

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA EM GENÓTIPOS
DE FEIJÃO-PRETO**

SILMARE NOGUEIRA DO NASCIMENTO PEREIRA

RECIFE - PE

2022

SILMARE NOGUEIRA DO NASCIMENTO PEREIRA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA EM GENÓTIPOS
DE FEIJÃO-PRETO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Melhoramento Genético de Plantas, para obtenção do título de Mestra.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Orientador: Dr. Antonio Francisco de Mendonça Júnior

Co-orientadores: Dra. Ana Paula Medeiros dos Santos Rodrigues

RECIFE - PE

2022

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-PRETO

SILMARE NOGUEIRA DO NASCIMENTO PEREIRA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 31/05/2022

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Dr. Antonio Francisco de Mendonça Júnior (Orientador)

Dra. Ana Paula Medeiros dos Santos Rodrigues (Co-orientadora)

EXAMINADORES:

Dr. Antonio Félix da Costa (Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA)

Dr. Frederico Inácio Costa de Oliveira (UFRPE)

RECIFE – PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436a Pereira, Silmare Nogueira do Nascimento
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-PRETO / Silmare
Nogueira do Nascimento Pereira. - 2022.
39 f. : il.

Orientador: Antonio Francisco de Mendonca Junior.
Coorientadora: Ana Paula Medeiros dos Santos Rodrigues.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas, Recife, 2022.

1. AMMI. 2. Interação genótipo por ambiente. 3. Produtividade. I. Junior, Antonio Francisco de
Mendonca, orient. II. Rodrigues, Ana Paula Medeiros dos Santos, coorient. III. Título

CDD 581.15

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido chegar até aqui, por me conceder força e perseverança para trilhar essa jornada com determinação.

À minha família, minha base, meus pais e meus irmãos, por sempre apoiarem meus sonhos, acreditarem e investirem em mim; por se alegrarem a cada conquista minha e suportarem meus dias de pressão sem enlouquecer, dando-me espaço e tempo, orando por mim e preparando um café.

Às minhas avós, tios e primos, por seu carinho incontestável, pela compreensão, por sempre me ajudarem de boa vontade; eu sou uma pessoa mais feliz por ter vocês na minha vida.

Aos meus orientadores, Antonio e Ana Paula, que foram como pais para mim, ensinando com paciência, incentivando e sempre dispostos a me ajudar. Obrigada por cada palavra e por todo ensinamento.

A Erivaldo Pereira, meu Porto Seguro, por me fortalecer e impedir que eu desmoronasse mesmo quando o mundo à minha volta estava um caos. Obrigada por seu carinho e amor incondicional, por nunca ter medido esforços para me ajudar, pelo apoio e companheirismo.

Aos meus bioamigos, a quem eu posso sempre recorrer e que fazem tudo valer a pena, em especial: Amanda Tavares e Brenno Januário.

A Matheus Moraes, meu Reshi, por suas playlists impecáveis que me mantiveram acordada mais noites do que eu gostaria.

Às amigadas que nasceram no mestrado, Veruska Carla, Elielma Moura, Gércia Gonçalves, Francismery Barros e Carlos Roberto; o perrengue ficou mais suportável com vocês.

Aos demais amigos, de perto e de longe, pela prontidão em me socorrer, tanto com orações como com outros recursos: Sara Neves, Hugo Torres, Marcio Roberto.

A todos vocês,

Obrigado!

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Biplot AMMI2 para produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco31

FIGURA 2. Biplot AMMI1 para produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Relação dos genótipos de feijão preto utilizados nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso, nos anos agrícolas 2011 e 2012	21
TABELA 2. Ambientes dos ensaios de avaliação de Valor de Cultivo e Uso em Pernambuco	22
TABELA 3. Resumo da análise de variância individual, referente à produtividade de grãos (kg/ha), de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco	26
TABELA 4. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg/ha) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco	27
TABELA 5. Estimativas dos parâmetros P_i gerais, favoráveis e desfavoráveis referentes à produtividade de grãos (kg/ha) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco	28
TABELA 6. Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo metodologia de Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998), referentes à produtividade de grãos (kg/ha) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco	29
TABELA 7. Resumo da análise de variância segundo o método AMMI da variável produtividade de grãos (kg/ha), para 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco	30

