

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DESCRIÇÃO DE
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA
DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**

ADRIANO DOS SANTOS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2014**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DESCRIÇÃO DE
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE
GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**

ADRIANO DOS SANTOS

ORIENTADOR Dr. GESSÍ CECCON
CO-ORIENTADORA Prof^ª. Dr^ª. LIVIA MARIA CHAMMA DAVIDE
CO-ORIENTADOR Prof. Dr. MANOEL CARLOS GONÇALVES

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
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S237c	<p>Santos, Adriano dos.</p> <p>Comparação de métodos para descrição de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi. / Adriano dos Santos. – Dourados, MS : UFGD, 2015. 71f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Gessi Ceccon. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Produtividade de grãos. 2. Interação genótipo x ambiente. 3. <i>Vigna unguiculata</i>. I. Título.</p> <p>CDD – 581.15</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DESCRIÇÃO DE
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE
FEIJÃO-CAUPI**

por

Adriano dos Santos

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

Aprovado em: 19/02/2014



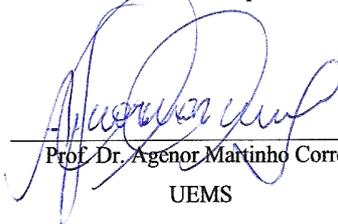
Dr. Gessi Ceccon

Orientador - Embrapa/UFGD



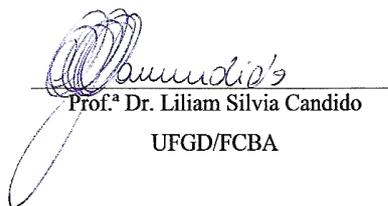
Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves

Co-orientador UFGD/FCA



Prof. Dr. Agenor Martinho Correa

UEMS



Prof.ª Dr. Liliam Silvia Candido

UFGD/FCBA

Dedico

Ao meu pai Lorival Ferreira dos Santos e aos meus avôs Maria Aparecida e Manoel
Teixeira
(*In memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força, coragem e saúde concedidas a mim.

Aos meus, mais que amados pais, Marlene e Lorival, pelo carinho, compreensão, auxílio e amizade, por sempre terem confiado e acreditado no meu potencial, pelo amor incondicional e pelos sacrifícios ao longo dos anos só para que eu pudesse ser feliz e realizado, por sempre ter me ensinado as coisas certas, por mais que eu não tenha aprendido todas, por ser minha base, minha estrutura.

Às minhas queridas irmãs, Sônia, Ana Paula e Fernanda e a toda minha família que sempre me apoiaram e incentivaram na caminhada.

À toda minha família, tios, tias, primos e sobrinhos que sempre me apoiaram, estiveram ao meu lado de uma forma ou de outra, meu muito obrigado.

Ao meu Orientador Dr. Gessí Ceccon, pela paciência e compreensão inesgotáveis, nesses dois anos, pelos constantes ensinamentos, pelo apoio nos momentos de dificuldades que ficarão marcados em toda minha vida, seja com conselhos valiosos ou de outra forma e pelo exemplo humano e profissional, por ter sido mais que um orientador e sim como membro da família, e isso não é considerado apenas por mim e sim por toda minha família. Gessí, mesmo que a palavra obrigado signifique muito ela não expressa o quanto sou grato a você. Minha eterna gratidão.

À Professora Dr^a Livia Maria Chamma Davide e Professor Dr. Manoel Carlos Gonçalves pela co-orientação, pelas críticas construtivas, incentivos e amizade.

Ao Professor Dr. Agenor Martinho Correa pela participação na banca e principalmente pela amizade construída durante minha graduação.

À Professora Dr^a Liliam Silvia Candido pelo apoio, amizade e participação na banca.

Aos meus amigos Valdecir, Juslei, Antônio Neto Neto, Marno, Priscila e Leonardo pela ajuda na condução dos experimentos, pelo apoio, incentivo e amizade.

À Universidade Federal da Grande Dourados e a todos Professores da Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Aspectos gerais sobre o feijão-caupi	17
2.2. Interação genótipos x ambientes (G x E).....	18
2.3. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica	21
2.4. Métodos que avaliam a adaptabilidade e a estabilidade	22
2.4.1. Método proposto por Eberhart e Russel (1966)	22
2.4.2. Método proposto por Cruz, Torres e Venkovsky (1989)	24
2.4.3. Método proposto por Lin e Binns (1988).....	25
2.4.4. Método proposto Annicchiarico (1992).....	26
2.4.5. Método AMMI.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1. Caracterização dos ambientes experimentais	29
3.2. Instalação, acompanhamento dos ensaios e germoplasma utilizado	30
3.3. Análises Estatísticas.....	31
3.3.1. Análise individuais e análise conjunta	31
3.3.2. Análises de adaptabilidade e estabilidade	33
3.3.2.1. Método proposto por Eberhart e Russell (1966)	33
3.3.2.2. Método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989).....	35
3.3.2.3. Método proposto por Lins e Binns (1988)	36
3.3.2.4. Método proposto por Annicchiarico (1992).....	37
3.3.2.5. Método AMMI	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Método de Eberhart e Russell, (1966)	44
4.2. Método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989).....	48
4.3. Método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).....	50

4.4. Método de Annicchiarico (1992).....	54
4.5. Método AMMI.....	56
4.6. Comparações entre os métodos utilizados.....	60
5. CONCLUSÕES.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE QUADROS

	PÁGINA
QUADRO 1. Relação dos genótipos de feijão-caupi de porte ereto e semi-ereto utilizados no experimento.....	28
QUADRO 2. Resumo da análise de variância individual, referente à produtividade de grãos (kg ha ⁻¹), de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	39
QUADRO 3. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul	40
QUADRO 4. Análise de variância conjunta geral para produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em três locais e anos agrícolas no estado de Mato Grosso do Sul.....	41
QUADRO 5. Resumo da análise de variância conjunta geral segundo metodologia de Eberhart e Russell, referente à produtividade de grãos (kg ha ⁻¹), de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	42
QUADRO 6. Médias gerais ($\hat{\beta}_{0i}$), estimativas dos coeficientes de regressão ($\hat{\beta}_{1i}$), desvios de regressão ($\hat{\sigma}_{di}^2$) e coeficientes de determinação (R^2), segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul	44
QUADRO 7. Médias gerais e índices ambientais, segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul	46
QUADRO 8. Média geral (β_0), média em ambientes desfavoráveis (MD), média em ambientes favoráveis (MF), parâmetro de adaptabilidade (β_{1i}), responsividade ($\beta_1 + \beta_2$),	

desvio de regressão (σ_{δ}^2) e coeficiente de determinação (R^2) referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}), estimados por meio do método de Cruz et al. (1989), em 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	47
QUADRO 9. Estimativas dos parâmetros Pi gerais, favoráveis e desfavoráveis referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	49
QUADRO 10. Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo metodologia de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	51
QUADRO 11. Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo metodologia de Annicchiarico (1992) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	52
QUADRO 12. Médias gerais, índices ambientais e classes ambientais, segundo metodologia de Annicchiarico (1992) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	53
QUADRO 13. Resultados dos testes de Gollob da análise AMMI da variável produtividades de grãos (kg ha^{-1}), para 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	54
QUADRO 14. Classificações genótípicas segundo a produtividade de grãos e as metodologias utilizadas na descrição de adaptabilidade e estabilidade dos 20 genótipos de feijão-caupi em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	59

QUADRO 15. Coeficientes de correlação de Spearman entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelos métodos de Eberhart e Russell (β_i e S^2d_i), Annicchiarico (ω_i) de Cruz, Torres e Vencovsky (β_{1i} , β_{1+} β_2 e R^2), Lin e Binns (P_i) e AMMI, referentes ao caráter produtividade média de grãos ($\bar{Y}_{..}$), de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul60

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1. Chuvas decendiais registradas durante a condução dos experimentos (janeiro a julho), em Aquidauana, Chapadão do Sul e Dourados, de 2010 a 2012.....	27
FIGURA 2. Biplot da análise AMMI2 para produtividade de grãos em kg ha ⁻¹ , de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	55
FIGURA 3. Biplot da análise AMMI1 para produtividade de grãos em kg ha ⁻¹ , de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.....	57

DOS SANTOS, A. **Comparação de métodos para descrição de Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi**. 2014. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi, em oito ambientes, no estado de Mato Grosso do Sul, por meio dos métodos propostos por Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Annicchiarico (1992), Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e AMMI e correlacionar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade das metodologias utilizadas. Os experimentos foram desenvolvidos no período de fevereiro a julho de 2010, 2011 e 2012, em Aquidauana e Dourados e, Chapadão do Sul no período de 2010 e 2011, sendo que cada ambiente foi caracterizado pela combinação de local x ano de cultivo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 4 repetições e 20 tratamentos (genótipos de feijão-caupi). As metodologias foram similares quanto ao ordenamento dos genótipos, entretanto diferiram quanto a explicação, precisão e informação sobre a interação genótipos por ambientes. O método AMMI, permite identificar com maior precisão genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade e ambientes mais adequados para a seleção simultânea desses dois fatores. Os genótipos que reuniram adaptabilidade e estabilidade produtiva, suficiente para recomendação para o estado de Mato Grosso do Sul, foram: MNC03-737F-5-1, BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC02-684F-5-6, MNC03-725F-3, MNC02-682F-2-6, BRS-Cauame, BRS-Itaim e MNC03-737F-5-11. Os métodos de Eberhart e Russell, Lin e Binns e AMMI podem ser utilizados de forma complementar para melhor predizer o comportamento dos genótipos.

Palavras-chave: Interação genótipos x ambientes, produtividade de grãos, *Vigna unguiculata*.

DOS SANTOS, A. **Comparison of methods for describing Adaptability and phenotypic stability of genotypes of cowpea.** 2014. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the adaptability and phenotypic stability of cowpea genotypes in different environments in the state of Mato Grosso do Sul, by means of methods proposed by Eberhart and Russell (1966), Lin and Binns (1988) modified Carneiro (1998), Annicchiarico (1992), Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and AMMI and correlate the parameters of adaptability and stability of the methodologies used. The experiments were carried out from February to July 2010, 2011 and 2012 in Aquidauana, Chapadão do Sul and Dourados, totaling 8 environments, each environment was characterized by the combination of location x year of cultivation. The experimental design was randomized with 4 replications and 20 treatments (genotypes of cowpea) blocks. The methods are similar as to the ordering of genotypes, however differ in explanation and accurate information about the genotype by environment interaction. The AMMI method allows more accurately identify superior genotypes for adaptability and stability and more suitable environments for the simultaneous selection of these two factors. Genotypes adaptability and gathered enough to recommend to the state of Mato Grosso do Sul, yield stability were MNC03-737F-5-1, BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC02-684F-5-6, MNC03-725F-3, MNC02-682F-2-6, BRS-Cauame, BRS-Itaim and MNC03-737F-5-11. Eberhart and Russell, Lin and Binns and AMMI can be used in a complementary way to better predict the behavior of genotypes.

Key-Word: Genotype x environment interaction, grain yield, *Vigna unguiculata*.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma espécie de grande valor socioeconômico, pois possui ampla variabilidade genética, ampla capacidade de adaptação, alto potencial produtivo e excelente valor nutritivo (FREIRE FILHO et al., 2011). Em virtude dessa importância o feijão caupi foi uma das poucas espécies escolhidas pela National Aeronautical and Space Administration – (NASA) para ser cultivada e estudada nas estações espaciais (EHLERS e HALL, 1997).

Nos últimos anos, a cultura vem despertando o interesse de agricultores que praticam agricultura empresarial, em que a lavoura é totalmente mecanizada. Isto tem levado a uma procura por cultivares com arquitetura de planta moderna, porte mais compacto e mais ereto (FREIRE FILHO et al., 2006).

No Brasil existem cultivares com boa aceitação comercial, entretanto, não há programa de melhoramento objetivando a avaliação e recomendação em ambientes específicos como nas áreas do Centro-Oeste, onde a cultura encontra-se em franca expansão e a maior parte das lavouras é totalmente mecanizada (OLIVEIRA et al., 2002), e a escolha correta da cultivar para um determinado ambiente e sistema de produção é de grande importância para a obtenção de boa produtividade de grãos.

Na fase final de lançamento de cultivares de feijão-caupi, é de extrema importância o conhecimento da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, a fim de amenizar os efeitos da interação genótipos x ambientes e facilitar a recomendação de cultivares (ROCHA et al., 2007).

A interação de genótipos (G) com ambientes (E) pode ser definida como o efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos. A maioria dos caracteres de importância agrônômica e econômica estudados em um programa de melhoramento genético é de natureza quantitativa, de herança poligênica, ou seja, são caracteres de variação contínua cuja expressão é altamente influenciada pelo ambiente, evidenciando assim a importância do estudo da interação G x E nos programas de melhoramento (CARBONELL et al., 2007).

Para avaliar e quantificar os efeitos da interação nas características agrônômicas desejáveis da planta e posterior recomendação de genótipos para cultivo são realizados experimentos em diferentes locais. Com isso o estudo da adaptabilidade e estabilidade é uma maneira de avaliar o fenômeno da interação G x E, pois o interesse maior é a obtenção de genótipos que possuam um bom comportamento em diferentes

condições ambientais, e não em apenas um ambiente em específico (HOOGERHEIDE et al., 2007), ou seja, genótipos de ampla adaptação.

Uma das alternativas para diminuir os efeitos da interação G x E é a identificação de genótipos com maior estabilidade nos ambientes de cultivo (MORAIS, 2005). A detecção da interação significativa possibilita a discriminação dos genótipos quanto à análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, em genótipos de adaptação geral e genótipos adaptados a ambientes específicos.

Existem diversas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade destinadas à avaliação de um grupo de genótipos numa série de ambientes (CRUZ et al., 2006). Entre os principais métodos estão os que se baseiam em análise de variância, regressão linear, regressão não-linear, 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.

Neste contexto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi, em oito ambientes, no estado de Mato Grosso do Sul, correlacionar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade das metodologias utilizadas e identificar genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade nos ambientes avaliados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais sobre o feijão-caupi

O feijão-caupi possui vários nomes populares dependendo da região. É mais conhecido como feijão-de-corda e feijão macássa ou macáçar, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-de-estrada e feijão-da-colônia, na região Norte e na região Sul, feijão miúdo. Ainda podem-se encontrar denominações como feijão-catador e feijão-gerutuba, em algumas regiões do estado da Bahia e norte de Minas Gerais, assim como, feijão fradinho nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2011)

Segundo Steele e Mehra (1980) e Ng e Maréchal (1985), o Oeste africano, mais precisamente a Nigéria, deve ser o centro primário de diversidade do feijão-caupi, no entanto, Padulosi e Ng (1997) afirmam que provavelmente a região de Transvaal, na República da África do Sul, é a região de especiação do *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (FREIRE FILHO et al., 2005).

A planta de feijão-caupi é uma espécie herbácea, autógama, anual, versátil e bem adaptada entre as espécies vegetais cultivadas, apresentando-se como um importante alimento e componente fundamental dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos, sendo cultivada em parte da Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e nas Américas (SINGH et al., 2002). É uma excelente fonte de proteínas e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura e não conter colesterol (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). É também consumido na forma de grãos secos e grãos verdes (saladas) e também na alimentação animal como feno ou ramos verdes.

A cultura do feijão-caupi é adaptada a altas temperaturas (20-35°C) e desenvolve-se bem em uma ampla gama de texturas do solo, indo de areias a argilas pesadas, se bem drenados, sendo melhor o seu crescimento em solos ligeiramente ácidos a ligeiramente alcalinos e tem pouca tolerância à salinidade, mas apresenta certa tolerância a solos ricos em alumínio (VALENZUELA e SMITH, 2002).

