-	-	59,2	0
G x A	76	2682699	35298	-	-	1,91	0,0003
IPCA1	22	1840871	83675	68,62	68,62	4,52	0
IPCA2	20	467339	23366	17,42	86,04	1,26	0,2116
IPCA3	18	225006	12500	8,38	94,42	0,67	0,8302
IPCA4	16	149481	9342	5,58	100	0,50	0,9413

Na representação gráfica da análise AMMI (AMMI-Biplot), genótipos e ambientes estáveis são aqueles cujos pontos situam-se próximos à origem, segundo Duarte e Vencovsky (1999). No biplot AMMI1 o eixo das abcissas representa os efeitos principais (médias de genótipos e ambientes), e o eixo das ordenadas representa os escores dos genótipos e ambientes. Os genótipos que menos contribuíram para a interação G x E e obtiveram resultados acima da média geral de produtividade foram 5, 9 e 12 por estarem mais perto da linha horizontal de referência (Figura 1).

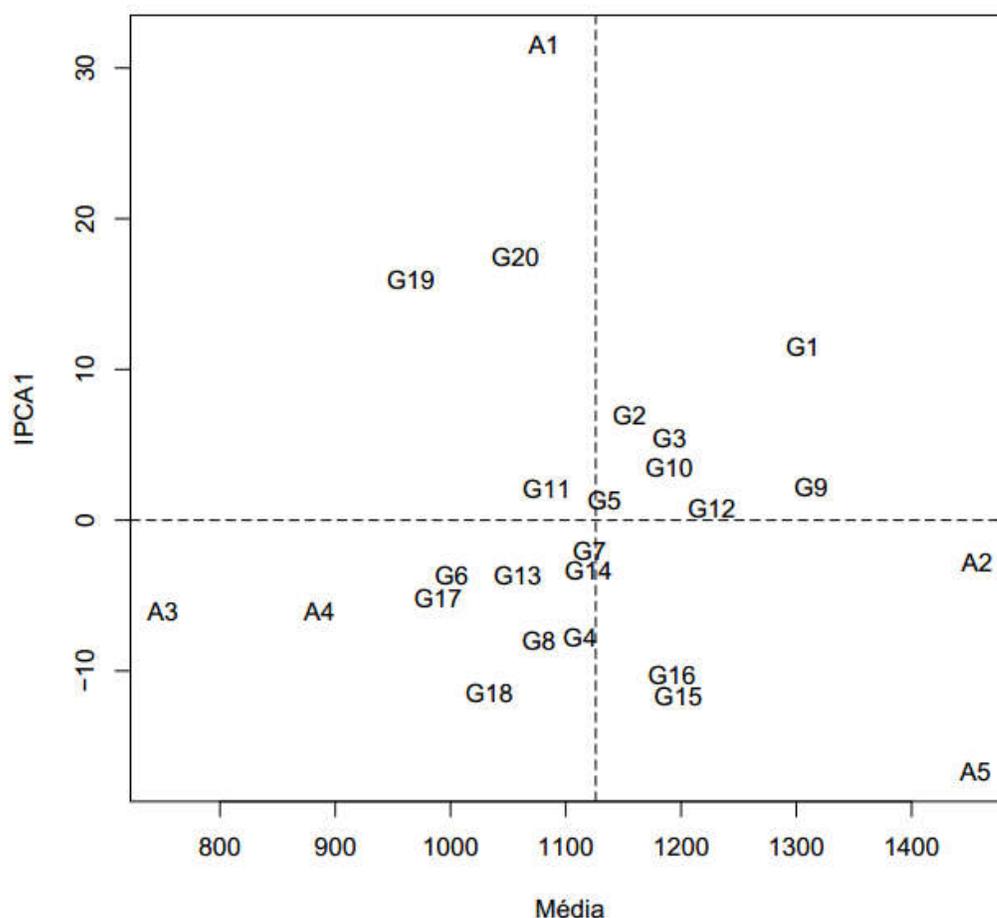


Figura 6. Biplot da análise AMMI1 para produtividade de grãos, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , de 20 genótipos (G) e cinco ambientes (A) no estado de Mato Grosso do Sul.