TABELA 8. Classificação genotípica segundo as metodologias utilizadas para descrição de adaptabilidade e estabilidade dos 15 genótipos de feijão preto em sete ambientes no estado de Pernambuco	34
--	----

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1. Feijão comum: Importância socioeconômica	2
2.2. Origem e classificação botânica	3
2.4. Melhoramento genético	5
2.5. Interação Genótipo-Ambiente (GxA)	6
2.6. Adaptabilidade e estabilidade	7
2.6.1. Lin e Binns (1986) modificada por Carneiro (1988)	9
2.6.2. AMMI	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Análises Estatísticas	12
3.2. Análises individuais e análise conjunta	12
3.3. Análises de adaptabilidade e estabilidade	13
3.4. Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)	13
3.5. Método AMMI	14
4.1. Método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)	16
4.2. Análise AMMI	19
5. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	25

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão preto em sete ambientes, no estado de Pernambuco, de acordo com as metodologias de Lin e Binns e AMMI. Os experimentos foram realizados no ano de 2011 em Araripina, São João, Belém de São Francisco, Petrolina e Caruaru; e em 2012, nos municípios de Belém de São Francisco e Petrolina, sendo que cada ambiente foi determinado pela combinação de local x ano de cultivo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de quatro metros de comprimento, sendo a área útil formada pelas duas fileiras centrais (4m²). As metodologias divergiram quanto ao ordenamento dos genótipos, diferenciando também quanto à explicação, precisão e informação sobre a interação genótipos por ambientes. O método de Lin e Binns caracterizou simultaneamente os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade utilizando apenas o indicador P_i , enquanto a metodologia AMMI explicou a maior parte da interação GxA nos dois primeiros CPIs e permitiu identificar, de forma mais precisa, genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade e ambientes mais adequados para a seleção simultânea desses dois fatores. As cultivares BRS Esplendor (G14) e BRS Campeiro (G1) apresentaram as maiores médias de produtividade, sendo classificados como de ampla adaptabilidade e alta estabilidade. Os genótipos CNFP 15194 (G10) e CNFP 15177 (G6) obtiveram produtividade acima da média geral e interação positiva com o ambiente A2 (município de São João, ano 2011), sendo este classificado pelo método AMMI como um dos ambientes mais estáveis para produção de feijão preto em Pernambuco. A metodologia de Lin e Binns associa maior estabilidade com maior produtividade e a AMMI proporciona a verificação de adaptabilidade específica, dessa forma, apesar das divergências, é aconselhável o uso desses dois métodos de forma conjunta, permitindo melhor avaliação geral e maior segurança na hora de recomendação de genótipos.

Palavras-chave: AMMI; Interação genótipo por ambiente; Produtividade.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the adaptability and productive stability of black bean genotypes in seven environments, in the state of Pernambuco, according to the methodologies of Lin and Binns and AMMI. The experiments were carried out in 2011 in Araripina, São João, Belém de São Francisco, Petrolina and Caruaru; and in 2012, in the municipalities of Belém de São Francisco and Petrolina, with each environment being determined by the combination of location x year of cultivation. The experimental design was randomized blocks, with three replications. The experimental plot consisted of four rows of four meters in length, the two central rows (4 m²) being the useful area for obtaining yield data. The methodologies differed regarding the ordering of genotypes, also differing in terms of explanation, precision and information about the interaction between genotypes by environments. The Lin and Binns method simultaneously characterized the genotypes for adaptability and stability using only the Pi indicator, while the AMMI methodology explained most of the G x E interaction in the first two CPIs and allowed to identify more precisely genotypes superior in adaptability and stability. and environments more suitable for the simultaneous selection of these two factors. The cultivars BRS Esplendor (G14) and BRS Campeiro (G1) showed the highest productivity averages, being classified as having wide adaptability and high stability. The CNFP 15194 (G10) and CNFP 15177 (G6) genotypes obtained above-average productivity and positive interaction with the A2 environment (Municipality of São João, year 2011), which was classified by the AMMI method as one of the most stable environments for production. of black beans in Pernambuco. The Lin and Binns methodology associates greater stability with greater productivity and the AMMI provides the verification of specific adaptability genotype recommendation.