Como a maioria das leguminosas, não suporta condições de alagamento ou inundação, e uma vez estabelecida, é bastante tolerante a seca. Muitas vezes, é cultivada em sistema de sequeiro, em regiões que recebem pelo menos 600 mm de precipitação anual, ou menos, se obtiver alguma irrigação mínima disponível. Pode ser cultivado

durante o ano todo, em altitudes que variam do nível do mar até 300 metros. Em altitudes mais elevadas o cultivo deverá ser limitado aos meses mais quentes, primavera e verão (VALENZUELA e SMITH, 2002).

No Brasil, a cultura do feijão-caupi torna-se de grande importância socioeconômica, pois é fonte geradora de emprego e renda para as famílias das regiões Norte e Nordeste. Constitui-se em um dos principais componentes da dieta alimentar nas zonas urbanas e especialmente nas rurais, destacando-se pelo elevado teor proteico. É uma das principais cultura de subsistência, razão do seu valor estratégico e atual (EHLERS e HALL, 1997; FREIRE FILHO et al., 2005).

Segundo Frota e Pereira (2000), devido suas características de ciclo curto e tolerância a estresse hídrico maior que de muitas outras culturas, comumente cultivadas na região Nordeste do Brasil, o feijão-caupi ocupa especial relevância no suprimento alimentar e na composição da renda, em virtude das menores ocorrências de perdas observadas e da ocupação de mão-de-obra em períodos sazonais.

Sua maior produção concentra-se principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país, no entanto, constata-se que a cultura está se expandindo para os cerrados dessas regiões e também do Centro-Oeste. No Nordeste, tradicionalmente as áreas de produção se concentram no semiárido, onde a produção de outras culturas anuais não proporciona boas produtividades, devido à irregularidade das chuvas e das altas temperaturas (FROTA e PEREIRA, 2000; FREIRE FILHO et al., 2011).

2.2. Interação genótipos x ambientes (G x E)

A interação G x A é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferenciado dos genótipos quando repetidos em mais de um ambiente (LAVORANTI et al., 2002). Esta interação reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às variações do ambiente, resultando em mudanças de seus desempenhos relativos.

Quando os testes de avaliação dos genótipos são conduzidos em apenas um ambiente, a variância genética e a média geral podem ficar superestimadas, ou seja, pode conter componentes da interação G x E (RESENDE, 2007). A sua amplitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a

variância genética e, por sua vez, os parâmetros dependentes desta, como a herdabilidade e o ganho genético esperado com a seleção (ROCHA e VELLO, 1999).

Diferenças entre os valores genotípicos podem aumentar ou diminuir de um ambiente para outro, causando até mesmo a classificação de genótipos de maneira diferente entre os ambientes. Os estudos de interação são um pouco complicados pois, exigem integradas abordagens que combinam muitas áreas, incluindo agricultura, biologia, estatística, informática e genética (BONDARI, 2003). É um componente importante e desafiante para os melhoristas que atuam nos testes comparativos e na recomendação de cultivares, uma vez que quanto maior a diversidade genética entre os genótipos e entre os ambientes, maior importância será a interação GxE (BORÉM e MIRANDA, 2005).

A interação G x E pode ser classificada em interação simples e complexa. A interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade genética entre genótipos dentro dos ambientes, e a interação complexa reflete a ausência de correlação linear entre genótipos de um ambiente para outro, ou seja, haverá genótipos com desempenho superior em um ambiente, mas não em outro, tornando mais difícil a seleção e, ou, recomendação desses genótipos (CRUZ et al., 2006).

A interação simples ou a ausência de interação representa menor importância para os melhoristas, pois não alteram a classificação dos genótipos nos ambientes, permitindo a definição de estratégias de seleção. Já a interação complexa altera o ordenamento dos genótipos nos ambientes, dificultando a seleção e recomendação desses materiais. 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 (RAMALHO et al., 1993). Além disto este tipo de interação, inflaciona as estimativas de variância genética, resultando em superestimativas do ganho genético esperado com a seleção.

O método mais utilizado para a avaliação da interação G x E é a análise de variância, por meio da análise conjunta dos experimentos. A existência das interações G x E é determinada pelo teste F e estatisticamente são detectadas como um padrão de resposta diferencial e significativo dos genótipos entre os ambientes. No sistema biológico, isto ocorre quando as contribuições ou nível de expressão dos genes regulando o caráter diferem entre os ambientes. Segundo Cruz e Carneiro (2003) as causas da

interação entre cultivares e ambientes podem ser atribuídos a fatores fisiológicos, adaptativos e relativos à escala de mensuração das variáveis, entre outros.

A interação G x E tem inúmeras implicações em um programa de melhoramento e, na etapa de avaliação de linhagens para indicação de novas cultivares aos agricultores, sua importância torna-se mais evidente. As avaliações das linhagens devem ser realizadas em redes de ensaios, para que se estime seu valor de cultivo e uso, o que viabiliza sua indicação para cultivo nas regiões onde foram testadas (PEREIRA et al., 2010).

A ocorrência da interação G x E tem grande importância, principalmente para produtividade de grãos. Uma forma de tirar proveito dessa interação na indicação de novas cultivares é identificar genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade fenotípica (PEREIRA et al., 2009).

Assim, a estimação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica tem sido uma forma muito difundida, entre os melhoristas de plantas, de avaliar novos genótipos antes de sua recomendação como cultivares (MARQUES et al., 2011). A partir da avaliação da adaptabilidade e estabilidade pode-se selecionar genótipos com adaptação ampla ou específica para uma região, escolher locais de seleção, identificar o nível de estresse nos ambientes escolhidos para as fases iniciais da seleção e, também determinar o número ideal de genótipos e de ambientes a serem avaliados na seleção.

A identificação de cultivares que apresentam alta estabilidade fenotípica é uma das alternativas mais utilizadas para atenuar os efeitos da interação GxE, pois pode ser empregada em várias situações com vistas à identificação de genótipos a serem recomendados para determinada região agrícola (ELIAS et al., 2005).

Para diminuir o efeito da interação G x E, a condução dos experimentos no maior número possível de locais e anos é necessária, para se avaliar a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e a recomendação de cultivares. A fim de tornar essa recomendação a mais segura possível, é necessário um estudo detalhado acerca da adaptabilidade e da estabilidade das cultivares, assim como de seus caracteres importantes economicamente. Vários métodos estatísticos têm sido propostos e utilizados em aplicações e, a cada dia, novos procedimentos vêm sendo apresentados com o objetivo de se interpretar melhor a interação G x E. Estudos dessa natureza são importantes para o melhoramento de plantas, uma vez que fornecem informações sobre o comportamento de cada genótipo ante as variações do ambiente (SILVA e DUARTE, 2006).

2.3. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica

Como já mencionado a interação G x E constitui-se num dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na recomendação das cultivares. Para amenizar a influência dessa interação, tem-se recomendado o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Assim, na última fase dos programas de melhoramento de plantas, linhagens candidatas, com potencial de mercado devem ser avaliadas sob uma variedade de condições semelhantes às reais condições que venham a sofrer quando em uso. Para ser bem sucedida, uma nova cultivar deve ter alta produtividade de grãos e alto desempenho para características agronômicas em uma ampla gama de condições ambientais. Melhoristas de plantas normalmente concordam sobre a importância da estabilidade elevada de produção, mas não necessariamente sobre a definição adequada de estabilidade (FERREIRA et al., 2006).

Dois conceitos de estabilidade fenotípica foram propostos por Becker e Leon (1988): a estabilidade estática e a dinâmica. A estabilidade estática existe quando um genótipo mantém o seu desempenho independentemente das variações do meio ambiente, é chamado de estabilidade biológica, com variância em ambientes estatisticamente igual a zero. Na estabilidade dinâmica, o desempenho do genótipo varia com as mudanças ambientais, mas de uma forma previsível, ou seja, somente os desvios relacionados com a reação geral do genótipo contribuem para a instabilidade. Este tipo é chamado estabilidade agronômica (BORÉM e MIRANDA, 2005).

Por outro lado, Lin et al. (1986) propuseram quatro conceitos de estabilidade: Tipo 1: o genótipo, ou a variedade será considerado estável se sua variância entre os ambientes é pequena; Tipo 2: o genótipo, ou a variedade será considerado estável se sua resposta ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todos os materiais genéticos avaliados nos ensaios; Tipo 3: o genótipo, ou a variedade é estável se o quadrado médio dos desvios de regressão que avalia a estabilidade é pequeno e Tipo 4 (Lin e Binns 1988), estável se o quadrado médio da interação genótipos x anos, dentro de locais for pequeno (RAMALHO et al., 2012b).

De acordo com Ferreira (2006), a estabilidade do Tipo 1, denominada de estabilidade no sentido biológico por Becker (1981), equivale à variedade que mostra um desempenho constante com a variação do ambiente. Esse tipo de estabilidade não é desejável agronomicamente, porque o desempenho do material genético não acompanha a melhoria do ambiente e, além disso, normalmente a estabilidade está associada a uma menor produtividade, especialmente nos ambientes mais favoráveis. A sua utilização só é aconselhável quando a variação ambiental é restrita.

O Tipo 2, denominado de estabilidade no sentido agrônomo por Becker (1981), ocorre nas situações em que o material mostra interações mínimas com o ambiente, ou seja, acompanha o desempenho médio obtido nos ambientes. Preferencialmente esse conceito tem sido mais utilizada, pois, a mesma possibilita a identificação de variedades estáveis e com potencial de se manter entre as melhores em todos os ambientes. O tipo 3, é aquele em que o material é considerado previsível de acordo com o conceito de Ferreira (2006).

A estabilidade e a adaptabilidade de genótipos são características importantes, em que, a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, e a estabilidade diz respeito à capacidade dos genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em razão do estímulo do ambiente (CRUZ et al., 2006).

A adaptabilidade e a estabilidade de uma cultivar dependem de sua constituição genética, isto é, do número de genes que a constitui e do nível de heterozigose dos genótipos. São características da cultivar e lhe permitem responder aos fatores limitantes do ambiente e usufruir dos fatores ambientais (BORÉM e MIRANDA, 2005).

2.4. Métodos que avaliam a adaptabilidade e a estabilidade

2.4.1. Método proposto por Eberhart e Russel (1966)

A metodologia proposta por Eberhart e Russel (1966) é uma das mais utilizadas por melhoristas de plantas para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva dos genótipos. Da mesma forma que a metodologia de Finlay e Wilkinson (1963), é baseada em análise de regressão linear ($y = A + BX$).

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). A metodologia proposta por Finlay e Wilkinson (1963) difere da metodologia de Eberhart e Russel (1966) por não estimar os desvios da regressão. Estes desvios dão a ideia da resposta linear de cada genótipo, o que leva esta metodologia a exigir uma transformação previa dos dados para uma escala logarítmica, pois assim os dados tendem a ser linearizados, eliminando o efeito significativo dos desvios da regressão.

Na análise de Eberhart e Russel (1966), considera-se o coeficiente de intercepto (β_{0i}), coeficiente angular (β_{1i}), os desvios da regressão ($\delta_{ij} = S_d^2$), 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 (ε_{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.

Assim, torna-se 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., 2006).

A adaptabilidade pode ser estimada a partir do coeficiente de regressão (β_1) e os genótipos podem ser classificados em genótipos de adaptabilidade ampla ou específica.

Genótipos de adaptabilidade ampla são aqueles que apresentam coeficiente de regressão (β_1) igual a 1 (um), ou seja, este genótipo é capaz de apresentar bons resultados tanto em ambientes de ótima qualidade, quanto em ambientes ruins. 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. Existem genótipos específicos para ambientes de baixa qualidade ($\beta_1 < 1$), bem como genótipos específicos para ambientes de ótima qualidade ($\beta_1 > 1$). Estes genótipos normalmente não são de grande interesse para os melhoristas, uma vez que as condições ambientais estão

sempre flutuando e, assim, tais genótipos nunca apresentariam previsibilidade produtiva (CRUZ et al.,2006).

Como parâmetro de estabilidade é tomada a estimativa dos desvios da regressão ($S_d^2 = \hat{\sigma}_{di}^2$), sendo que são considerados estáveis aqueles genótipos que apresentam estatisticamente iguais a zero. Entretanto, algumas vezes pode ocorrer que muitos dos genótipos avaliados, com produtividade média de grãos superior, apresentem ($\hat{\sigma}_{di}^2$) estatisticamente diferentes de zero, dificultando a seleção. Neste caso, uma medida auxiliar que pode ser utilizada para a comparação da estabilidade destes genótipos é o coeficiente de determinação R^2 (CRUZ et al.,2006).

Portanto, na metodologia proposta por Eberhart e Russel (1966), a estabilidade está relacionada à previsibilidade de produção. Sendo assim, o genótipo mais estável será aquele que não apresentar desvios da regressão significativos ($S_d^2 = zero$), considerando-se um nível de probabilidade de erro α ou coeficiente de determinação (R^2) o mais próximo de 1.

O método de Eberhart e Russell (1966) é amplamente utilizado em trabalhos envolvendo o feijão-caupi (FERNANDES et al., 1990; SANTOS et al., 2000; FREIRE FILHO et al., 2002; VALADARES et al., 2010). Em todos esses trabalhos, os autores identificaram genótipos com adaptação ampla e com adaptação específica a ambientes favoráveis e desfavoráveis.

2.4.2. Método proposto por Cruz, Torres e Venkovsky (1989)

Verma et al. (1978) propuseram uma modificação no método de Eberhart e Russell (1966), analisando em duas retas as análises de regressão, ambientes favoráveis e desfavoráveis. Entretanto, tal metodologia, segundo Cruz et al. (2006) poderia ser inviabilizada se avaliasse um baixo número de ambientes, proporcionando, neste caso, testes estatísticos questionáveis. Silva e Barreto (1985 ou 86) propuseram, então, o ajuste de uma única equação, representada por uma reta bissegmentada.

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 ($\hat{\beta}_{0i}$), a resposta linear aos

ambientes desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i}$) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ($\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$). A estabilidade é avaliada pelo desvio da regressão ($\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$) de cada cultivar em função das variações ambientais. Por esse método as estimativas $\hat{\beta}_{1i}$ e $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$ não são correlacionadas entre si, o que leva a independência dos dois segmentos de reta.

Um genótipo desejável, por essa metodologia, seria aquele que apresentasse alta média de produção ($\hat{\beta}_{0i}$), baixo $\hat{\beta}_{1i}$ (inferior a um), $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$ maior que um, $\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$ próximos a zero.

2.4.3. Método proposto por Lin e Binns (1988)

A metodologia proposta por Lin e Binns (1988) vem sendo 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 de um simples 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). Esta definição de superioridade é similar ao real objeto dos melhoristas e, assim, um genótipo superior deveria apresentar-se sempre entre os mais produtivos no maior número de ambientes (FARIAS et al., 1997). Este é o motivo de esta metodologia estar sendo muito utilizada por melhoristas para avaliação da estabilidade produtiva de plantas cultivadas.

Se a seleção for realizada apenas com base nas estimativas de P_i , os genótipos estreitamente adaptados, ou seja, pobres em adaptabilidade geral, mas bons em adaptabilidade específica, podem ser descartados. De forma geral, o ideal é selecionar genótipos com média de produtividade elevada, com adaptabilidade ampla e, conseqüentemente, com boa estabilidade produtiva. Isso se resume à seleção de genótipos que apresentem as menores estimativas de P_i , além da baixa contribuição do *i-ésimo* genótipo para a interação genótipo por ambiente (LIN e BINNS, 1988).