A estabilidade ambiental tem grande importância, pois informa sobre a confiabilidade no ordenamento dos genótipos em um dado ambiente de teste em relação à classificação para a média dos ambientes testados (OLIVEIRA et al., 2003). Como pode ser verificado na Figura 6, o segundo ambiente (DDOS2016-3) foi o mais estável, enquanto o mais instável foi o primeiro ambiente (DDOS2015-2). O primeiro ambiente proporcionou a terceira maior média de produtividade entre os ambientes enquanto o segundo ambiente proporcionou a maior média de produtividade, entretanto, pela metodologia de Eberhart e Russell (1966), o ambiente DDOS2016-3 foi classificado como favorável, e o ambiente DDOS2015-2 como desfavorável (tabela 9), concordando com a proposta AMMI.

## 5.7 Comparação entre metodologias de adaptabilidade e estabilidade

De acordo com Silva e Duarte (2006), a comparação entre diferentes metodologias é apropriada para alertar sobre a importância da utilização de várias metodologias para caracterizar e classificar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica com o objetivo de selecionar ou recomendar confiavelmente os melhores genótipos para determinados ambientes.

A utilização de métodos com resultados muito semelhantes ou altas correlações pode proporcionar resultados redundantes. Metodologias com baixa correlação podem ser utilizadas em conjunto para a complementação dos resultados (SILVA e DUARTE, 2006).

A classificação de acordo com a produtividade foi praticamente igual aos métodos de Annicchiarico e de Lin e Binns modificado por Carneiro, indicando que estes métodos tendem a classificar como mais estáveis e adaptáveis os genótipos mais produtivos. Essa igualdade na classificação não se repetiu com os métodos de Eberhart e Russell, Cruz et al., e AMMI, o que indica que nestas metodologias os genótipos mais estáveis e adaptáveis não são necessariamente os mais produtivos. Porém quando se compara a classificação de produtividade com as metodologias de Eberhart e Russell, Cruz et al. e AMMI modificados com a média sendo um componente de classificação, estas classificações passam a ser mais similares (Tabela 13).

Na classificação dos genótipos relativos a cada metodologia utilizada neste estudo, foi possível perceber que as metodologias de Annicchiarico (1992) e Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) classificaram de forma similar os genótipos.

Os métodos de Lin e Binns modificado por Carneiro e Annicchiarico apresentaram alta correlação (0,93) (Tabela 14), evidência de que proporcionam informações semelhantes, haja visto que cinco genótipos receberam ordenamento semelhante nos dois métodos (genótipos 4, 8, 9, 11 e 14).

A similaridade entre os métodos de Lin & Binns e Annicchiarico foi relatada por Borges et al. (2000), Silva e Duarte (2006) e Silva Filho et al. (2008), que atribuíram a semelhança ao fato de que esses métodos avaliam a superioridade dos genótipos, tomando-se como referência os melhores genótipos em cada ambiente (Lin e Binns) e a média de cada um dos ambientes (Annicchiarico).

No presente trabalho, além de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), também a metodologia de Annicchiarico (1992) não apresentou correlação com

Eberhart e Russell (1966). Dessa forma, pode se inferir que a utilização de um desses métodos não-paramétricos em conjunto com Eberhart e Russell podem fornecer informações complementares sobre estabilidade fenotípica. Scapim et al. (2000) e Pfann (2010), avaliando genótipos de milho, para Melo et al. (2007) e Pereira et al. (2009) estudando feijoeiro e Silva e Duarte (2006) avaliando genótipos de soja, ta correlação também observaram baixa correlação entre as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).