Keywords: AMMI; Genotype by environment interaction; Productivity.

1.INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a leguminosa mais importante para consumo direto no mundo (FAO, 2019), destacando-se pelo teor de proteína no grão, que pode chegar a 36%. Atualmente, o Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão, produzindo, em 2020, mais de 3,2 milhões de toneladas do grão. Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Bahia são os principais estados produtores e somaram 67% do total nacional (CONAB, 2020), embora a espécie possa ser cultivada em quase todo o país e em diferentes épocas do ano (SILVA, 2018).

Diante da diversidade de condições edafoclimáticas, é necessário, nas etapas finais dos programas de melhoramento, que os genótipos sejam submetidos a ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), a fim de serem testados em diversos ambientes, para que sejam selecionados aqueles com melhor desempenho. No entanto, o mesmo genótipo pode apresentar desempenho diferente nos vários ambientes. Essa diferença de comportamento se dá pela interação entre o genótipo e o ambiente (GxA) e varia de intensidade conforme a adaptação do genótipo às condições do meio.

A interação GxA faz com que a maioria das linhagens seja adaptada a ambientes específicos, promovendo diferenças no desempenho dos genótipos avaliados. Isso dificulta a identificação e recomendação das linhagens superiores, sendo necessários estudos para avaliar o tipo e grau dessa interação, a partir de análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (SILVA et al., 2011).

Nesse contexto, vários métodos já foram propostos para avaliação da adaptabilidade e estabilidade. Em feijão, os mais utilizados são os baseados em análise de regressão linear simples (EBERHART e RUSSEL, 1966), análise de variância (ANNICCHIARICO, 1992), análises não paramétricas (LIN e BINNS, 1988 modificado por CANEIRO, 1998) e técnicas multivariadas (AMMI) (PEREIRA, 2009).

O método a ser usado varia de acordo com os dados experimentais, número de ambientes e precisão requerida no estudo. O método proposto por Eberhart & Russel (1966) é amplamente utilizado nos programas de melhoramento por considerar simultaneamente produtividade, estabilidade e adaptabilidade, porém seu nível de precisão é baixo quando a quantidade de ambientes é inferior a dez (NASCIMENTO et al., 2013). De acordo com Cargnelutti Filho (2007), os métodos baseados em

análise de variância, como o sugerido por Annicchiarico (1992), estão associados a cultivares mais estáveis, porém menos produtivas e mais indicadas a ambientes desfavoráveis.

O método de Lin e Binns (1988), modificado por Carneiro (1998), permite a indicação de cultivares de alta produtividade, adaptadas a ambientes favoráveis. Trabalhos como os de Melo et al. (2007), Silva Filho et al. (2008) e Pereira (2009) recomendam a utilização de Lin e Binns (1988) com AMMI para obtenção de informações complementares.

Frente a isso, o objetivo deste trabalho foi analisar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão comum do tipo preto, avaliados em ensaios de VCU em Pernambuco, utilizando diferentes métodos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Feijão comum: Importância socioeconômica

O feijão comum é considerado a leguminosa mais importante para o consumo direto no mundo, sendo cultivada em 150 países (FAO, 2019). Suas sementes apresentam um teor de 22 a 36% de proteína, a depender da cultivar (MESQUITA et al., 2007), e é de um custo menor quando comparada à proteína de origem animal (FERREIRA, 2013). Além de ser uma excelente fonte proteica, também apresenta outros importantes nutrientes como ferro, fósforo, magnésio, zinco e cálcio; possui grande quantidade de fibras solúveis, sendo capaz de reduzir níveis de colesterol e de açúcar, auxiliando ainda na prevenção do câncer de cólon (MESQUITA et al., 2007; FERREIRA, 2013; NUNES, 2017).

No Brasil, há uma regionalização quanto à preferência de consumo dos tipos de feijão comum pela população, sendo o carioca o mais cultivado e consumido. O feijão tipo preto é o segundo mais produzido e possui melhor aceitação nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo (SILVA, 2018).