Posteriormente, a estimativa P_i foi decomposta conforme a proposta de Carneiro (1998), na qual se utiliza os índices ambientais positivos, incluindo o valor zero

para estimar-se o P_{if} e da mesma forma, mas com os índices ambientais negativos estima-se o P_{id} .

Para que esse parâmetro suprisse as necessidades dos melhoristas, o mesmo foi dividido para ser utilizado, além da forma geral, em ambientes favoráveis e desfavoráveis (CRUZ e CARNEIRO, 2003). 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. Isso torna o trabalho dos melhoristas mais prático e adequado, pois esses profissionais terão os melhores genótipos de forma geral e poderão direcioná-los especificamente para aquele ambiente que se tenha maior aplicação de tecnologia como para aquele que não tenha esse manejo, ou seja, poderá recomendar genótipos para ambientes favoráveis ou desfavoráveis.

2.4.4. Método proposto Annicchiarico (1992)

Este método baseia-se na estimação de um índice de confiança ou índice de recomendação (ω_i) de um cultivar que mostre comportamento relativamente superior ao comparado com os demais (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

De maneira simplificada, nessa 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 da cultivar, traduzida na confiança da indicação da cultivar (SCHMILDT, 2000). São mais estáveis as cultivares associadas por maiores valores do índice de recomendação (ω_i).

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

Conforme Annicchiarico (1992), quanto maior a estimativa de ω_i , mais estável é considerada a respectiva cultivar, sendo preferidas as cultivares que apresentem

estimativa superior a 100%. Dessa forma, pela proposta de Annicchiarico (1992), as cultivares que apresentarem valor de ω_i superior a 100% não deverão apresentar médias fenotípicas inferiores à média geral.

2.4.5. Método AMMI

O Modelo AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*), foi de acordo com Lavoranti (2004), proposto inicialmente por Mandel em 1971. Nesta análise, combina-se num único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais (genótipos e ambientes) e componentes multiplicativos para os efeitos de interação G x E (DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

Esta análise pode ajudar tanto na identificação de genótipos de alta produtividade e largamente adaptados, como na localização do chamado zoneamento agrônômico, com fins de recomendação racionalizada e seleção de locais de teste (GAUCH e ZOBEL, 1996).

Zobel et al. (1988) sustentam que o método AMMI permite uma análise mais detalhada da interação G x E, garante a seleção de genótipos mais produtivos (capazes de capitalizar interações positivas com ambientes), propicia estimativas mais precisas das respostas genotípicas e possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística (DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

De forma simplificada, a análise procura capturar padrões presentes na estrutura dos dados, que possam contribuir para melhor explicar a resposta diferencial dos genótipos quando cultivados em diversos ambientes (DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

Oliveira et al. (2003) salientam que o detalhamento da interação GxE é feito via decomposição da soma dos quadrados originais ($SQ_{G \times E}$), em uma porção denominada padrão e noutra chamada 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.

Outra vantagem é a possibilidade da representação gráfica (*biplot*) simultânea dos escores dos efeitos da interação para cada fator, obtidos por análise multivariada, podendo, dessa forma, a interpretação ser feita por meio da análise da magnitude e do

sinal dos escores (LAVORANTI, 2004) A possibilidade de obtenção de gráficos de componentes principais mantidos na análise do modelo AMMI e gráficos dos escores de eixos de IPCA contra o rendimento médio é uma característica importante deste método. Escores de genótipos e ambientes podem ser plotados no mesmo gráfico e usado para identificar, visualmente, a estabilidade e a similaridade entre genótipos e ambientes (FERREIRA et al., 2006).

Assim, escores baixos (próximos 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 análise AMMI permite agrupar genótipos com adaptações específicas a épocas de semeadura mais adequadas e mais produtivas (MORAIS et al., 2003); identificar genótipos mais estáveis e produtivos com informações complementares (MAIA et al., 2006; ROCHA et al., 2007; CUCOLOTTI et al., 2007; MELO et al., 2007); identificar locais mais contrastantes com interação GxE e classificar em zonas agrônomicas (PACHECO et al., 2003; YAN et al., 2007); ou classificar um único mega-ambiente (SAMONTE et al., 2005; MIRANDA et al., 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização dos ambientes experimentais

Os ensaios foram desenvolvidos no período de fevereiro a julho de 2010, 2011 e 2012, nos ambientes de Aquidauana, Chapadão do Sul e Dourados, em solo classificado como PVAd, LVd e LVdf, respectivamente. Sendo que os ensaios em Chapadão do Sul foram realizados apenas nos anos de 2010 e 2011, totalizando 8 ambientes.

A precipitação pluviométrica verificada durante o cultivo foi obtida nas estações de INMET, em Aquidauana e Chapadão do Sul, e da EMBRAPA, em Dourados (Figura 1).

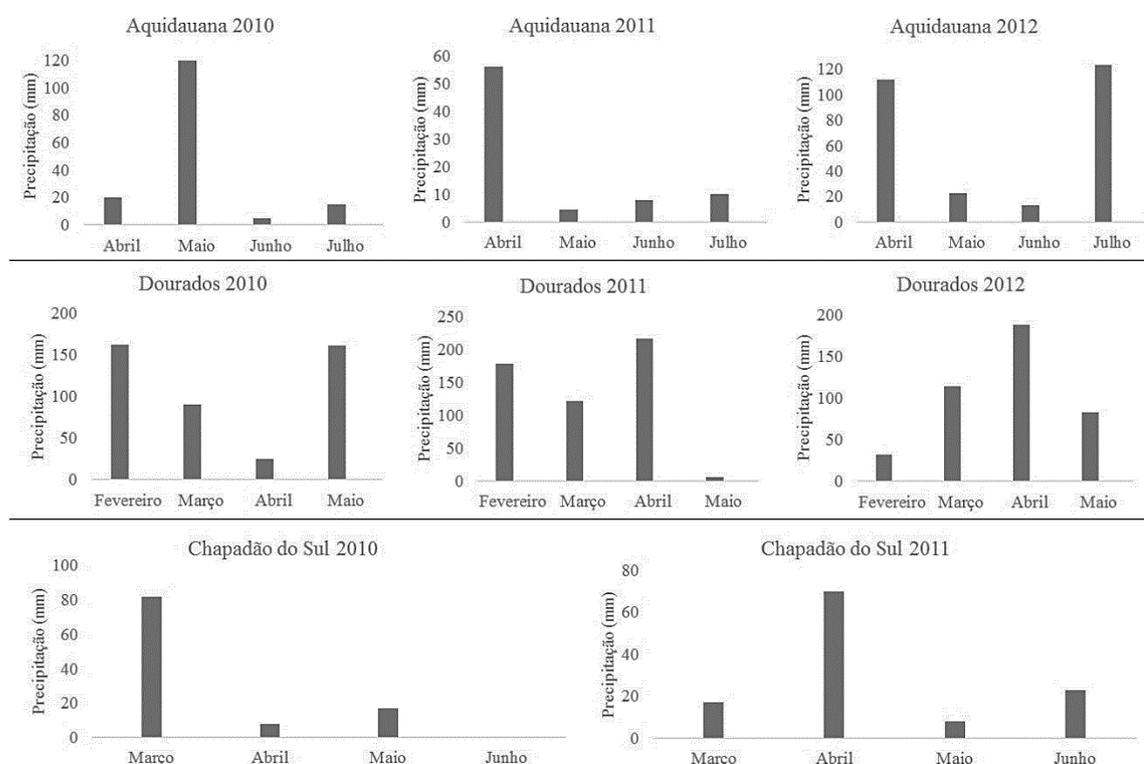


FIGURA 1. Chuvas descendiais registradas durante a condução dos experimentos (fevereiro a julho) em Aquidauana, Chapadão do Sul e Dourados, de 2010 a 2012.

Em Aquidauana, os experimentos foram instalados na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), localizada a 20°27'12" latitude Sul e 55°40'06" longitude Oeste, com altitude de 187 metros. Em Chapadão do Sul, os experimentos foram instalados na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), localizada a 18°46'25" latitude Sul e 52°37'24" longitude Oeste,

com altitude de 806 metros. Em Dourados, os experimentos foram instalados na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada a 22°16'31" latitude Sul e 54°49'08" longitude Oeste, com altitude de 407 metros.

3.2. Instalação, acompanhamento dos ensaios e germoplasma utilizado

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 20 tratamentos e quatro repetições. A unidade experimental constou de quatro linhas com 5 metros de comprimento, espaçadas a 0,50 metros entre si, considerando-se como área útil as duas linhas centrais. Os genótipos utilizados no experimento são provenientes da Embrapa Meio Norte, sendo 16 linhagens avançadas e quatro variedades comerciais (Quadro 1).

QUADRO 1. Relação dos genótipos de feijão-caupi de porte ereto e semi-ereto utilizados no experimento.

IG.	Genótipos	Porte/Arquitetura*	Subclasse comercial	Variedade/Linhagem
1	MNC02-675F-4-9	Semiereto	Mulato	Linhagem
2	MNC02-675F-4-2	Semiereto	Mulato	Linhagem
3	MNC02-675F-9-2	Ereto	Mulato	Linhagem
4	MNC02-675F-9-3	SemieEreto	Mulato	Linhagem
5	MNC02-676F-3	Semiereto	Mulato	Linhagem
6	MNC02-682F-2-6	Semiereto	Branco	Linhagem
7	MNC02-683F-1	Semiereto	Branco	Linhagem
8	MNC02-684F-5-6	Semiereto	Branco	Linhagem
9	MNC03-725F-3	Semiereto	Branco	Linhagem
10	MNC03-736F-7	Semiereto	Branco	Linhagem
11	MNC03-737F-5-1	Ereto	Branco	Linhagem
12	MNC03-737F-5-4	Semiereto	Branco	Linhagem
13	MNC03-737F-5-9	Ereto	Branco	Linhagem
14	MNC03-737F-5-10	Ereto	Branco	Linhagem
15	MNC03-737F-5-11	Semiereto	Branco	Linhagem
16	MNC03-737F-11	Semiereto	Branco	Linhagem
17	BRS-Tumucumaque	Semiereto	Branco	Variedade
18	BRS-Cauame	Semiereto	Branco	Variedade
19	BRS-Itaim	Ereto	Fradinho	Variedade
20	BRS-Guariba	Semiereto	Branco	Variedade

IG: identificação dos genótipos; *: O porte pode mudar em função da fertilidade do solo e das condições de cultivo

A implantação dos experimentos foi realizada em fevereiro, abril e março, enquanto que a colheita foi realizada em maio, julho e junho, respectivamente, em

Dourados, Aquidauana e Chapadão do Sul. Em Aquidauana e Chapadão do Sul foi realizado o preparo mecanizado do solo, com abertura dos sulcos para incorporação do adubo e das sementes, enquanto que em Dourados foi realizada semeadura direta, utilizando uma semeadora de parcela SHP 248. A adubação de semeadura constou de 200 kg ha⁻¹ de adubo químico da fórmula comercial 04-20-20.

Uma semana após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste manual deixando oito plântulas por metro, obtendo uma população de 160.000 plantas por hectare, em todos os anos e locais de cultivo.

O controle das pragas foi realizado com aplicação de inseticida Delthametrin, na dose de 60 mL ha⁻¹ do produto comercial e Methamidophos, na dose de 1 L ha⁻¹ do produto comercial contendo 600 gramas de ingrediente ativo L⁻¹. Em ambos os anos e locais não foram feitas aplicações de fungicidas, via foliar ou nas sementes.

3.3. Análises Estatísticas

Os procedimentos estatísticos constituíram-se de análise de variância para cada ambiente, seguida de uma análise de variância conjunta de experimentos nos ambientes, segundo modelo proposto por Cruz et al. (2006) para avaliar a significância da interação genótipo x ambiente.

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de feijão-caupi foram estimados utilizando-se as metodologias propostas por, Eberhart e Russell (1966), Cruz et al. (1989), Annicchiarico (1992), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e pelo método AMMI. Utilizando-se os softwares SAS e GENES.

3.3.1. Análise individuais e análise conjunta

Inicialmente, foram realizadas as análises de variância individuais para cada um dos 8 ambientes, considerando-se todos 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 (RAMALHO et al., 2012a) 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:

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

onde: Y_{ij} : valor observado do i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;
 μ : média geral do ensaio;
 g_i : efeito do genótipo i;
 b_j : efeito do bloco j;
 ε_{ij} : erro aleatório associado à observação Y_{ij}

Realizou-se uma análise conjunta de variância para os genótipos reunindo os três locais, dentro de cada ano, tendo como principal objetivo determinar possíveis interações de genótipos com locais, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

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

μ : média geral;

G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo;

B/A_{jk} : efeito do k-ésimo bloco dentro do ambiente j;

A_j : efeito do j-ésimo ambiente;

GA_{ij} : efeito da interação entre o i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

ε_{ijk} : erro aleatório experimental médio associado à observação Y_{ijk}

Foi realizada também uma análise de variância conjunta envolvendo o efeito de genótipos x anos x locais, tendo como principal objetivo determinar possíveis interações de genótipos com anos e locais, considerando-se os efeitos de genótipo como fixos e das interações, ano e locais como aleatórios. A análise foi realizada de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ijlm} = \mu + G_i + A_j + L_k + (B/A)/L_{jkm} + GA_{ij} + GL_{jk} + AL_{jk} + GAL_{ijk} + \varepsilon_{ijkm}$$

onde: Y_{ijlm} : observação do i-ésimo genótipo no j-ésimo ano no k-ésimo local e no m-ésimo bloco;

μ : média geral;

- G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo;
- A_j : efeito aleatório do j-ésimo ano;
- L_k : efeito fixo do local k-ésimo local;
- $(B/A)/L_{jkm}$: efeito aleatório do m-ésimo bloco dentro de anos, ambos dentro do local;
- GA_{ij} : efeito aleatório da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo ano;
- GL_{jk} : efeito aleatório da interação entre o i-ésimo genótipo e o k-ésimo local;
- AL_{jk} : efeito aleatório da interação entre o k-ésimo local e o j-ésimo ano;
- GAL_{ijk} : efeito aleatório da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo ano e o k-ésimo local;
- ε_{ijkm} : erro aleatório experimental médio associado à observação Y_{ijlm}

3.3.2. Análises de adaptabilidade e estabilidade

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade foram estimados pelos seguintes estimadores:

3.3.2.1. Método proposto por Eberhart e Russell (1966)

O modelo de Eberhart e Russell (1966) baseia-se na análise regressão linear simples, de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

- onde:
- Y_{ij} : média do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;
- β_{0i} : média geral do i-ésimo genótipo;
- β_{1i} coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação do ambiente;
- I_j : índice ambiental codificado ($\sum_j^l I_j = 0$) sendo $I_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}_{..}$;
- δ_{ij} : desvio da regressão do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;
- $\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio associado a observação Y_{ij}

O parâmetro de adaptabilidade (β_i) foi estimado de acordo com a seguinte expressão:

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

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

I_j : índice ambiental, onde:

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

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

$Y_{..}$: média geral;

n : número de genótipos;

p : número de ambientes.

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

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

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

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

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

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

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

onde: 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.

As estimativas para S^2d_i foram testadas segundo a hipótese $H_0: S^2d_i = 0$ e $H_1: S^2d_i \neq 0$, utilizando-se o teste F de acordo com a seguinte expressão:

$$F = QMD_i/QMR$$

Como medida auxiliar de comparação entre genótipos, utiliza-se o coeficiente de determinação R^2 (Cruz et al., 2006), obtido de acordo com a seguinte expressão:

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

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

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

Para os referidos autores, os genótipos podem ser classificados quanto à estabilidade em genótipos de alta estabilidade ($S^2d_i = 0$) e genótipos de baixa estabilidade ($S^2d_i \neq 0$). Dentro dessa concepção, uma cultivar ideal apresenta média alta para o caráter em estudo (β_{0i}), $b_i = 1$ (adaptação ampla) e $S^2d_i = 0$ (estabilidade).