Tabela 13. Classificações genotípicas segundo as médias de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) de 20 genótipos de feijão avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul., pelas metodologias de Annicchiarico (1992), Eberhart e Russell (1966), Cruz et al e método AMMI utilizadas para caracterização da adaptabilidade e estabilidade

Genótipos	Prod <sup>1</sup>	Anni <sup>2</sup>	E&R <sup>3</sup>	E&R <sub>med</sub> <sup>7</sup>	Cruz <sup>4</sup>	Cruz <sub>med</sub> <sup>7</sup>	L&B <sup>5</sup>	AMMI <sup>6</sup>	AMMI <sub>med</sub> <sup>7</sup>
1	2°	2°	12°	5°	6°	4°	3°	16°	8°
2	8°	10°	16°	11°	19°	16°	9°	12°	10°
3	6°	3°	4°	3°	4°	5°	6°	10°	7°
4	12°	13°	11°	12°	15°	14°	13°	13°	13°
5	9°	5°	7°	10°	9°	8°	10°	1°	3°
6	18°	19°	3°	9°	8°	13°	18°	7°	14°
7	10°	6°	14°	13°	7°	7°	7°	4°	5°
8	14°	14°	15°	15°	17°	18°	14°	14°	17°
9	1°	1°	2°	1°	2°	1°	1°	3°	1°
10	7°	7°	6°	8°	12°	6°	4°	6°	4°
11	13°	11°	1°	2°	3°	3°	11°	2°	6°
12	3°	4°	9°	4°	13°	9°	2°	5°	2°
13	15°	18°	17°	18°	5°	11°	19°	11°	15°
14	11°	12°	5°	6°	1°	2°	12°	9°	11°
15	4°	9°	13°	7°	14°	10°	8°	17°	12°
16	5°	8°	19°	14°	20°	17°	5°	15°	9°
17	19°	17°	8°	17°	16°	19°	20°	8°	16°
18	17°	15°	10°	16°	10°	12°	16°	18°	18°
19	20°	20°	18°	19°	11°	15°	17°	19°	20°
20	16°	16°	20°	20°	18°	20°	15°	20°	19°

<sup>1</sup>Classificação dos genótipos de acordo com a produtividade de grãos; <sup>2</sup> Classificação de acordo com a metodologia de Annicchiarico (1992); <sup>3</sup> Classificação de acordo com a metodologia de Eberhart e Russell (1966); <sup>4</sup> Classificação de acordo com a metodologia de Cruz et al. (1989); <sup>5</sup> Classificação de acordo com a metodologia de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998); <sup>6</sup> Classificação de acordo com a metodologia do Método AMMI; <sup>7</sup>Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989) e Método AMMI utilizando a média como um dos parâmetros.

Houve certa concordância entre as metodologias que utilizam regressão linear, ou seja Eberhart e Russell (1966) e Cruz et al. (1989). A correlação entre os dois

métodos pode ser considerada média (0,64), o que pode ser explicado pelas semelhanças no cálculo dos parâmetros de adaptabilidade e desvio de regressão.

Para a metodologia AMMI houve correlação significativa apenas com as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e Cruz et al. (1989). Silva e Duarte (2006) também não observaram significância da correlação entre o método AMMI e a metodologia de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), indicando a possibilidade de utilização das duas metodologias em conjunto.

Em geral, a utilização da metodologia de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), mostra-se mais adequada para utilização em programas de melhoramento, em virtude da facilidade de uso e de interpretação. Tendo isto em mente, recomenda-se sua utilização em conjunto com as metodologias de Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989) ou com o método AMMI, visto que as quatro metodologias predizeram com certa semelhança os genótipos mais adaptáveis e estáveis. Ademais, a correlação entre Lin e Binns com essas três metodologias não foi significativa, indicando que estes métodos não forneceram informações redundantes.