Além do uso para consumo humano, os subprodutos gerados a partir da cultura do feijão (caule, folha e vagem seca) são utilizados na alimentação animal, na forma de forragem, misturados com rações ou *in natura*, contribuindo com energia e aminoácidos (SHARASIA et al., 2017).

A cultura do feijão é uma das mais importantes para o agronegócio brasileiro, com 372 cultivares registradas (MAPA, 2021), sendo produzidas em todas as regiões. O cultivo se dá por pequenos, médios e grandes produtores, desempenhando um alto papel socioeconômico. A cadeia produtiva gera ocupação e renda, abrangendo tanto o uso de altas tecnologias quanto o emprego de mão de obra menos qualificada (NUNES, 2017).

O feijão é cultivado durante todo o ano, por meio de três safras: primavera-verão (águas), verão-outono (seca) e outono-inverno (inverno). As safras são divididas conforme o período de colheita, sendo a 1ª safra com colheita de novembro a março; a 2ª safra com colheita de abril a julho e a 3ª safra correspondendo à colheita de agosto a outubro (SILVA, 2018).

2.2. Origem e classificação botânica

O feijão comum pertence à família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris*. Segundo Ferreira (2008), o gênero *Phaseolus* possui por volta de 50 espécies e apenas cinco delas são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray e *P. polyanthus* Greeman.

Quanto ao sistema reprodutivo, o feijão é uma espécie predominantemente autógama. A estrutura morfológica da flor do feijoeiro faz com que o androceu esteja protegido pelas pétalas, normalmente com nove estames fixos na base e apenas um livre, e a liberação do pólen ocorre aproximadamente no mesmo momento da abertura da flor, causando a autofecundação; esse mecanismo de autogamia é conhecido como cleistogamia. No entanto, apesar de sua morfologia floral, existe a possibilidade de fecundação cruzada natural, numa taxa de menos de 2%, sendo realizada a partir de insetos (RAMALHO, 1982; ROYER et al, 2002; PETERNELLI e BOREN, 2009).

A origem evolutiva do gênero *Phaseolus* está no continente americano (VAVILOV, 1931), porém não há um consenso sobre o local exato. Dessa forma, os centros de origem do gênero, quando tomado por base o feijão comum, são classificados em quatro *pools* gênicos: primário, secundário, terciário e quaternário (DEBOUCK, 1999). Deste, o mais importante é o *pool* primário, formado pelas espécies cultivadas e por espécies silvestres, sendo estas os ancestrais mais próximos do feijão. Não há barreiras de cruzamento entre as espécies deste *pool*, de

modo que híbridos entre os feijões cultivados e silvestres são férteis (FERREIRA, 2008). Vale ressaltar que, os demais pools gênicos são importantes fontes de germoplasma, podendo ser usados para cruzamentos que visem ampliar a base genética do feijão.

Pesquisadores estimam que *P. vulgaris* foi domesticada a partir do ano 10.000 a.C., tendo dois principais centros de domesticação independentes (GRIGOLO et al., 2018). O primeiro está na América Central, maiormente no México, de onde se originaram as cultivares de grãos considerados pequenos. O segundo se encontra no sul dos Andes e originou as cultivares com sementes grandes.

2.3. Produção

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão comum. Em 2020 a produção brasileira foi de mais de 3,2 milhões de toneladas. Os principais estados produtores são o Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Bahia, responsáveis por 67% da produção nacional (CONAB, 2020).

O aumento da produção brasileira de feijão comum se deu em duas fases distintas, de 1960 a meados da década de 1980 (quando o aumento da produção se deu pela expansão da área cultivada) e de meados da década de 1980 em diante (quando o crescimento se deu pelo aumento dos rendimentos) (FAO, 2019).

Inicialmente, as áreas de cultivo do feijão estavam nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; a partir da década de 1960, as áreas cultivadas expandiram-se para o Cerrado e partes do Nordeste. Esta novidade de cultivo para o Cerrado chamou atenção de grandes produtores, que visavam a mecanização da cultura. Embora o rendimento tenha sido baixo, o aumento da área cultivada elevou a taxa de crescimento da produção, chegando a 2,54 milhões de toneladas em 1985.