3.3.2.2. Método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

A metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989), baseia-se na análise de regressão bissegmentada, considerando como parâmetros de adaptabilidade a média (β_0) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i}$) e desfavoráveis (β_{1i}). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelos desvios de regressão (σ_δ^2) de cada genótipo e pelo valor do coeficiente de determinação, em função das variações ambientais. O modelo segue a seguinte equação:

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

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

β_{0i} : média geral do i-ésimo genótipo;

β_{1i} coeficiente de regressão linear;

I_j : índice ambiental codificado ($\sum_j I_j = 0$) sendo $I_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}_.$;

$$T(I_j) = 0 \text{ se } I_j < 0; e$$

$$T(I_j) = I_j - \bar{I}_+ \text{ se } I_j > 0$$

Sendo \bar{I}_+ a média dos índices I_j positivos.

Também nesta metodologia o índice ambiental é calculado conforme descrito por Eberhart e Russell (1966). São utilizadas as seguintes medidas para avaliação da adaptabilidade e estabilidade:

β_{0i} : média geral do i-ésimo genótipo;

β_{1i} : resposta do i-ésimo genótipo à melhoria nos ambientes desfavoráveis;

$\beta_{1i} + \beta_{2i}$: resposta do i-ésimo genótipo à melhoria nos ambientes favoráveis; e

σ_{di}^2 : média da estabilidade ou previsibilidade do i-ésimo genótipo, baseado no modelo linear bissegmentado.

As estimativas para (β_{1i}) e $(\beta_{1i} + \beta_{2i})$ foram testadas segundo a hipótese H_0 : $(\beta_{1i}), (\beta_{1i} + \beta_{2i}) = 1$ e $(\sigma_{\delta}^2) = 0$, sendo a hipótese alternativa H_1 : $(\beta_{1i}), (\beta_{1i} + \beta_{2i}) \neq 1$ e $(\sigma_{\delta}^2) \neq 0$, utilizando a estatística t.

3.3.2.3. Método proposto por Lins e Binns (1988)

O parâmetro de adaptabilidade e estabilidade é estimado por meio da medida de superioridade P_i empregando-se o seguinte modelo matemático:

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

em que: P_i : estimativa do parâmetro de adaptabilidade e estabilidade do i-ésimo genótipo;

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

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

n: número de ambientes.

A estimativa de P_i nos componentes devido ao efeito genético do genótipo i e na sua contribuição para interação com o ambiente j foi desdobrada, sendo:

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

em que: \bar{X}_i : média de produtividade de todos os genótipos nos n ambientes, isto é:

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

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

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

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.

3.3.2.4. Método proposto por Annicchiarico (1992)

Annicchiarico (1992) propôs a estimação de um índice de confiança ou índice de recomendação de um determinado genótipo apresentar comportamento relativamente superior em relação à média de cada ambiente. Os maiores valores dos índices de recomendação são obtidos para os genótipos que apresentam maior média percentual e menor desvio.

Assim, considera-se que o índice de recomendação proposto por Annicchiarico expressa a estabilidade e, também, a adaptabilidade genotípica e é dado por:

$$\omega_i = \hat{\mu}_i - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi}$$

Em que ω_i representa o índice de confiança. Os maiores valores deste índice serão obtidos pelos genótipos que apresentaram maior média percentual ($\hat{\mu}_i$) e menor desvio ($\hat{\sigma}_{zi}$). Para obtenção deste índice, considera-se:

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

\bar{Y}_j : média do j-ésimo ambiente.

Obtêm-se os valores percentuais para cada genótipo, conforme descrito a seguir:

$$Z_{ij} = \frac{100Y_{ij}}{Y_j}$$

Estimam-se as médias relativas do genótipo i, considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e os ambientes desfavoráveis, respectivamente, como se segue:

$$\hat{\mu}_{i(g)} = \frac{\sum_{j=1}^a Z_{ij}}{a}, \text{ média do genótipo, considerando todos os ambientes (a =}$$

número de ambientes);

$$\hat{\mu}_{i(f)} = \frac{\sum_{j=1}^f Z_{ij}}{f}, \text{ média do genótipo, considerando apenas os ambientes}$$

favoráveis (f = número de ambientes favoráveis);

$$\hat{\mu}_{i(d)} = \frac{\sum_{j=1}^d Z_{ij}}{d}, \text{ média do genótipo, considerando apenas os ambientes}$$

desfavoráveis (d = número de ambientes desfavoráveis).

Estimam-se os desvios relativos de cada genótipo i, considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e os ambientes desfavoráveis, respectivamente, como se segue:

$\hat{\sigma}_{zi(g)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento em todos os ambientes;

$\hat{\sigma}_{zi(f)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes favoráveis;

$\hat{\sigma}_{zi(d)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes desfavoráveis.

Os Índices de Recomendação estimados considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis são:

$$\omega_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - Z_{1-\alpha}\hat{\sigma}_{zi(g)}: \text{ considerando todos os ambientes;}$$

$\omega_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - Z_{1-\alpha}\hat{\sigma}_{zi(g)}$: considerando apenas os ambientes favoráveis;

$\omega_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - Z_{1-\alpha}\hat{\sigma}_{zi(g)}$: considerando apenas os ambientes desfavoráveis.

3.3.2.5. Método AMMI

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

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

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

μ : a média geral dos ensaios;

g_i : o efeito do i -ésimo genótipo;

a_j : o efeito do j -ésimo ambiente;

λ_k : o k -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interação original (denotada por $G \times A$);

γ_{ik} : o elemento correspondente ao i -ésimo genótipo no k -ésimo vetor singular coluna da matriz GA ;

α_{jk} : o elemento correspondente ao j -ésimo ambiente no k -ésimo vetor singular linha da matriz GA ;

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

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

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

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

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

Os termos λ_k , γ_{ik} e α_{jk} resultam da chamada decomposição por valores singulares (DVS) da matriz de interação clássica $GA_{(g \times a)} = [(\hat{g}a)_{ij}]$ em que :

$$(\hat{g}a)_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$$

onde: 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 λ_k , expresso na mesma unidade de Y_{ij} , por efeitos de escala (adimensionais) genotípica (γ_{ik}) e ambiental (α_{jk}). O termo λ_k traz uma informação relativa à variação resultante da interação G x E, 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 GA ($\lambda_1^2 \geq \lambda_2^2 \geq \dots, \lambda_p^2$) isto é a $SQ_{G \times A}$ tradicional. Assim, a análise busca recuperar uma parcela determinística da matriz denominada padrão, descartando-se outra, denominada ruído (ρ_{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 ($SQ_{G \times E}$) 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 ($AMMI_0, AMMI_1, \dots, AMMI_n$) 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. 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. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado diferença significativa para produtividade de grãos entre os genótipos em todos os ambientes. A produtividade média variou de 1.250 kg ha⁻¹ (AQ10) a 322,77 kg ha⁻¹ (DS10), destacando-se os ambientes AQ10, CS11, DS11 e DS12, como os mais favoráveis à expressão da produtividade de grãos por terem apresentado as maiores médias. As produtividades médias alcançadas nesses ambientes confirmaram as condições ambientais consideradas como propícias para o cultivo do feijão-caupi no estado de Mato Grosso do Sul (Quadro 2).

QUADRO 2. Resumo da análise de variância individual, referente à produtividade de grãos (kg ha⁻¹), de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	QM(Bloco)	QM(Genótipo)	QM(Resíduo)	C.V.%	Média
AQ10	682.941,145	200.954,8125**	70.987,1721	21,30	1250,56
CS10	319.748,63	103.604,0158**	50.542,2386	41,20	322,95
DS10	36.852,15	137.549,8921**	28.982,8342	40,32	322,77
AQ11	4.947,21	185.028,8283**	11.051,0370	18,62	564,36
CS11	98.621,88	272.058,3447*	14.318,8602	26,40	1.491,32
DS11	169.132,85	270.744,6026**	37.545,6482	18,30	1.058,52
AQ12	133.571,78	269.226,8921**	48.845,0815	31,19	708,52
DS12	54.624,26	131.123,5263**	24.382,4421	13,97	1.117,25
GL	3	19	57	-	-

AQ10: Aquidauana 2010; CS10: Chapadão do Sul 2010; DS10: Dourados 2010; AQ11: Aquidauana 2011; CS11: Chapadão do Sul 2011; DS11: Dourados 2011; AQ12: Aquidauana 2012; DS12: Dourados 2012; **, *: Significativo (p<0,01) e (p<0,05) pelo teste F, respectivamente.

Com relação aos coeficientes de variação (C.V.%), os ambientes AQ2011, DS11 e DS12 apresentaram intervalos de 10 a 20%, e AQ10 e CS11 apresentara intervalos de 20 a 30%, já os ambientes CS2010, DS10 e AQ12 apresentaram valores >30%. Pode-se perceber uma oscilação dos coeficientes de variação de 13,97 a 41,20% confirmando a influência de causas não controláveis sobre a produtividade de grãos, provavelmente em função desse caráter não apresentar herança simples sendo, portanto, bastante influenciado pelo ambiente.

Houve efeito significativo para a fonte de variação genótipos, ambientes e para interação G x E. A significância para ambientes confirma a heterogeneidade nas condições ambientais nas quais foram realizados os experimentos. Já a significância da interação genótipos x ambientes demonstra que as cultivares apresentaram comportamento diferenciado diante da variação ambiental, justificando a necessidade de se realizar um estudo para identificar os genótipos de maior adaptabilidade e estabilidade (Quadro 3).

QUADRO 3. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	Produtividade
		Quadrados Médios
Blocos/Ambientes	24	178.235,7578
Blocos	3	174.102,5224
Blocos x Ambientes	21	178.826,22
Genótipos (G)	19	178.826,22**
Ambientes (E)	7	14.468.878,6**
Genótipos x Ambientes (G x E)	133	153.550,551**
Resíduo	456	50.482,19641
C.V%	-	25,95
Média	-	854,53

F.V: fonte de variação; G.L: grau de liberdade; C.V: coeficiente de variação (%); **

Os efeitos isolados de (Blocos/Anos) / Locais, Genótipos, Anos, Locais, Genótipos x Anos, Genótipos x Locais, Anos x Locais e Genótipos x Anos x Locais foram significativos, evidenciando um comportamento diferenciado dos genótipos nos locais e nos anos avaliados. O efeito de Anos, Locais e de Anos x Locais foram os que mais contribuíram para a variação dos tratamentos nos experimentos (Quadro 4).

Observou-se também um menor efeito para as interações Genótipos x Anos e Genótipos x Locais, quando comparadas com a interação Anos x Locais. Podendo inferir, que o efeito combinado de Anos x Locais foi mais acentuado e ambos contribuíram para promover mudanças significativas no desempenho dos genótipos, o que pode ser comprovado também pelo menor efeito isolado de anos e locais em relação a interação A x L.

QUADRO 4. Análise de variância conjunta geral para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em três locais e anos agrícolas no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	Produtividade
		Quadrados Médios
(Blocos/ Anos) / Locais	27	176.333,1078**
Genótipos (G)	19	488.582,1622**
Anos (A)	2	15.787.551,1500*
Locais (L)	2	5.655.573,0125**
G x A	38	89.191,4716*
G x L	38	96.305,8385*
A x L	4	23.426.864,0750**
G x A x L	76	163.017,0413**
Resíduo	513	64.309,4636
CV%	-	27,04
Média Geral	-	854,53

** , *: Significativo (p<0,01) e (p<0,05) pelo teste F, respectivamente.

O efeito da interação tripla G x A x L foi superior às interações G x A e G x L, evidenciando mais uma vez a forte influência do fator Anos, ou seja, os genótipos foram influenciados pelos fatores climáticos imprevisíveis, principalmente, a ocorrência de precipitações, bem diferentes nos anos de avaliação (Figura 1). O maior efeito do fator Anos sobre a interação genótipos x ambientes permite enfatizar a hipótese da ação da disponibilidade hídrica sobre a cultura nos três anos agrícolas estudados. Este resultado se justifica, uma vez que a água é um dos fatores mais limitantes da expressão do potencial genético do feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

Interações significativas do tipo A x L e G x A x L se destacam como fatores essenciais no planejamento de experimentos que visam estudar a interação G x E. O uso da combinação de locais e anos como ambientes representa melhor a adversidade dos fatores ambientais, pois a regressão sobre ambientes envolvendo Locais e Anos é mais precisa para avaliar a estabilidade dinâmica ou agrônômica (BECKER e LÉON, 1988).

A grande magnitude das interações associadas com Anos sugere que os fatores imprevisíveis dos anos, tais como, temperatura, umidade relativa e pluviosidade, contribuem mais para a interação G x E do que os fatores previsíveis de locais como, tipo de solo, topografia, entre outros, ou seja, os fatores não controláveis (imprevisíveis) contribuem mais significativamente para as alterações fenológicas e de produção das plantas (ALLARD e BRADSHAW, 1964).

As avaliações envolvendo mais de um ano foram importantes para melhor estimar as respostas dos genótipos com os ambientes. Quando as interações de Genótipos com Anos são mais fortes do que com Locais, o zoneamento agrônômico não se mostra uma estratégia efetiva para manejar a interação G x E. Uma estratégia mais indicada no sentido de amenizar os efeitos da interação G x E seria um estudo sobre a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos (ROCHA, 2002).

4.1. 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 (78,27%) foi mais importante que o efeito da interação G x E (15,70%), e este, maior que o efeito de genótipos (6,02%). Estes resultados demonstram a existência de variabilidade entre os genótipos e os ambientes avaliados, justificando um estudo mais aprofundado sobre o comportamento individual dos mesmos no sentido de identificar a intensidade de suas interações com os ambientes (Quadro 5).

QUADRO 5. Resumo da análise de variância conjunta geral segundo metodologia de Eberhart e Russell, referente à produtividade de grãos (kg ha⁻¹), de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	QM	% da variação
Ambiente (E)	7	15358179,27**	78,27
Genótipo (G)	19	435169,822**	6,02
GxE	133	162160,1561**	15,70
E/G	140	921961,1116**	-
E Linear	1	107507254,9**	83,29
GxE Linear	19	234362,6584**	3,44
Desvio combinado (E/G)	120	142620,0854**	13,25
Resíduo	477	59326,1212	

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

O efeito de ambientes dentro de genótipos (E/G), e os efeitos obtidos de sua decomposição (E linear, G x E linear e desvio combinado) foram significativos para o caráter em estudo. A significância do componente linear da variabilidade ambiental indica que variações significativas no ambiente proporcionaram alterações na média dos genótipos conforme Cruz e Carneiro (2003).

A significância do componente linear da interação G x E evidenciou diferenças genéticas com relação aos seus comportamentos lineares quando submetidos às variações ambientais. Os efeitos lineares de ambiente, também significativos, sugerem que a produtividade variou frente aos ambientes considerados. Por outro lado, os desvios da linearidade permitiram o estabelecimento de inferências sobre a estabilidade genotípica. Com isso, quando o desvio não é significativo, o genótipo associado tem comportamento estável e previsível. Mas, quando os desvios são significativos, o genótipo relacionado tem comportamento instável e imprevisível (DI MAURO et al., 2000).

Como, neste trabalho, os desvios combinados foram altamente significativos, os componentes linear e não linear da estabilidade estão envolvidos no desempenho fenotípico dos genótipos nos ambientes em estudo (VENCOSVSKY e BARRIGA 1992). Percebe-se, contudo, que apenas uma pequena parte da interação G x E pode ser explicada pela relação linear entre os genótipos e os ambientes e isto indica que a regressão linear não está explicando adequadamente a interação G x E.