Tabela 14. Estimativas do coeficiente de correlação de Spearman para cada par de métodos e produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), avaliados em cinco ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Metodologias	Anni <sup>1</sup>	E&R <sup>2</sup>	E&R <sub>med</sub> <sup>6</sup>	Cruz <sup>3</sup>	Cruz <sub>med</sub> <sup>6</sup>	L&B <sup>4</sup>	AMMI <sup>5</sup>	AMMI <sub>med</sub> <sup>6</sup>
Produtividade	0,92**	0,16 <sup>ns</sup>	0,70**	0,12 <sup>ns</sup>	0,54*	0,94**	0,24 <sup>ns</sup>	0,78**
Anni		0,31 <sup>ns</sup>	0,72**	0,25 <sup>ns</sup>	0,63**	0,93**	0,41 <sup>ns</sup>	0,87**
E&R			0,74**	0,64**	0,67**	0,20 <sup>ns</sup>	0,70**	0,51*
E&R <sub>med</sub>				0,54*	0,81**	0,70**	0,55*	0,77**
Cruz					0,85**	0,13 <sup>ns</sup>	0,47*	0,36 <sup>ns</sup>
Cruz <sub>med</sub>						0,56**	0,55*	0,70**
L&B							0,29 <sup>ns</sup>	0,83**
AMMI								0,75**

<sup>1</sup>Annicchiarico (1992); <sup>2</sup>Eberhart e Russell (1966); <sup>3</sup>Cruz et al. (1989); <sup>4</sup>Lin e Binns modificado por Carneiro (1998); <sup>5</sup>Método AMMI; <sup>6</sup>Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989) e Método AMMI utilizando a média como um dos parâmetros; \*\*, \* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Quando foi acrescentada a média de produtividade aos métodos de Eberhart e Russel, Cruz et al., e AMMI, foi observado um aumento no grau de significância das correlações destes métodos com a metodologia de Lin e Binns. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (2009) e Nunes (2012). A utilização da média de produtividade como componente para seleção de genótipos mais produtivos, estáveis e adaptáveis é de grande auxílio, entretanto, deve-se ter cautela ao utilizar estas alterações

nas metodologias com a metodologia de Lin e Binns, devido ao aumento da correlação entre os métodos, indicando possível redundância nos resultados.

No intuito de se obter a estimativa dos genótipos mais produtivos, estáveis e adaptáveis, foi realizada a média de classificação de todas as metodologias, incluindo as variações utilizando da média de produtividade. Os genótipos que foram classificados entre os três primeiros de acordo com essa proposta foram os genótipos 9, 3 e 12, ocupando a primeira, segunda e terceira colocação respectivamente. Na classificação de produtividade, estes genótipos ficaram em primeiro, sexto e segundo mais produtivos, respectivamente. O genótipo 9 além de ser o mais produtivo, ficou também entre as três primeiras colocações em todas metodologias e suas variações.

## 6. CONCLUSÕES

A metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) não deve ser utilizada simultaneamente com a de Annicchiarico (1992). Porém, pode ser utilizada em conjunto com qualquer outra metodologia.

Os genótipos 3, 9 e 12 foram os que apresentaram os melhores parâmetros de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos utilizados.

O genótipo 9 se destacou como sendo o mais produtivo, e com os melhores parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, podendo ser indicado para cultivo nos ambientes avaliados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, H. **Cultivo do feijoeiro comum: Características da cultura**. Disponível em: < <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 21 de novembro de 2017.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v.4, n.5, p.503-508, 1964.
- ALLIPRANDINI, L.F. **Estudo dos efeitos ambientais, estabilidade, adaptabilidade e ganho genético em linhagens de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Estado do Paraná. Londrina, 1992. 122p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, 1992.**
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.4, p.269-278, 1992.
- BARROS, H. B. et al. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. **Scientia Agraria**, v. 09, n. 03, p. 299-309, 2008.
- BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.4, p. 195-203, 2007.
- BECKER, H.C. Correlation among some statistical, measures of phenotypic stability. **Euphytica**, v.30, n.3, p.835-840, 1981.
- BECKER, H.C., LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, 101: 1-23, 1988.
- BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 4. ed. Editora UFV, 2005. v. 1. 525 p.
- BORGES, L.C.; FERREIRA, D.F.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v.47, p.89-102, 2000.
- CARGNELUTTI FILHO, A. Interferência dos métodos de correção da produtividade de milho nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 8, p. 753-760, 2005.
- CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 155f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa.
- CELLA, A. J. S. **Métodos uni e multivariados para estudo de adaptabilidade e estabilidade em soja**. 2012. 59f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARS-INGLIS, M. C. C. **Recursos genéticos e melhoramento Planta**. Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CONAB – **Centro Nacional de Abastecimento**, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 25 de Novembro de 2017.