A partir de 1986 as áreas cultivadas com feijão diminuíram no Brasil, porém com a melhoria das tecnologias de produção e os investimentos na agricultura nacional a partir dos sistemas de pesquisa, tanto em nível nacional como estadual, a produtividade de feijão no país foi significativamente otimizada, colaborando para o desenvolvimento de cultivares cada vez mais produtivas, com rendimentos estáveis e adaptados aos variados sistemas de produção (DELFINI et al., 2017).

2.4. Melhoramento genético

Acredita-se que grande parte dos genótipos existentes de feijão tenham sido introduzidos de um mesmo genótipo em diversos locais, porém a identificação original não foi mantida (HEMP et al., 1999). Esses genótipos se diferenciaram a partir de hibridação, seleção natural, mutação e, principalmente, pelo uso contínuo das sementes pelos agricultores, resultando numa seleção artificial.

Na década de 1930, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou o melhoramento genético do feijão no Brasil ao iniciar avaliações das linhagens introduzidas. Atualmente, os principais programas de melhoramento da cultura são desenvolvidos pela Embrapa Arroz e Feijão, Embrapa Clima Temperado, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) (PAULA JÚNIOR e WENDLAND, 2012).

O aumento da produtividade de grãos é uma das características mais trabalhadas nos programas de melhoramento, porém essa característica não é a única de importância, quando se trata da aceitação de uma cultivar no mercado. Características como arquitetura de plantas, resistência a pragas e doenças e precocidade têm sido amplamente valorizadas pelos produtores.

A arquitetura da planta ereta possibilita a colheita mecanizada, resultando em uma baixa perda, além de permitir uma maior circulação de ar entre as plantas, o que reflete numa menor incidência de doenças e melhora a qualidade dos grãos, por conta da redução de umidade nas vagens. Cultivares resistentes a patógenos possuem estabilidade em relação ao seu desempenho agrônomo, além de uma maior sustentabilidade na produção. Um dos objetivos dos programas de melhoramento é, então, o desenvolvimento de cultivares que tenham resistência efetiva e duradoura. A precocidade é o que permite um retorno mais rápido do investimento, possibilita um manejo versátil nos sistemas de produção, funcionando como um escape em relação a pragas e doenças, bem como a períodos de seca (LÍVIO et al., 2019).

Além dessas características, os programas de melhoramento também visam o desenvolvimento de cultivares adaptadas às diversas condições climáticas, com eficiência na fixação de nitrogênio, baixo tempo de cozimento e qualidade tecnológica dos grãos (VALENTINI, 2010; TSUTSUMI et al., 2015).

Nas etapas finais dos programas de melhoramento, várias populações promissoras são testadas, anualmente, em diferentes ambientes, antes de serem

recomendados e multiplicados. Esses ambientes são, na maioria das vezes, distintos, resultando na interação genótipo-ambiente (GxA), sendo necessário estimar a magnitude e a natureza dessa interação (ROSADO, 2012).

2.5. Interação Genótipo-Ambiente (GxA)

O desenvolvimento das plantas não é consequência apenas de seu genótipo (G) ou dos efeitos do ambiente (A), mas desses dois fatores somados e adicionados à interação entre eles (GxA), sendo esta responsável por diferenças significativas no desempenho das cultivares, quando cultivadas em ambientes distintos (MOHAMMADI et al., 2007). Neste contexto, “ambiente” é um termo genérico que abrange uma série de condições sob as quais as plantas são cultivadas, podendo ser um local, período do ano, práticas culturais, época de semeadura ou todos esses fatores juntos (ROMAGOSA e FIX, 1993).

Essas variações ambientais são reunidas em dois grupos: previsíveis e imprevisíveis. As variações previsíveis são os fatores permanentes do ambiente, como tipo de solo e aqueles nos quais o homem atua de forma direta, como a época de plantio, tipo de adubação, salinidade, entre outros. Já as imprevisíveis, dizem respeito às condições que não são intrínsecas do ambiente, como flutuações climáticas atípicas e ocorrência de pragas e doenças (ALLARD e BRASDSHAW, 1964).