O efeito de E linear (83,29%), explicou a maior parte da variação em relação à fonte E /G, outra parte importante da variação ficou com o desvio combinado (13,25%) e a menor parte da variação foi explicada pela G x E linear (3,44 %). De modo geral, grande parte da regressão para o caráter produtividade de grãos foi mais influenciada e explicada pelos efeitos de ambientes do que pelo efeito da interação G x E. Esses resultados se assemelham aos reportados por Dashiell et al. (1994), quando os autores concluíram que em decorrência da baixa variação explicada pela regressão em relação à interação G x E, o desempenho dos genótipos pode não ser predita como uma função linear do ambiente.

Verificando-se as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, nota-se que a produtividade média de grãos (β_0) variou de 668,18 kg ha⁻¹, na linhagem MNC03-736F-7, a 1.173,43 kg ha⁻¹, na cultivar BRS-Tumucumaque, com média geral de 854,53 kg ha⁻¹, destacando-se com melhor adaptação aqueles genótipos com produtividade média de grãos acima dessa média (VENCOSVSKY e BARRIGA, 1992), tais como, BRS-Guariba, MNC02-682F-2-6, MNC03-737F-5-1, e MNC02-676F-3, entre outros (Quadro 6).

QUADRO 6. Médias gerais ($\hat{\beta}_{0i}$), estimativas dos coeficientes de regressão ($\hat{\beta}_{1i}$), desvios de regressão ($\hat{\sigma}_{di}^2$) e coeficientes de determinação (R^2), segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	β_{0i}	$\hat{\beta}_{1i}^{(1)}$	$\hat{\sigma}_{di}^{2(2)}$	R^2
MNC02-675F-4-9	802 b	1,00 ^{ns}	3934,40 ^{ns}	91,85
MNC02-675F-4-2	785 b	0,92 ^{ns}	11221,45 ^{ns}	87,50
MNC02-675F-9-2	698 b	0,94 ^{ns}	-12555,85 ^{ns}	98,27
MNC02-675F-9-3	782 b	1,06 ^{ns}	11184,20 ^{ns}	90,33
MNC02-676F-3	886 a	0,88 ^{ns}	21179,47*	82,31
MNC02-682F-2-6	916 a	0,65 ^{ns}	36334,69**	64,51
MNC02-683F-1	744 b	0,76 ^{ns}	27218,04*	75,34
MNC02-684F-5-6	895 a	0,85 ^{ns}	-1238,08 ^{ns}	91,74
MNC03-725F-3	874 a	1,09 ^{ns}	17291,85 ^{ns}	88,94
MNC03-736F-7	668 b	0,69 ^{ns}	18750,77*	75,67
MNC03-737F-5-1	910 a	1,44**	-1636,31 ^{ns}	96,99
MNC03-737F-5-4	859 a	1,28 ^{ns}	-9581,43 ^{ns}	98,26
MNC03-737F-5-9	873 a	1,27 ^{ns}	6974,84 ^{ns}	94,05
MNC03-737F-5-10	696 b	1,16 ^{ns}	20888,70*	89,23
MNC03-737F-5-11	897 a	1,23 ^{ns}	62718,19**	81,14
MNC03-737F-11	815 b	0,79 ^{ns}	32107,30**	74,62
BRS-Tumucumaque	1.173 a	0,92 ^{ns}	21851,01*	83,61
BRS-Cauame	896 a	0,87 ^{ns}	41770,17**	74,74
BRS-Itaim	883 a	1,02 ^{ns}	54517,18**	76,77
BRS-Guariba	1.031 a	1,08 ^{ns}	28622,44*	85,59
Média Geral		854,53		

** , * , ns: significativo (p<0,01), significativo (p<0,05) e não significativo, respectivamente ⁽¹⁾, ⁽²⁾; significância pelo teste t; significância pelo teste F, respectivamente.

Considerando os doze genótipos que apresentaram melhor adaptação ($\beta_0 >$ média geral), onze apresentaram as estimativas de $\hat{\beta}_{1i}$ diferentes da unidade e apenas uma obteve estimativa semelhante à unidade, o que evidenciou, de modo geral, que os genótipos apresentam adaptabilidade geral ou amplas nas diferentes classes de ambientes avaliados. O genótipo MNC03-737F-5-1 demonstrou ser muito exigente nas condições desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i} > 1$), o que sugere que esse genótipo possuem grande capacidade de explorar vantajosamente a melhoria do ambiente aumentando assim suas produtividades médias.

Este genótipo revela adaptação aos ambientes favoráveis. Entretanto, a utilização deste deve ser criteriosa, posto que, em ambientes desfavoráveis, ou seja, em regiões envolvendo baixo nível tecnológico e/ou sujeitas às variações edafoclimáticas, podem ter seus rendimentos reduzidos.

Os genótipos MNC02-676F-3, MNC02-682F-2-6, MNC02-684F-5-6, MNC03-725F-3, MNC03-737F-5-4, MNC03-737F-5-9, MNC03-737F-5-11, BRS-Tumucumaque e BRS-Cauame, BRS-Itaim e BRS-Guariba, demonstraram ser de ampla adaptação ($\hat{\beta}_{1i} = 1$) e ($\beta_{0i} >$ média geral), sugerindo que esses genótipos suportam condições ambientais distintas mantendo suas médias de produtividade em torno da média geral.

Quanto a previsibilidade nove genótipos apresentaram desvio da regressão não significativo ($\hat{\sigma}_{di}^2 = 0$), indicando estabilidade, o que significa que estes genótipos não variam sua produtividade média ao longo dos anos e locais, sendo poucos influenciados pelas condições ambientais. Observa-se ainda que apenas seis genótipos apresentaram R^2 inferior a 80%. Sendo que, o coeficiente de determinação superior a 80% representa baixa dispersão dos dados, indicando alta confiabilidade no tipo de resposta ambiental determinado pelas regressões (RAIZER e VENCOVSKY, 1999). Esse valor deve ser utilizado como referencial para que a regressão explique satisfatoriamente o comportamento de um genótipo em função de um ambiente (CRUZ et al., 2006).

Os genótipos cultivados nos ambientes AQ10, CS11, DS11 e DS12 alcançaram médias de produtividade de grãos superiores à média geral. Assim, esses ambientes podem ser classificados como favoráveis ao desenvolvimento dos genótipos avaliados, ou seja, os mesmos puderam aproveitar as condições ambientais e expressar seus genes para a produtividade de grãos, apresentando um bom desempenho médio, fato este confirmado pelos índices ambientais positivos (Quadro 7).

QUADRO 7. Médias gerais e índices ambientais, segundo metodologia de Eberhart e Russell, referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Ambiente	Média (kg ha^{-1})	Índice Ambiental
AQ10	1250,56	396,02
CS10	322,95	-531,58
DS10	322,77	-531,75
AQ11	564,36	-290,17
CS11	1491,32	636,79
DS11	1058,52	203,99
AQ12	708,52	-146,00
DS12	1117,25	262,71
Média Geral	854,53	

AQ10: Aquidauana 2010; CS10: Chapadão do Sul 2010; DS10: Dourados 2010; AQ11: Aquidauana 2011; CS11: Chapadão do Sul 2011; DS11: Dourados 2011; AQ12: Aquidauana 2012; DS12: Dourados 2012;

Já os ambientes CS12, DS10, AQ11 e AQ12 apresentaram médias inferiores à média geral e índice ambiental negativo, o que lhes conferiu classificação como ambientes desfavoráveis aos genótipos utilizados para o estudo. Isso provavelmente ocorreu devido a oscilações na precipitação, em termos de quantidade e distribuição, além de diferenças entre esses ambientes em outros fatores abióticos como solo e temperatura, o que não favoreceu a expressão dos genes para a produtividade de grãos.

4.2. Método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

Analisando os resultados da metodologia de Cruz et al. (1989), observa-se que em nenhuma cultivar o desempenho “ideal” foi o preconizado pelo método, ou seja: média alta (alto β_0) adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$), responsividade à melhoria ambiental ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$) e alta estabilidade, desvio da regressão (σ_δ^2) igual a zero, ou seja não significativo e $R^2 > 0,80$. Segundo Cruz et al. (2006), estes são indicativos de que o genótipo apresenta previsibilidade razoável por apresentar um bom ajuste às retas da regressão (Quadro 8). Portanto, a seleção e recomendação dos genótipos deverão ser específicas e individuais para cada situação de ambiente favorável e desfavorável.

Deste modo, foram considerados como genótipos com potencial de recomendação os que evidenciaram produtividade média de grãos superior à média geral dos ambientes (β_0), nos ambientes desfavoráveis (MD) e nos ambientes favoráveis (MF), bem como baixa sensibilidade 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 (σ_δ^2) não significativos e/ou $R^2 > 0,80$. Podendo-se observar que alguns genótipos apresentaram comportamento satisfatório em uma ou em outra condição.

QUADRO 8. Média geral (β_0), média em ambientes desfavoráveis (MD), média em ambientes favoráveis (MF), parâmetro de adaptabilidade (β_{1i}), responsividade ($\beta_1+\beta_2$), desvio de regressão (σ_δ^2) e coeficiente de determinação (R^2) referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}), estimados por meio do método de Cruz et al. (1989), em 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	β_0	MF	MD	β_{1i}	$\beta_{1i} + \beta_{2i}$	σ_δ^2	$R^2(\%)$
MNC02-675F-4-9	802 b	1188,25	416,62	0,97 ^{ns}	1,34 ^{ns}	84878,98 ^{ns}	92,80
MNC02-675F-4-2	785 b	1149,93	420,81	0,96 ^{ns}	0,43 ^{ns}	108080,97 ^{ns}	89,69
MNC02-675F-9-2	698 b	1052,75	343,93	0,95 ^{ns}	0,80 ^{ns}	14870,87 ^{ns}	98,48
MNC02-675F-9-3	782 b	1141,31	422,87	1,02 ^{ns}	1,55 ^{ns}	107923,30 ^{ns}	92,03
MNC02-676F-3	886 a	1183,75	589,56	0,90 ^{ns}	0,57 ^{ns}	169811,89 ^{ns}	83,21
MNC02-682F-2-6	916 a	1146,43	685,81	0,73 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	177287,24 ^{ns}	74,99
MNC02-683F-1	744 b	1016,18	472,00	0,74 ^{ns}	1,07 ^{ns}	198872,39 ^{ns}	76,40
MNC02-684F-5-6	895 a	1252,68	539,12	0,88 ^{ns}	0,57 ^{ns}	63569,94 ^{ns}	92,63
MNC03-725F-3	874 a	1291,31	457,50	1,02 ^{ns}	1,86 ^{ns}	102393,66 ^{ns}	92,93
MNC03-736F-7	668 b	914,68	421,68	0,63 ^{ns}	1,37 ^{ns}	122523,85 ^{ns}	82,17
MNC03-737F-5-1	910 a	1462,25	357,87	1,41 ^{**}	1,72 ^{ns}	61440,65 ^{ns}	97,34
MNC03-737F-5-4	859 a	1357,50	360,62	1,32 [*]	0,81 ^{ns}	9848,97 ^{ns}	99,45
MNC03-737F-5-9	873 a	1316,25	430,5	1,21 ^{ns}	1,99 ^{ns}	60230,29 ^{ns}	96,76
MNC03-737F-5-10	696 b	1169,06	224,56	1,19 ^{ns}	0,87 ^{ns}	169140,46 ^{ns}	89,73
MNC03-737F-5-11	897 a	1330,18	465,50	1,08 ^{ns}	2,81 ^{**}	136682,43 ^{ns}	93,18
MNC03-737F-11	815 b	1129,56	500,43	0,79 ^{ns}	0,78 ^{ns}	231282,62 ^{ns}	74,62
BRS-Tumucumaque	1.173 a	1538,06	808,81	0,98 ^{ns}	0,28 ^{ns}	141270,78 ^{ns}	87,28
BRS-Cauame	896 a	1283,56	508,68	1,00 ^{ns}	-0,62 ^{**}	59431,63 ^{ns}	94,59
BRS-Itaim	883 a	1269,50	498,12	1,01 ^{ns}	1,07 ^{ns}	338547,90 ^{**}	76,79
BRS-Guariba	1.031 a	1395,06	668,00	1,10 ^{ns}	0,87 ^{ns}	210226,29 ^{ns}	85,88
Média geral					854,33		

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

Neste mesmo contexto Domingues et al. (2013), também não obtiveram sucesso na identificação de linhagens de feijão comum “ideal” para o cultivo, de acordo com a metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989). A dificuldade de

identificação de cultivares ideais para o cultivo pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) pode ser atribuída a correlação positiva existente entre o β_{1i} e o $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ (MIRANDA et al., 1998).

Para a maioria dos genótipos os parâmetros de adaptabilidade β_{1i} e $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ foram não significativos, demonstrando que grande parte desses genótipos apresentaram resposta linear simples não desviando da resposta média dos ambientes, ou seja, aumentam a produtividade de grãos à medida que se aumenta o índice ambiental, como ocorrido para os genótipos BRS-Tumucumaque e BRS-Guariba entre outros.

Os genótipos MNC03-737F-5-1 e MNC03-737F-5-4 apresentaram β_{1i} significativos e maiores do que 1, indicando que esses genótipos apresentam alta sensibilidade a ambientes desfavoráveis. Essa indicação corrobora com as médias encontradas para ambos os genótipos, pois as linhagens MNC03-737F-5-1 e MNC03-737F-5-4 obtiveram a segunda e quarta melhor média nos ambientes favoráveis, respectivamente, já nos ambientes desfavoráveis estes genótipos desceram para a décima sétima e décima oitava posição.

Diferentemente do ocorrido na metodologia de Eberhart e Russell, com relação à estabilidade apenas um dos vinte genótipos apresentaram quadrados médios dos desvios significativos, demonstrando que, de forma geral, os genótipos apresentaram comportamento previsível frente às mudanças ambientais pela metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989). Entretanto, nas duas metodologias 16 genótipos (80%) apresentaram R^2 acima de 80%, o que evidencia um bom ajuste nas equações de regressão.

Segundo Garbuglio et al. (2007), a significância dos quadrados médios dos desvios não deve ser o único fator a ser levado em consideração quando se estuda a estabilidade, é oportuno considerar os genótipos de alta produtividade mesmo que esses apresentem instabilidade de comportamento. Neste sentido o genótipo BRS-Itaim deve ser considerado como opção de cultivo, mesmo obtendo seu desvio diferente de zero.

4.3. Método de Lin e Binns (1988) modificado 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 representadas no Quadro 9.