CROSSA, J. Statistical analysis of multilocal trials. **Advances in Agronomy**, v.44, p. 55-85, 1990.

CROSSA, J.; FOX, P.N.; PFEIFER, W.H.; RAJARAM, S. GAUCH, H.G. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical Applied of Genetics**. v. 81, p. 27-37, 1991.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D., TORRES, R. A. A., VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. UFV, 2012. 514 p.

DIDONET, A. D.; DA SILVA, S. C. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2004.

DOMINGUES, L. S.; RIBEIRO, N. D.; MINETTO, C.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.3, p.1065-1076, 2013.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. 1999. 60 p. Monografia (Série Monografias) – Sociedade Brasileira de Genética.

EASTON, H. S.; CLEMENTS, R. J. The interaction of wheat genotypes with a specific factor of the environment. **Journal of Agricultural Science**, v.80, p. 43-52, 1973.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, n.1, p.36-40, 1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

FACHINI, C.; BARROS, V. L. N. P. de.; RAMOS JUNIOR, E. U.; ITO, M. A.; CASTRO, J. L. de. Importância do feijão no agronegócio brasileiro. **Anais. Dia de campo de feijão**. 22/11/2006, p.1-7, 2006.

FERREIRA, B. H., PEREIRA, H. S., MELO, L. C., MAGALDI, M. D. S., WENDLAND, A., DA COSTA, J. G. C., ... & CARGNIN, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum com grãos tipo carioca em Goiás e Distrito Federal. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil.[Búzios]: SBMP, 2011.

FERREIRA, D. F.; DEMÉRITO, C. G. B.; MANLY, B. R. J.; MACHADO, A. A.; VENCOVSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 373-388, 2006.

- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, n.5, p.742-754, 1963.
- FOX, P. N.; CROSSA, J.; ROMAGOSA, I. Multienvironmental testing and genotype x environment interaction. In: KENPTON, R. A.; FOX, P. N. **Statistical methods for plant variety evaluation**. Chapman & Hall, 1997. p. 117-138.
- FRANCESCHI, L. D., BENIN, G., MARCHIORO, V. S., MARTIN, T. N., SILVA, R. R., & SILVA, C. L. D. Methods for analysis of adaptability and stability of wheat cultivars for Paraná State, Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 797-805, 2010.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de caupi enramador de tegumento mulato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 5, p. 591-598, 2003.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.24-30, jan-fev, 2005.
- GABRIEL, K. R. The biplot-graphical display of matrices with applications to principal components analysis. **Biometrika** [SI], v.58, p. 453-467, 1971.
- GAUCH, H. C. **Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs**: Elsevier Science, 1992. 278 p.
- GAUCH, H. C.; ZOBEL, R. W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yields trials. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.35, n.3, p. 905-912, 1988.
- GEPTS, P.; OSBORN, T. C.; RASHKA, K.; BLISS, F. A. Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple centers of domestication. **Economic botany**, v. 40, n. 4, p. 451-468, 1986.
- GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analysis and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, v. 33, n. 1, p. 73-145, 1968.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa [online]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 21 de Novembro de 2017.
- LAVORANTI, O. J. **Modelagem AMMI para estudos de interação em modelos estatísticos de efeitos fixos**: Embrapa Florestas, 2004. 7 p. (Comunicado Técnico, 124).
- LILLIEFORS, H. W. On the kolmogorov-smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, American Statistical Association Stable, v. 62, n. 318, p. 399 – 402, 1967.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 3, p. 425-430, 1988.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis: Where do we stand? **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.26, p. 894-900, 1986.
- LÚCIO, A. D.; STORCK, LINDOLFO; BANZATTO, DAVID ARIOVALDO. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 5, n. 1, p. 99-103, 1999.