O mesmo genótipo pode apresentar desempenho diferente quando cultivado em ambientes diferentes. Essa divergência comportamental varia com maior ou menor intensidade conforme a adaptação do genótipo às condições do meio. Genótipos que apresentam uma baixa interação GxA são chamados estáveis e possuem um comportamento previsível em uma ampla gama de ambientes. Já os genótipos adaptados são aqueles que possuem uma elevada interação GxA, exibindo comportamentos discrepantes em função do ambiente onde estão sendo cultivados (HARDNER et al., 2010; HARDNER et al., 2011).

As variações da interação GxA podem ser associadas a dois fatores. O primeiro, considerado simples, está relacionado à variabilidade genética, neste caso as respostas fenotípicas em qualquer ambiente acarretariam na mesma classificação dos genótipos e a recomendação das cultivares pode ser feita de maneira generalizada. O segundo fator, denominado complexo, diz respeito à inversão de desempenho, falta

de uma correlação linear perfeita entre os genótipos, de um ambiente para o outro, sugerindo a presença de materiais adaptados a ambientes específicos, podendo ainda ser uma oportunidade para evidenciar a plasticidade e adaptação dos genótipos (BAKER, 1990; ROCHA et al., 2010; NUNES et al., 2011).

A presença da interação GxA é de grande importância para os programas de melhoramento. De maneira geral, as cultivares ideais deveriam possuir adaptabilidade a vários ambientes e terem boa estabilidade, mas a GxA faz com que a maioria das cultivares possuam adaptação às condições ambientais específicas, limitando sua recomendação pelos melhoristas. Nesse sentido, a interação GxA pode ser usada vantajosamente, de modo a maximizar os ganhos genéticos dos materiais adaptados (NUNES et al., 2002; SILVA et al., 2011).

Apesar da grande importância, apenas o estudo e análise da interação GxA não permite aos melhoristas ter informações completas e exatas sobre o desempenho de cada genótipo quando em ambientes diversificados. É necessário ainda serem realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Este conjunto permite a identificação de genótipos com desenvolvimento previsível, que possam ser recomendados a ambientes específicos ou a amplas condições ambientais (CRUZ et al., 2004; ROSADO et al., 2012).

2.6. Adaptabilidade e estabilidade

O termo adaptabilidade se refere à capacidade dos genótipos responderem aos estímulos ambientais de forma vantajosa e a estabilidade é definida como a capacidade dos genótipos de desempenharem um comportamento previsível, ou seja, produzirem baixas variações fenotípicas nas diversas condições ambientais (CRUZ e REGAZZI, 2001; SILVA et al., 2011). Os estudos de adaptabilidade e estabilidade permitem identificar as cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais (SILVA e DUARTE, 2006).

De acordo com Lin et al. (1986), a estabilidade pode ser subdividida em três tipos. O tipo 1 compreende genótipos com variâncias pequenas entre um ambiente e outro. Esta estabilidade é de nível biológico, assim o comportamento do genótipo é constante apesar da variação ambiental, o que significa dizer que o genótipo não responde positivamente à melhoria do ambiente. Este tipo de estabilidade está

normalmente relacionado à baixa produtividade e não é desejado em programas de melhoramento (BECKER, 1981).

No tipo 2, os genótipos estáveis são aqueles cujas respostas ao ambiente são paralelas à resposta média de todos os materiais avaliados, o que ocorre quando o genótipo tem um baixo grau de interação com o ambiente. Este tipo de estabilidade é considerado de sentido agrônômico e tem sido preferido, pois permite identificar genótipos com o potencial de se manterem estáveis entre os melhores em todos os ambientes. Vale ressaltar que um material estável em determinado grupo de cultivares não necessariamente será estável em um segundo grupo (BECKER, 1981; LIN et al., 1986).

A estabilidade tipo 3 considera estável o genótipo cujo quadrado médio do desvio de regressão for pequeno. Lin e Binns (1988) propuseram, posteriormente, o tipo 4 de estabilidade. Para identificação de genótipos estáveis, segundo esta classificação, é necessário avaliar as cultivares em uma determinada quantidade de anos e locais.