QUADRO 9. Estimativas dos parâmetros P_i gerais, favoráveis e desfavoráveis referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	Média Geral	P_i /1000 Geral	P_i (Favorável)	P_i (Desfavorável)
MNC02-675F-4-9	802 b	145,50	167,27	139,04
MNC02-675F-4-2	785 b	166,70	184,95	151,26
MNC02-675F-9-2	698 b	198,12	205,43	153,66
MNC02-675F-9-3	782 b	163,21	179,92	141,46
MNC02-676F-3	886 a	112,25	109,7	91,04
MNC02-682F-2-6	916 a	83,40	151,97	117,17
MNC02-683F-1	744 b	203,86	310,27	157,77
MNC02-684F-5-6	895 a	97,84	77,89	60,02
MNC03-725F-3	874 a	113,43	123,87	96,64
MNC03-736F-7	668 b	246,59	365,05	237,87
MNC03-737F-5-1	910 a	83,45	65,75	51,31
MNC03-737F-5-4	859 a	114,58	124,65	97,45
MNC03-737F-5-9	873 a	121,17	128,42	107,3
MNC03-737F-5-10	696 b	202,57	238,48	155,1
MNC03-737F-5-11	897 a	130,28	161,68	128,12
MNC03-737F-11	815 b	176,91	198,73	153,48
BRS-Tumucumaque	1.173 a	21,75	36,91	6,59
BRS-Cauame	896 a	129,16	156,64	118,47
BRS-Itaim	883 a	131,97	164,48	132,13
BRS-Guariba	1.031 a	58,53	53,24	45,37
Média Geral			854,53	

Conforme a análise do método, foi observado que entre os vinte genótipos avaliados pode-se identificar cinco genótipos que se destacaram com os menores valores de P_i geral, sendo BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC03-737F-5-1, MNC02-682F-2-6 e MNC02-684F-5-6. A estabilidade de comportamento é uma característica varietal que representa o rendimento *per se* de cada genótipo e não deve ser confundida estabilidade fenotípica (à capacidade dos genótipos apresentarem somente pequenas variações no seu comportamento geral, quando submetidos a diferentes ambientes) (EBERHART e RUSSEL, 1966).

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 em ordem decrescente de estabilidade.

Verificou-se que os genótipos BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC03-737F-5-1 e MNC02-684F-5-6 estiveram colocados entre os quatro menores valores de P_i tanto nos ambientes favoráveis quanto nos desfavoráveis, mostrando ampla adaptabilidade e alta estabilidade, com destaque para o BRS-Tumucumaque, que foi o mais produtivo considerando a média geral e ainda com o menor valor de P_i geral e P_i nos ambientes favoráveis e desfavoráveis e uma das menores contribuições para interação, dessa forma pode ser considerado de adaptação geral e alta previsibilidade. Este fato sugere que esse material pode ser recomendado para todos os ambientes do estudo e para ambientes com características semelhantes aos ambientes do presente trabalho.

Outro fato importante foi que o genótipo MNC03-737F-5-1 que demonstrou ampla adaptabilidade e estabilidade por apresentar menores valores de P_i tanto nos ambientes favoráveis quanto nos desfavoráveis, já pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) este genótipo demonstrou ser muito exigente nas condições desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i} > 1$) sugerindo então que esse genótipo possui grande capacidade de explorar vantajosamente a melhoria do ambiente. Deste modo pode-se inferir que a utilização combinada destas duas metodologias trazem informações mais detalhadas sobre a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos em estudo.

Os genótipos MNC02-675F-4-2, MNC02-675F-9-2, MNC02-676F-3, MNC02-683F-1, MNC02-684F-5-6, MNC03-737F-11, BRS-Tumucumaque e BRS-Cauame apresentaram menores valores de P_i nos ambientes desfavoráveis quando comparado com os ambientes favoráveis ou P_i geral, indicando que estes genótipos possuem uma adaptação específica a condições desfavoráveis.

Os cinco genótipos com melhor estabilidade e adaptabilidade contribuíram com 22,74% para a interação. No geral as contribuições para a interação variaram entre 1,14% a 10,25% para MNC02-675F-9-2 e MNC03-737F-11, respectivamente (Quadro 10).

Deve-se salientar ainda que, menores valores de P_i reduzem o desvio em torno da produtividade máxima em cada ambiente. Assim, maior estabilidade estará associada à maior produtividade (LIN e BINNS, 1988). Entretanto, a estimativa do parâmetro P_i está altamente correlacionada à produtividade, assim genótipos com produtividades de grãos mais baixas terão um alto valor de P_i sem, necessariamente, serem altamente

instáveis. Assim, apesar dos genótipos MNC02-675F-4-9, MNC02-675F-4-2, MNC02-675F-9-2 e MNC02-675F-9-3 apresentarem altos valores de P_i geral foram considerados pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) como de alta estabilidade (desvios da regressão não significativos) e ainda com alta influência do componente de desvio genético no valor de P_i , todos acima de 80%. Entretanto o cultivo desses genótipos deve ser bem avaliada, pois estes produziram abaixo da média geral.

QUADRO 10. Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo metodologia de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	Média Geral	$P_i / 100$	Desvio Genético	Desvio GxA	Contribuição para interação (%)
MNC02-675F-4-9	802 b	145,50	133,39	12,12	2,49
MNC02-675F-4-2	785 b	166,70	142,34	24,36	5,00
MNC02-675F-9-2	698 b	198,12	192,57	5,56	1,14
MNC02-675F-9-3	782 b	163,21	144,10	19,11	3,92
MNC02-676F-3	886 a	112,25	93,43	18,81	3,86
MNC02-682F-2-6	916 a	83,40	81,13	44,27	9,08
MNC02-683F-1	744 b	203,86	165,22	38,64	7,93
MNC02-684F-5-6	895 a	97,84	89,48	18,37	3,77
MNC03-725F-3	874 a	113,43	98,80	14,63	3,00
MNC03-736F-7	668 b	246,59	211,74	34,85	7,15
MNC03-737F-5-1	910 a	83,45	83,59	19,86	4,07
MNC03-737F-5-4	859 a	114,58	105,74	8,83	1,81
MNC03-737F-5-9	873 a	121,17	99,26	21,91	4,50
MNC03-737F-5-10	696 b	202,57	193,52	9,05	1,86
MNC03-737F-5-11	897 a	130,28	88,66	41,62	8,54
MNC03-737F-11	815 b	176,91	126,98	49,94	10,25
BRS-Tumucumaque	1.173 a	21,75	10,59	11,17	2,29
BRS-Cauame	896 a	129,16	89,39	39,77	8,16
BRS-Itaim	883 a	131,97	94,67	37,30	7,65
BRS-Guariba	1.031 a	58,53	41,30	17,23	3,53
Média Geral			854,53		

Estas informações detalhadas dos genótipos em vários ambientes tornam-se importantes para uma melhor recomendação dos mesmos ambientes. Ao escolher uma cultivar para a semeadura, o produtor deve analisar o ambiente de cultivo, considerando

a pluviosidade, fertilidade do solo, entre outras características, escolhendo assim as cultivares mais adaptadas às suas condições.

4.4. 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 (ω_i) de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior. A estimativa do índice de confiança de Annicchiarico (ω_i Geral) para a produção foi inferior a 100% para 70% dos genótipos (Quadro 11).

QUADRO 11. Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo metodologia de Annicchiarico (1992) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipo	Média	ω_i (Geral)	ω_i (Favorável)	ω_i (Desfavorável)
MNC02-675F-4-9	802 b	87,3861	93,54419	82,23952
MNC02-675F-4-2	785 b	83,33491	91,04542	76,14263
MNC02-675F-9-2	698 b	72,28963	84,56812	62,4564
MNC02-675F-9-3	782 b	74,90692	88,57616	63,23491
MNC02-676F-3	886 a	95,55902	95,26287	99,03322
MNC02-682F-2-6	916 a	105,9445	90,48553	125,4852
MNC02-683F-1	744 b	84,58688	75,64713	93,6851
MNC02-684F-5-6	895 a	105,5245	100,0578	113,331
MNC03-725F-3	874 a	97,05863	100,3144	94,70511
MNC03-736F-7	668 b	77,29876	67,68308	87,56954
MNC03-737F-5-1	910 a	87,16956	115,1796	65,49607
MNC03-737F-5-4	859 a	82,06139	109,4327	61,59421
MNC03-737F-5-9	873 a	86,42142	99,93178	73,8871
MNC03-737F-5-10	696 b	61,10381	92,74846	36,2013
MNC03-737F-5-11	897 a	92,55398	98,17986	87,03387
MNC03-737F-11	815 b	89,37445	89,3315	93,0488
BRS-Tumucumaque	1.173 a	138,9041	120,6984	161,6084
BRS-Cauame	896 a	102,2562	99,85625	103,864
BRS-Itaim	883 a	94,82114	94,94648	93,55734
BRS-Guariba	1.031 a	111,1884	112,211	112,8767

Para os genótipos que apresentaram ω_i superior a 100% na média geral dos ambientes, nos ambientes desfavoráveis e favoráveis, o risco de adoção é mínimo, pois em todos os ambientes, apresentaram produtividade de grãos maior que a média.

Com base no índice de confiança ou de recomendação, pode-se indicar os genótipos BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC02-682F-2-6, MNC02-684F-5-6 e BRS-Cauame como os cinco de melhor adaptação, considerando os seus comportamentos em todos os ambientes. Resultado esse de acordo com os obtidos com as metodologias de Eberhart e Russel (1966), Cruz et al. (1989) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).

Comparando a classificação da estabilidade fenotípica dos genótipos obtida pela metodologia proposta por Annicchiarico (1992), apenas com classificação obtida pela metodologia de Lin e Binns (1988), observou-se que três dos cinco melhores genótipos indicados pela metodologia de Annicchiarico como sendo de estabilidade geral coincidem com a classificação obtida pela metodologia de Lin e Binns (1988), com exceção da linhagem MNC03-737F-5-1, que foi classificada como estável em ambientes favoráveis pela metodologia de Annicchiarico (1992).

Nos ambientes classificados como favoráveis (Aquidauana em 2010, Chapadão do Sul e Dourados em 2011 e Dourados em 2012) os genótipos, MNC03-737F-5-1, MNC03-737F-5-4, MNC03-725F-3, MNC02-684F-5-6, além das cultivares BRS-Tumucumaque e BRS-Guariba, apresentaram comportamento mais estável e com probabilidade de apresentar produtividade superior à média de cada ambiente (Quadro 12).

QUADRO 12. Médias gerais, índices ambientais e classes ambientais, segundo metodologia de Annicchiarico (1992) de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Ambiente	Média	Índice	Classe
AQ10	1250,563	396,028125	Favorável
CS10	322,95	-531,584375	Desfavorável
DS10	322,775	-531,759375	Desfavorável
AQ11	564,3625	-290,171875	Desfavorável
CS11	1491,325	636,790625	Favorável
DS11	1058,525	203,990625	Favorável
AQ12	708,525	-146,009375	Desfavorável
DS12	1117,25	262,715625	Favorável

AQ10: Aquidauana 2010; CS10: Chapadão do Sul 2010; DS10: Dourados 2010; AQ11: Aquidauana 2011; CS11: Chapadão do Sul 2011; DS11: Dourados 2011; AQ12: Aquidauana 2012; DS12: Dourados 2012;

Nos ambientes classificados como desfavoráveis (Chapadão do Sul e Dourados em 2011 e Aquidauana em 2011 e 2012) destacaram-se as linhagens: MNC02-682F-2-6, MNC02-684F-5-6, além das cultivares BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba e BRS-Cauame.

4.5. Método AMMI

O efeito multiplicativo da interação G x E foi diagnosticado por meio da análise de componentes principais (ACP), decompondo-se a $SQ_{G \times E}$, sendo adotado o critério “posdictivo” para seleção de modelos AMMI mais preditivos e parcimoniosos pelo teste F_{Gollob} (GOLLOB, 1968). Observou-se que os três primeiros eixos (IPCA1, IPCA2 e IPCA3) apresentaram significância ao nível de ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$). Com respeito ao nível de significância, vale salientar que, com a utilização de 1% em vez de 5%, reduz-se a probabilidade de ocorrer o erro tipo I, isto é, de aceitar o modelo AMMI com maior número de eixos (Quadro 13).

QUADRO 13. Resultados dos testes de Gollob da análise AMMI da variável produtividades de grãos ($kg\ ha^{-1}$), para 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	%	% Acumulada	F	Pr>F
Genótipo (G)	19	8268226,62	435169,82	-	-	-	-
Ambiente(E)	7	107507254,87	15358179,2	-	-	-	-
G x A	133	21567300,76	162160,15	-	-	-	-
IPCA1	25	7013696,93	280547,9	32,5	32,52	5,25	0,000
IPCA 2	23	4778041,44	207740,9	22,1	54,67	3,88	0,010
IPCA 3	21	3239402,83	154257,3	15,0	69,69	2,88	0,059
IPCA 4	19	2615512,52	137658,6	12,1	81,82	2,57	0,789
IPCA 5	17	1896060,65	111533,0	8,7	90,61	2,08	0,915
IPCA 6	15	1383142,61	92209,51	6,4	97,02	1,72	0,944
IPCA 7	13	641443,78	49341,83	2,9	100,00	0,92	0,978
IPCA8	11	0,00	0,00	0,0	100,00	0,00	1,00

Os dois primeiros eixos (CPI1 e CPI2) foram significativos e explicaram a $SQ_{G \times E}$, de 32,5 e 22,1, respectivamente, englobando um total de 54,67% da $SQ_{G \times E}$ total, indicando que o modelo mais predito foi o AMMI2. 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. Para Rocha (2002), nos casos em que existe padrão em mais de dois eixos, a princípio, a representação gráfica em biplot não se justifica. Portanto, este autor comenta que a análise AMMI apresenta como característica principal a captação da maior parte do padrão nos primeiros eixos.

Na representação gráfica da análise AMMI (AMMI-Biplot), genótipos e ambientes estáveis são aqueles cujos pontos situam-se próximos à origem, ou seja, os valores dos escores são quase nulos nos dois eixos de interação (IPCA1 e IPCA2), segundo Duarte e Vencovsky (1999). Os genótipos que menos contribuíram para a interação GxA foram MNC02-675F-9-2 (3), MNC02-675F-9-3 (4), MNC02-675F-4-2 (2), MNC02-675F-4-9 (1) e MNC02-684F-5-6 (8) e os ambientes CS10 e DS12 foram os mais estáveis, cujo o ponto situa-se próximo à origem, ou seja os escores são os de menor valor para os dois eixos da interação (Figura 2).

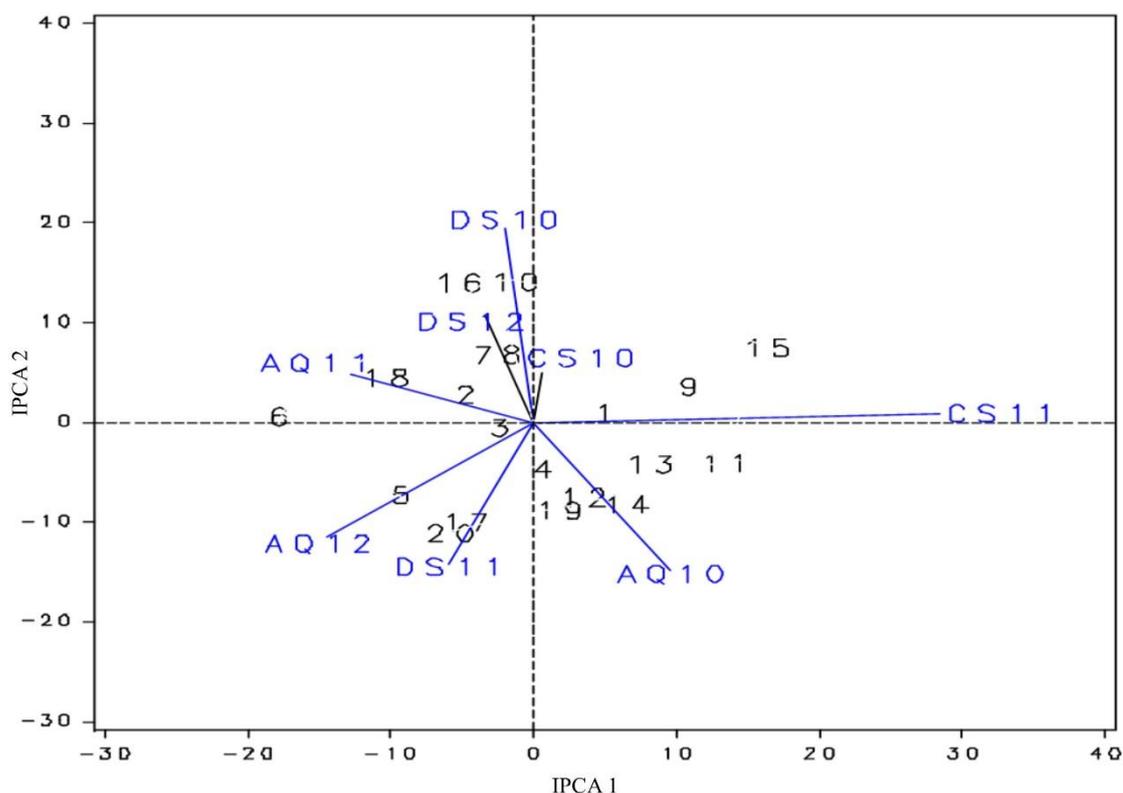


FIGURA 2. Biplot da análise AMMI2 para produtividade de grãos em kg ha^{-1} , de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Os genótipos MNC02-675F-4-9 (1), MNC03-725F-3 (9) e MNC03-737F-5-11 (15) interagem de forma positiva com os ambientes CS10 e CS11, pois além de apresentarem escores de mesmo sinal os pontos relativos a esses genótipos apontam para uma direção comum e os vetores partindo da origem com ângulo pequeno entre eles, que pode ser orientada pelos marcadores dos ambientes CS10 e CS11. Os genótipos MNC03-737F-11 (16), MNC03-736F-7 (10), MNC02-683F-1 (7), MNC02-684F-5-6 (8), MNC02-675F-4-2 (2) e BRS-Cauame (18) também demonstraram interação específica positiva com os ambientes DS10, DS12 e AQ11 por interpretação semelhante. Observa-se uma falta de adaptação nítida do genótipo MNC03-737F-5-11 (15) com os ambientes AQ12 e DS11 nos dois gráficos (marcadores apontando em direções opostas).