- MARIOTTI, J. A., OYARZABAL, E. S., OSA, J. M., BULACIO, A. N. R., & ALMADA, G. H. Analisis de estabilidade y adaptabilidade de genótipos de caña de azucar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, v. 13, n. 1/4, p. 405-412, jan. 1976.
- MAURO, A. O. di; CURCIOLI, V. B.; NÓBREGA, J. C. M.; BANZATO, D. A.; SEDIYAMA, T. Correlação entre medidas paramétricas e não paramétricas de estabilidade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.4, p. 687-696, 2000.
- MELO, L. C., MELO, P. G. S., DE FARIA, L. C., DIAZ, J. L. C., DEL PELOSO, M. J., RAVA, C. A., & DA COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007.
- MIRANDA, G. C.; VIEIRA, C.; CRUZ, C. D.; ARAUJO, G. A. A. Comparação de métodos de avaliação da adaptabilidade e da estabilidade de cultivares de feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.20, n.3, p.249-255, 1998.
- MIRANDA, G. V. **Comparação de métodos de avaliação da adaptabilidade e estabilidade de comportamento de cultivares: exemplo com a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)** 1993. 120 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.
- MORAIS, L.K. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul**. 2005. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)- Universidade Federal de Goiás.
- NUNES, G.H.S.; ELIAS, H.T.; HEMP, S.; SOUZA, M.A. Estabilidade de cultivares de feijão-comum no Estado de Santa Catarina. **Revista Ceres**, v.46, p.625-633, 1999.
- NUNES, H.F. **Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho em cultivos de sequeiro e irrigado**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Piauí.
- OLIVEIRA, A. D. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. D. J. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 86-95, 2005.
- OLIVEIRA, A. M. C. **Estratégias de seleção visando melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- OLIVEIRA, A.B.; DUARTE, J.B.; PINHEIRO, J.B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.357-364, 2003.
- OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p. 257-265, fev. 2006.
- PADOVAN, M. P., LEONEL, L. A. K., CESAR, M. N. Z., OTSUBO, A. A., DE OLIVEIRA, F. L., MARIANI, M. A., & CAVICHIONI, I. Potencial da cultura do feijoeiro, submetido a manejo orgânico, na região de Dourados-MS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2007.
- PEREIRA, H. S., ALMEIDA, V. D., MELO, L. C., WENDLAND, A., FARIA, L. D., DEL PELOSO, M. J., & MAGALDI, M. D. S. Influência do ambiente em cultivares de feijoeiro-comum em cerrado com baixa altitude. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 165-172, 2012.

- PEREIRA, H. S., MELO, L. C., DE FARIA, L. C., CABRERA DIAZ, J. L., DEL PELOSO, M. J., & WENDLAND, A. Environmental stratification in Paraná and Santa Catarina to evaluate common bean genotypes. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.
- PEREIRA, S. H.; MELO, L. C.; PELOSO, M. J. D.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C. da; DIAZ, J. L. C. da; RAVA, C. A. WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.4, p.374-383, abr. 2009.
- PFANN, A. Z. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho na região Centro-Sul do Paraná na safra 2008/2009**. 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed, Nobel, 2009. 451p.
- PONTES JÚNIOR, V. D. A., MELO, L. C., PEREIRA, H. S., PELOSO, M. J. D., FARIA, L. C. D., WENDLAND, A., & FERREIRA, S. B. Productive potential and interaction of elite bean lines with environments in the Central Cerrado of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 8-16, 2012.
- RAIZER, A. J.; VENCOVSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p.2241-2246, 1999.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética Quantitativa em plantas autógomas: aplicação ao melhoramento do feijoeiro**. UFG, 1993, 271 p.
- RAMALHO, M.A.P. Melhoramento do feijoeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTA. 1997. Lavras-MG. **Anais...** UFLA, 1997. p. 169-196.
- RIBEIRO, N. D., DE SOUZA, J. F., ANTUNES, I. F., BEVILAQUA, G. A. P., & MAZIERO, S. M. Estabilidade de produção de linhagens-elite de feijão em diferentes ambientes no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v.16, n.1 e 2, p.39-44, 2010.
- ROCHA, M. de M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 173 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SANTOS, A.D. **Comparação de métodos para descrição de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi**. / Adriano dos Santos. – UFGD, 2015. 71f.
- SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, V. R.; BRACCINI, A. d. L.; CRUZ, C. D.; ANDRADE, C. A. de B.; VIDIGAL, M. C. G. Yield stability (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart e Russell, Lin and Binns and Huehn models. **Genética e Biologia Molecular**, v.23, n.2, p. 387-393, 2000.
- SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D.; ZANUNCIO, J. C.; PEREIRA, P. R. G.; FERRÃO, R. G. Avaliação de métodos de correção do estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 8, p. 1011-1018, 2001.
- SHELBOURNE, C. Genotype environment interaction: its study and its implications in Forest tree improvement. In: **IUFRO GENETIC SABRAO JOINT SYMPOSIA**. 28p. 1972.