No biplot AMMI1 o eixo das abscissas representa os efeitos principais (médias dos genótipos e dos ambientes) e o eixo das ordenadas representa os escores dos genótipos e ambientes para o referido eixo de interação. Genótipos e ambientes estáveis são aqueles cujos pontos situam-se próximos de zero (DUARTE e VENCOVSKY, 1999). Pode-se verificar quais os genótipos que possuem produtividade de grãos inferior ou superior à produção média geral através da linha vertical de referência.

Os genótipos MNC02-675F-4-9 (1), MNC02-675F-4-2 (2), MNC02-675F-9-2 (3), MNC02-675F-9-3 (4), MNC02-683F-1 (7), MNC03-736F-7 (10), MNC03-737F-5-10 (14) e MNC03-737F-11 (16) possuem produção inferior à média geral que é de 854,53 kg ha⁻¹, enquanto que os demais genótipos possuem produção igual ou superior à média, e os ambientes com baixa produtividade são CS10, DS10, AQ11 e AQ12 e os ambientes que apresentaram o maior produtividade são DS11, DS12, AQ10 e CS11. Os pontos situados em torno de zero em relação ao eixo horizontal IPCA1, correspondem aos genótipos MNC02-675F-9-3 (4), BRS-Itaim (19) e MNC02-684F-5-6 (8) e ambientes CS10, DS10, DS11 e DS12 mais estáveis, sendo os dois primeiros associados à baixa produtividade e os dois últimos, associados à alta produtividade (Figura 3).

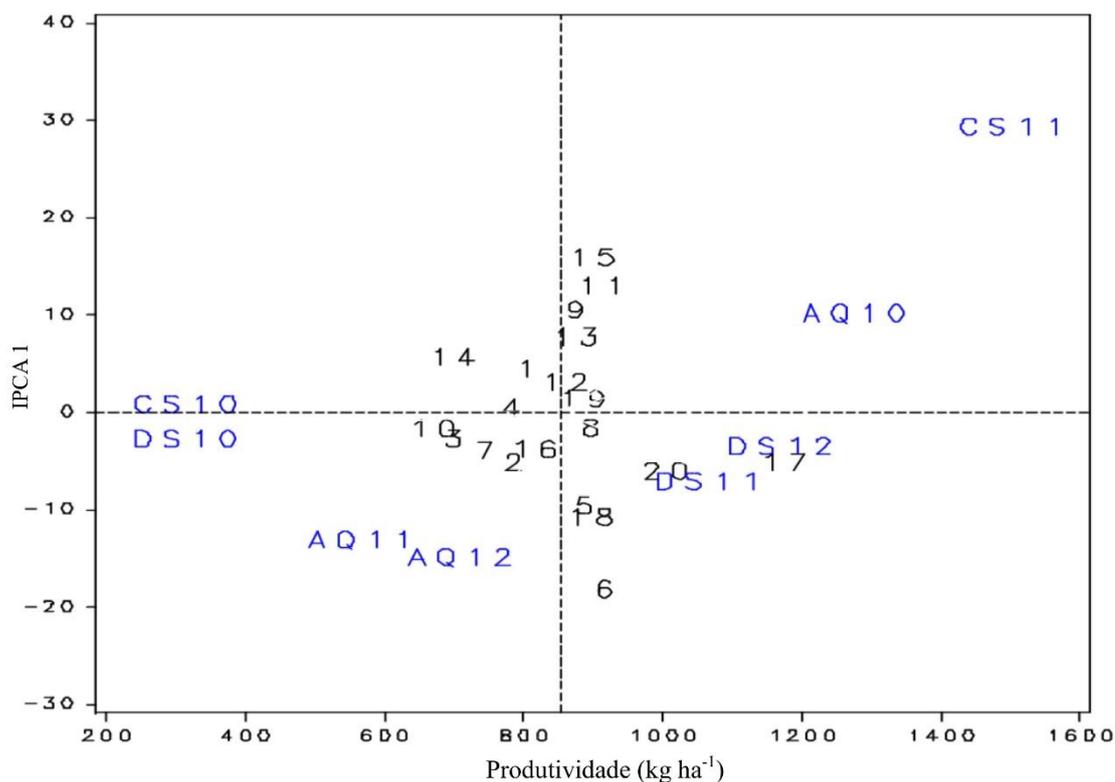


FIGURA 3. Biplot da análise AMMI1 para produtividade de grãos em kg ha^{-1} , de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

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). Os ambientes mais instáveis foram CS11, AQ12 e AQ10, sendo que os ambientes AQ10 e CS11, apresentaram instabilidade associada a alta produtividade de grãos, o que corrobora o fato do local Aquidauana ter apresentado interação positiva com o ano agrícola de 2010 e Chapadão do Sul no ano de 2011. Observa-se que existe uma discordância entre as metodologias de Eberhart e Russel, (1966) e AMMI, pois os ambientes classificados como desfavoráveis pelos Índices ambientais obtidos pela metodologia de Eberhart e Russell, são tidos com estáveis na análise AMMI, tais como CS10 e DS10, isto, provavelmente, se deve ao fato que na metodologia de Eberhart e Russel, (1966) considera-se um índice ambiental, que basicamente se refere a média de um ambiente subtraído pela média geral, deste modo, não levando em consideração a interação $G \times E$ presente.

Os genótipos BRS-Tumucumaque (17) e BRS-Guariba (20) foram os mais produtivos, entretanto estes genótipos por apresentaram um dos maiores desvios, deram a maior contribuição para a interação G x E. No método AMMI, a seleção de genótipos com alta estabilidade, geralmente, resulta em baixas produtividades de grãos e, reciprocamente, a seleção para produtividades de grãos mais altas pode conduzir à menor estabilidade (PACHECO et al., 2005). Os genótipos MNC03-737F-5-1 (8) e BRS-Itaim (19) obtiveram produtividade de grãos acima da média geral e ao mesmo tempo foram um dos mais previsíveis, evidenciando que estes reúne adaptabilidade geral (EBERHART e RUSSEL, 1966), podendo ser cultivada em todos os ambientes estudados.

4.6. Comparações entre os métodos utilizados

Houve uma certa concordância na classificação de alguns genótipos entre os métodos utilizados. Principalmente entre os métodos de regressão linear simples e regressão linear bissegmentada, ou seja, Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e também entre os métodos de Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992) (Quadro 14).

Percebe-se que as metodologias de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) classificaram de forma similar os genótipos BRS-Tumucumaque e BRS-Guariba, que foram classificados na primeira e segunda colocação, respectivamente, em termos de estabilidade nas duas metodologias, reforçando a previsibilidade desses genótipos. Deve-se ressaltar ainda que, ambos os genótipo foram os mais produtivos.

QUADRO 14. Classificações genótípicas segundo a produtividade de grãos e as metodologias utilizadas na descrição de adaptabilidade e estabilidade dos 20 genótipos de feijão-caupi em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Genótipos	PROD	MF	MD	E&R	CRUZ	L&B	ANI	AMMI
MNC02-675F-4-9	14°	11°	16°	4°	5°	13°	11°	11°
MNC02-675F-4-2	15°	14°	15°	8°	9°	15°	15°	9°
MNC02-675F-9-2	18°	18°	19°	1°	2°	17°	19°	5°
MNC02-675F-9-3	16°	16°	13°	6°	7°	14°	18°	1°
MNC02-676F-3	8°	12°	4°	13°	12°	6°	7°	15°
MNC02-682F-2-6	3°	15°	2°	20°	19°	3°	3°	20°
MNC02-683F-1	17°	19°	9°	17°	18°	19°	14°	8°
MNC02-684F-5-6	7°	10°	5°	5°	6°	5°	4°	2°
MNC03-725F-3	10°	7°	11°	7°	4°	7°	6°	17°
MNC03-736F-7	20°	20°	14°	16°	13°	20°	17°	3°
MNC03-737F-5-1	4°	2°	18°	9°	15°	4°	12°	18°
MNC03-737F-5-4	12°	4°	17°	2°	14°	8°	16°	6°
MNC03-737F-5-9	11°	6°	12°	3°	3°	9°	13°	14°
MNC03-737F-5-10	19°	13°	20°	10°	8°	18°	20°	13°
MNC03-737F-5-11	5°	5°	10°	14°	1°	11°	9°	19°
MNC03-737F-11	13°	17°	7°	19°	20°	16°	10°	7°
BRS-Tumucumaque	1°	1°	1°	12°	10°	1°	1°	10°
BRS-Cauame	6°	8°	6°	18°	16°	10°	5°	16°
BRS-Itaim	9°	9°	8°	15°	17°	12°	8°	4°
BRS-Guariba	2°	3°	3°	11°	11°	2°	2°	12°
Média geral	854,53							

PROD: produtividade média de grãos; MF: produtividade média de grãos nos ambientes favoráveis; MD: produtividade média de grãos nos ambientes desfavoráveis; E&R: classificação de acordo o método de Eberhart e Russell (1966); CRUZ: classificação de acordo com a método Cruz, Torres e Vencovsky (1989); L&B: classificação de acordo o método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998); ANI: classificação de acordo o método de Annicchiarico (1992).

Resultado similar ocorreu entre os métodos de Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), entretanto nestas metodologias os genótipos melhores classificados foram MNC02-675F-9-2, MNC03-737F-5-4 e MNC03-737F-5-9 pelo método de Eberhart e Russell (1966), e MNC03-737F-5-11, MNC02-675F-9-2 e MNC03-737F-5-9 pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), pode se observar que os três melhores genótipos se repetem nas metodologias mudando apenas a ordenação dos mesmos.

Pode-se observar ainda que a classificação dos genótipos pelo método AMMI não apresentou similaridade com nenhum outro método utilizado, o que reforça o fato que este método baseado na análise multiplicativa para o efeito da interação traz resultados, de uma forma geral, complementares para melhor predizer o desempenho dos genótipos no diferentes ambientes avaliados.

Essa comparação serve 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 materiais para determinados ambientes (SILVA e DUARTE, 2006).

Observa-se que 50% das correlações estimadas apresentaram significância ($p < 0,01$), evidenciando certo grau de associação no conjunto dos parâmetros considerados, o que, contudo não garante concordância geral entre eles. Pode-se observar ainda que, de forma geral, predominaram estimativas de correlações baixas (Quadro 15).

QUADRO 15. Coeficientes de correlação de Spearman entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelos métodos de Eberhart e Russell (β_i e S^2d_i), Annicchiarico (ω_i) de Cruz, Torres e Vencovsky (β_{1i} , β_{1+} β_2 e R^2), Lin e Binns (P_i) e AMMI, referentes ao caráter produtividade média de grãos ($\bar{Y}_{..}$), de 20 genótipos de feijão-caupi obtidos em 8 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul.

Parâmetros	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)							
	β_i	S^2d_i	ω_i	β_{1i}	β_{1+} β_2	R^2	P_i	AMMI
$\bar{Y}_{..}$	0,120 ^{ns}	-0,333 ^{ns}	0,872**	0,230 ^{ns}	-0,206 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,360**	-0,200 ^{ns}
β_i	-	0,318*	-0,229 ^{ns}	0,961**	0,595**	0,684**	-0,129 ^{ns}	-0,738**
S^2d_i		-	-0,451*	0,209*	0,169 ^{ns}	0,594**	-0,793**	0,360 ^{ns}
ω_i			-	-0,117 ^{ns}	-0,337 ^{ns}	-0,263 ^{ns}	-0,288 ^{ns}	-0,392 ^{ns}
β_{1i}				-	0,463*	0,648**	-0,028 ^{ns}	0,606**
β_{1+} β_2					-	0,293*	0,063 ^{ns}	0,830**
R^2						-	-0,407*	0,531**
P_i							-	-0,093 ^{ns}

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

Analisando-se as correlações entre os diversos parâmetros e a produtividade média de grãos ($\bar{Y}_{..}$), observa-se correlações positivas e significativas com os parâmetros ω_i e P_i , indicando que quanto maior a média maior a magnitude desses parâmetros, resultado esse coerente com as metodologias de Annicchiarico e Lin e Binns, pois nestas

metodologias quanto maior a produtividade de grãos maior é o índice de confiança ou recomendação.

Correlações não significativas e de baixa magnitude foram encontradas entre \bar{Y}_i e os parâmetros β_i , $\beta_1 + \beta_2$, R^2 e AMMI, o que indica que esses parâmetros são independentes apesar de variarem diretamente, ou seja, quando a média aumenta esses parâmetros crescem ou diminuem simultaneamente.

O parâmetro β_i apresentou correlações positivas de alta magnitude e significativas com os parâmetros β_{1i} , $\beta_1 + \beta_2$ e R^2 , indicando uma dependência diretamente proporcional. Então, pode-se inferir que os parâmetros para adaptabilidade β_i (EBERHART e RUSSELL, 1966) e β_{1i} (CRUZ, TORRES e VENCOVSKY, 1989), que caracterizam adaptabilidade a ambientes desfavoráveis, captam as mesmas informações. A alta correlação de β_i com o R^2 revela que estes parâmetros são linearmente associados, o que indica a não utilização de ambos na seleção para estabilidade (DUARTE, 1988).

Essa boa concordância entre os métodos que utilizam regressão linear simples e regressão bissegmentada, isto é, Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), garante tranquilidade aos usuários desses métodos, já difundidos em estudos dessa natureza; entretanto, pode-se dizer também que, existe um certo nível de informação redundante entre eles. Ademais, a falta de associação desses métodos, exceto o de Eberhart e Russell, com os que avaliam a contribuição genotípica para a interação G x E, reforça a tese de que alguma medida nesse sentido, como, por exemplo, a variância dos desvios da regressão ou os escores AMMI da interação G x E, deva ser utilizada em combinação com coeficientes de regressão.