SILVA FILHO, J. L., MORELLO, C. L., FARIAS, F. J. C., LAMAS, F. M., PEDROSA, M. B., & RIBEIRO, J. L. Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.349-355, 2008.

SILVA, G. A. P., CHIORATO, A. F., GONÇALVES, J. G. R., PERINA, E. F., & CARBONELL, S. A. M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, 2013.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.23-30, 2006.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. McGraw-Hill, 1980. 633 p.

TAVARES, T. C. O. **Adaptabilidade, estabilidade e divergência genética entre cultivares de feijão comum no sul do estado do Tocantins**. 2015. 78f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins.

VENCOVSKY, R.; TORRES, R.A.A. Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1988. **Anais**. EMBRAPA, CNPMS, 1988. p.294-300. 1988.

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

VERONESI, J. A. **Comparação de métodos e avaliação de adaptabilidade e estabilidade de comportamento de vinte genótipos de milho (Zea mays L.) em dez ambientes do Estado de Minas Gerais**. 1995. 90 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.

WANDERLEY, F. M., PEREIRA, H. S., SILVA, F. D. C., MELO, L., DE FARIA, L. C., DE SOUZA, T. L. P. O., ... & DE SOUZA, N. P. Interação entre linhagens de feijoeiro-comum carioca e ambientes, com relação a características de qualidade comercial dos grãos. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 7., 2013. Coletânea dos resumos apresentados. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013.

YOKOYAMA, L.P. **Cultivo de Feijoeiro Comum. Importância econômica**. Disponível em: <[www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br](http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br)> Acesso em: 21 de novembro de 2017.

YUE, G.L.; ROOZEBOOM, K.L.; SCHAPAUGH Jr., W.T.; LIANG, G.H. Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. **Plant Breeding**, v.116, n.3, p.271-275, 1997.

ZOBEL, R.W.; MADISON, J.W.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, p.388-393, 1988.

## 8. ANEXO

Anexo 1 - Análise de solo nos municípios onde foram instalados os experimentos.

Rio Brilhante		Ponta Porã		Dourados	
Analíticos	Valor	Analíticos	Valor	Analíticos	Valor
pH (água 1:2,5)	5,4	pH (água 1:2,5)	5,3	pH (água 1:2,5)	5,3
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	3,5	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	4,8	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	7,63
K (mg/dm <sup>3</sup> )	0,4	K (mg/dm <sup>3</sup> )	0,5	K (mg/dm <sup>3</sup> )	0,3
Mg ((cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,0	Mg ((cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,5	Mg ((cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,3
Al+H (cmolc/dm <sup>3</sup> )	3,1	Al+H (cmolc/dm <sup>3</sup> )	3,4	Al+H (cmolc/dm <sup>3</sup> )	4,96
CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	10,1	CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	10,1	CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	15,39
Valor V (%) = V1 m%	66,8% 0,4	Valor V (%) = V1 m%	66,8% 0,4%	Valor V (%) = V1 m%	67,77% 0,4