Correlações positivas e significativas foram observadas entre β_i e S^2d_i e AMMI, evidenciando uma relação proporcional. Essa relação de dependência significa que ambos os parâmetros são calculados a partir da mesma fonte de variação. Vale ressaltar que o β_i reporta sobre adaptabilidade, enquanto S^2d_i (EBERHART e RUSSELL, 1966) e AMMI informam sobre estabilidade, então apesar de estarem associados condizem sobre propriedades ligadas, mas diferentes, deste modo esses parâmetros devem ser utilizados de forma complementar.

Observa-se altas associações significativas entre os parâmetros de Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) com o AMMI, o que indica que esses métodos ou parâmetros, de certa forma, se complementam, visto que o método de Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), em detrimento da análise

AMMI, informam sobre a responsividade de cada genótipo frente à melhoria ambiental. Por sua vez, a análise AMMI produz uma estimativa da contribuição genotípica para a interação G x E livre de ruídos, que o método de Eberhart e Russell não descarta (Silva e Duarte, 2006).

O parâmetro β_i apresentou correlações negativa e não significativa com P_i . Deste modo pode-se recomendar então o uso concomitante desses parâmetros de adaptabilidade de Eberhart e Russell (β_i), e Lin e Binns (P_i) já que reúnem informações diferentes acerca de um conjunto de genótipos avaliados. Resultados similares de baixa associação entre β_i e P_i foram encontrados também por Aremu et al. (2007).

O método de Annicchiarico (ω_i) correlacionou-se de forma negativa, não significativa e de baixa magnitude com todos os outros parâmetros. Isto se deve, ao fato deste procedimento captar informações diferentes dos demais métodos, o que justifica suas baixas correlações com a maioria deles.

O parâmetro de adaptabilidade β_{1i} , apresentou correlações positivas e significativas com os parâmetros $\beta_1 + \beta_2$, R^2 e AMMI, indicando uma forte associação entre eles, mesmo caracterizando os genótipos de forma diferente, ou seja β_{1i} informa sobre adaptação a condições desfavoráveis, $\beta_1 + \beta_2$ informa sobre adaptação a condições favoráveis, ao passo que R^2 reporta sobre a estabilidade e análise AMMI sobre a adaptabilidade e estabilidade, tornando esse um método mais completo.

Correlações positivas e significativa foram observadas entre o parâmetro S^2d_i e o parâmetro R^2 e negativa com o parâmetro P_i . A correlação negativa entre S^2d_i e P_i indica que esses parâmetros são diretamente dependentes e informam sobre as mesmas características genotípicas, o que não justifica o seu uso conjuntamente. Como o S^2d_i é um parâmetro associado à regressão, ele garante maiores informações a respeito do comportamento individual de cada genótipo, tornando-se preferível. Podendo-se recomendar o uso conjunto com a metodologia de Lin e Binns, uma vez que ambos trazem informações diferentes.

O método de Eberhart e Russell baseado na regressão linear, bastante utilizado por melhoristas, é indicado quando o objetivo é avaliar a adaptabilidade e a estabilidade e, simultaneamente, obter informações adicionais sobre recomendações de genótipos para determinados ambientes. Esse método é eficiente quando o comportamento dos materiais tende a ser linear nos ambientes. Caso contrário, o modelo

de regressão linear para estimar a estabilidade pode não ser apropriado e alternativas devem ser investigadas (LIN et al., 1986).

O uso da análise AMMI é recomendado para estudos de adaptabilidade e estabilidade, com um interesse na identificação das verdadeiras causas da interação G x E em si (DUARTE e VENCOVSKY, 1999). Isto é importante quando não se tem medidas sobre variáveis ambientais externas que contribuem para as interações G x E (VARGAS et al., 2001). Vários autores tem recomendado o método AMMI para analisar experimentos regionais e internacionais, os quais envolvem muitos dados (ZOBEL et al., 1988; GAUCH, 1990; YAU, 1995).

No entanto, esse método tem mostrado também ser eficiente mesmo nos casos em que o número de genótipos é baixo (ARIYO, 1998). Esse método foi mais informativo, pois explicou melhor a interação G x E e as relações adaptativas dos genótipos com os ambientes de forma mais precisa e específica, quando comparado aos métodos de regressão linear de Eberhart e Russell, regressão bissegmentada de Cruz, Torres e Vencovsky, a análise não-paramétrica de Lin e Binns e pela análise de variância de Annicchiarico.

5. CONCLUSÕES

As metodologias são similares quanto ao ordenamento das linhagens, entretanto diferem quanto a explicação, precisão e informação sobre a interação genótipos x ambientes;

O método AMMI, permite identificar com maior precisão, genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade e ambientes mais adequados para a seleção simultânea desses dois fatores;

Os genótipos que reúnem adaptabilidade e estabilidade produtiva, suficiente para recomendação para o estado de Mato Grosso do Sul, foram: MNC03-737F-5-1, BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC02-684F-5-6, MNC03-725F-3, MNC02-682F-2-6, BRS-Cauame, BRS-Itaim e MNC03-737F-5-11;

Os métodos de Eberhart e Russell, Lin e Binns e AMMI podem ser utilizados de forma complementar para melhor predizer o comportamento dos genótipos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n.5, p.503-508, 1964.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*vigna unguiculata* (L.) Walp); Teresina: Embrapa Meio Norte, 2002. 110 p. (Embrapa Meio Norte. Sistema de Produção, 2).

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v.4, p.269-278, 1992.

AREMU, C. O., ARIYO, O. J., ADEWALE, B. D. Assessment of selection techniques in genotype X environment interaction in cowpea *Vigna Unguiculata* (L.) Walp. **African Journal of Agricultural Research**, v.2, n.8, p. 352-355, 2007.

ARIYO, O.J. Use of additive main effects and multiplicative interaction model to analyse multilocation soybean varietal trials. **Journal of Genetics & Breeding**, v.53, n.2, p.129-134, 1998.

BARROS, H. B. ; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. ; REIS, M. S. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade genótipos de soja. **Scientia Agraria**, Santa Maria, v.9, n.3, 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. Correlations among some statistical measure of phenotypic stability. **Euphytica**, Dordrecht, v. 30, p. 835-840, 1981.

BECKER, H. C.; LEON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, v.101, p. 1- 23, 1988.

BONDARI, K. **Statistical analysis of genotype x environment in agricultural research**. Proceedings of the 11th Annual Conference of the South East SAS Users Group-Statistics; Data Analysis Section, Paper SD15, 2003.

BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. v. 1. 525 p.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; RESENDE, M.D.; DIAS, L.A.S.; BERALDO, A.L.A.; PERINA, E.F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em

diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.193-201, 2007

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.

CUCOLOTTO, M.; PÍPOLO, V.C.; GARBUGLIO, D.D.; FONSECA Jr, N.S.; DESTRO, D.; KAMIKOGA, M.K. Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.7, n.3, p.270-277, 2007.

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**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. UFV, v.2, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2006. 390 p.

DASHIEL, K.E.; ARIYO, O.J.; BELLO, L.; OJO, K. Genotype x environment interaction and simultaneous selection for high yield and stability in soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Annals of Applied Biology**, v.124, n.1, p.133-139, 1994.

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**, Londrina, v.34, n.3, p.1065-1076, 2013.

DUARTE, J.B. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em cultivares de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1988. 155f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9.).

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

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Field Crops Research**, n.53, p.187-204, 1997.

ELIAS, H. T.; HEMP, S.; SCAPIM, C. A.; RODOVALHO, M. de.; ROYER, M. R.; MORA, F.; BARRETO, R. R. Análise de estabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.4, p.623-628, 2005.

FARIA, A. P.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J. S.; SILVA, C. F. B.; DESTRO, D. Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringa, v. 31, n. 4, p. 579-585, 2009.

FARIAS, F. J. C.; RAMALHO, M. A. P. R.; CARVALHO, L. P.; MOREIRA, J. A. N.; COSTA, J. N. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin & Binns (1988) comparados com o método da regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.4, p.407-414, 1997.

FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SIMPLÍCIO, A. A.; BEZERRA NETO, F.; TORRES, J.; REGO NETO, J. Comportamento ambiental e estabilidade produtiva de cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.11, p.1555- 1560, 1990.

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**, Lavras, 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**, 14:742-754,1963.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M.; LOPES, A.C.A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte ereto enramador. **Revista Ceres**, Viçosa, v.49, p.383-393, 2002.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi**: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ALCÂNTARA, J.P.; BELARMINO FILHO, J.; ROCHA, M.M. BRS Marataoã: nova cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-verde. **Revista Ceres**, Viçosa, v.52, p.771-777, 2006.

FREIRE FILHO, F. R., RIBEIRO, V. Q., ROCHA, M. M., LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de caupi enramador de tegumento mulato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.5, p.591-598, 2003.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi**: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 2011. 81p.

FROTA, A. B.; PEREIRA, P. R. Caracterização da produção do feijão caupi na região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (ed). **A Cultura do Feijão Caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 9-25.

GARBUGLIO, D. D.; GERAGE, A. C.; ARAUJO, P. M.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; SHIOGA, P. S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.183-191, 2007.

GAUCH, H.G. **Statistical analysis of regional yield trial: AMMI analysis of factorial designs**. New York: Elsevier Science, 1992, 278p.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (Ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. v.4, p.85-122.

GOLLOB, H.F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, Baltimore, v.33, n.1, p.73-115. 1968.

HOOGERHEIDE, E.S.S.; FARIAS, F.J.C.; VENCOVSKY, R.; FREIRE, E.C. Estabilidade fenotípica de genótipos de algodoeiro no estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.5, 9p., 2007.

LAVORANTI, O. J.; DIAS, C. T. S.; VENCOVSKY, R. Estudo da estabilidade e adaptabilidade fenotípica de progênies de *Eucalyptus grandis*, via metodologia AMMI. *Boletim de Pesquisa Florestal - Unidade Regional de Pesquisa Florestal*, v. 44, n. 1, p. 107-124, 2002.

LAVORANTI, O. J. **Modelagem AMMI para estudos de interação em modelos estatísticos de efeitos fixos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 7 p. (Comunicado Técnico, 124).

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**. v.68, n.1, p.193-198, 1988.

LIN, C. S; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis. Where do we stand? **Crop Science**, Madison, v. 26, p. 894-899, 1986.

MAIA, M.C.C.; VELLO, N.A.; ROCHA, M.M.; PINHEIRO, J.B.; SILVA Jr, N.F. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agrônômicos, através de método uni-multivariado. **Bragantia**, Campinas, v.6, p.215-226, 2006.

MARQUES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SEDIYAMA, T.; BUENO, M. R.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.59-69, 2011

MAURO, A.O.; CURCIOLI, V.B.; NÓBREGA, J.C. M.; BANZATO, D.A.; SEDIYAMA, T. Correlação entre medidas paramétricas e não paramétricas de estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.687-696, 2000.

MANDEL, J. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, Washington, v. 13, n. 1, p.1-18, 1971.

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**, Maringá, v.20, n.3, p.249-255, 1998.

MIRANDA, G.V.; SOUZA, L.V.; GUIMARÃES, L.J.M.; NAMORATO, H.; OLIVEIRA, L.R.; SOARES, M.O. Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.45-50, 2009.

MORAIS, L.K.; PINHEIRO, J.B.; MOURA, M.F.; AGUIAR, A.V.; DUARTE, J.B.; CARBONELL, S.A.M.; ZUCCHI, M.I.; MOURA, N.F. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura utilizando a metodologia AMMI. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, p.7-14. 2003.

MORAIS, L.K. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul**. 2005. 98f. Tese (Doutorado). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

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**, Viçosa, v.46, p.625-633, 1999.

NG, N. Q.; MARÉCHAL, R. Cowpea taxonomy, origin germ plasm. In: SINCH, S. R.; RACHIE, K. O., eds. **Cowpea research, production and utilization**. Cheichecter: John Wiley, 1985. p.11-21.

OLIVEIRA, A.B.; DUARTE, J.B.; PINHEIRO, J.B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.357-364, 2003.

OLIVEIRA, A.P.; TAVARES SOBRINHO, J.; NASCIMENTO, J.T.; ALVES, A.U.; ALBUQUERQUE, I. C.; BRUNO, G. B. Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.180-182, 2002.

PACHECO, R.M.; DUARTE, J.B.; ASSUNÇÃO, M.S; NUNES Jr, J.; CHAVES, A.A.P. Zoneamento e adaptação produtiva de genótipos de soja de ciclo médio de maturação para Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, p.23-27, 2003.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R.; PINHEIRO, J. B.; OLIVEIRA, A. B. Use of supplementary genotypes in AMMI analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.110, n.5, p. 812-818, 2005.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p.1-12.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.4, p.374-383, 2009.

RAIZER, A. J.; VENCOVSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 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 autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. Ed. Lavras, UFLA, 2012a. 328p.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU A. de F.B.; SANTOS J.B. dos; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ufla, 2012b. 522p.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. 1. ed. Colombo: Embrapa, v. 1, 561 p, 2007.

ROCHA, M. M.; VELLO, N. A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.69-81, 1999.

ROCHA, M.M. Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica. 2002. 173f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROCHA, M.M.; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; CARVALHO, H.W.L.; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J.A.A.; ALCÂNTARA, J.P.; RAMOS, S.R.R.; MACHADO, C.F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.1283-1289, 2007

SAMONTE, S.O.P.B.; WILSON, L.T.; MCCLUNG, A.M.; MEDLEY, J.C. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. **Crop Science**, Madison, v.45, p.2414-2424. 2005.

SANTOS, C. A. F., ARAÚJO, F. P., MENEZES, E. A. Comportamento produtivo de caupi em regimes irrigado e de sequeiro em Petrolina e Juazeiro, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2229-2234, nov. 2000.

SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. An application of segmented linear regression to the study of genotypes environment interaction. **Biometrics**, Raleigh, v.41, n.4, p.1093, 1986.

SILVA, W. C. J. e; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, 2006.

SINGH, B. B.; EHLERS J. D.; SHARMA B.; FREIRE FILHO, F. R. Recente progress in cowpea breeding. In: FATOKUN C.A.; TARAWALI, S.A; SINGH B.B.; KORMAWA, P. M.; TAMO, M. (eds.). **Challenges and opportunities for enchancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, p. 22-40, 2002.

SILVA, W. C. J., DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, jan. 2006.

SCHMILDT, E.R. **Correção de rendimento de parcelas, estratificação ambiental e adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho**. 2000. 110f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

STEELE, W. M, MEHRA, K. L. Structure, evolution and adaptation to farming system and invernment in Vigna. In: SUMMERFIELD, D.R; BUNTING, A. H. **Advances in legume science**, p. 459-468, 1980.

VALADARES, R. DE N., MOURA, M. DA C.C.L., SILVA, A.F.A. DA, SILVA, L.S. DA VASCONCELOS, M. C. C. A., SILVA, R.G. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de porte ereto/semi-ereto nas Mesorregiões Leste e Sul maranhense. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v.6, n.2, p.21-27, 2010.

VALENZUELA, H.; SMITH, J. **Cowpea**. Cooperative Extension Service. **College of Tropical Agriculture and Human Resource**, p.4. 2002.

VARGAS, M.; CROSSA, J.; VAN EEUWIJK, F.; SAYRE, K.D.; REYNOLDS, M.P. Interpreting treatment x environment in agronomy trials. **Agronomy Journal**, v.93, n.4, p.949-960, 2001.

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

VERMA, M.M., CHAHAL, G.S., MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical And Applied Genetics**, Berlin, v.53, p.89-91, 1978.

YAN, W.; KANG, M.S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P.L. GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by-Environment Data. **Crop Science**, Madison, v.47, p.643-653, 2007.

YAU, S. K. Regression and AMMI analyses of genotype x environment interactions: na empirical comparison. **Agronomy Journal**, v.87, n.1, p.121-126, 1995.

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