Vários métodos têm sido propostos para avaliação da adaptabilidade e estabilidade em experimentos multiambientais. Esses métodos diferem tanto nos procedimentos utilizados para medir a interação GxA quanto na representação e interpretação da mesma. As metodologias mais antigas são baseadas em uma única informação e são mais fáceis de serem interpretadas, porém não permitem avaliar o desempenho genotípico, para tanto as metodologias mais modernas, à medida em que foram sendo criadas, aumentaram o número de parâmetros a serem avaliados; por consequência, a interpretação tende a ser mais difícil (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

A escolha de um método para análise vai depender dos dados experimentais, do número de ambientes e da precisão requerida. É necessário ter em mente que alguns métodos são alternativos ao passo que outros podem ser usados conjuntamente, de forma complementar.

Segundo Pereira et al. (2009), os métodos mais utilizados para analisar adaptabilidade e estabilidade em feijão são Eberhart e Russel (1966) (baseado em regressão linear), Annicchiarico (1992) (análise de variância), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (não paramétrico) e o método de análise da interação multiplicativa dos efeitos principais aditivos (AMMI).

2.6.1. Lin e Binns (1986) modificada por Carneiro (1988)

Na metodologia proposta por Lin e Binns (1988), os autores definiram como medida para estimar a estabilidade e adaptabilidade o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente. Essa metodologia foi modificada por Carneiro (1998), em que foi sugerida a decomposição do estimador P_i nas partes devidas a ambientes favoráveis e desfavoráveis. Tais modificações trouxeram vantagens ao método como maior facilidade na interpretação, particularização da recomendação das cultivares a grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis. Além disso, contempla o genótipo desejado, já que classifica os genótipos de média alta e constante em ambientes desfavoráveis e com capacidade de resposta à melhoria da condição ambiental, tendo sido eleita por muitos autores a metodologia que melhor classificou e discriminou o conjunto de genótipos em diversas culturas (MURAKAMI et al., 2004; AMORIM et al., 2006; ALBRECHT et al. 2007; CARGNIN et al., 2008).

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 utilizam os índices ambientais favoráveis, incluindo o valor zero para estimar-se o P_{if} e da mesma forma mas com os índices ambientais desfavoráveis estima-se o P_{id} . (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.

2.6.2. AMMI

A análise AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis*) é uma combinação de métodos univariados (análise de variância) e métodos multivariados (análise de componentes principais e decomposição de valores singulares), que combina, em um único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos e de ambientes, e componentes multiplicativos para os efeitos da interação (ZOBEL et al., 1988).

O modelo AMMI decompõe os efeitos da interação GxA, realizando primeiramente uma análise prévia de variância comum à matriz de médias, onde estão estimados os efeitos principais - média geral, efeitos genotípicos e ambientais (o que é a parte aditiva) e depois o desdobramento da interação (parte multiplicativa) (TIMM, 2002). Com a identificação dos fatores ambientais e genotípicos mais diretamente relacionados à interação e com o descarte dos ruídos adicionais (presentes nos métodos tradicionais), a análise possibilita a seleção de genótipos mais produtivos, propicia estimativas mais precisas das respostas genotípicas e permite uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística, ajudando na identificação de genótipos superiores amplamente adaptados e na realização do zoneamento agrônômico (GAUCH e ZOBEL, 1996; 1988; OLIVEIRA et al., 2003; GONÇALVES et al., 2009, 2010).

Todavia, vale ressaltar que o caráter multivariado da análise AMMI difere um pouco da maioria das técnicas multivariadas, pois as medidas experimentais usadas nesta metodologia referem-se a um único caráter biológico (ex: produtividade de grãos), que recebe, num determinado momento, um tratamento estatístico multivariado. O método apresenta restrições, ainda, ao trabalhar com dados desbalanceados (ZALI et al., 2012; CARVALHO et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados quinze genótipos, sendo doze linhagens e três cultivares comerciais de feijão-preto, estando codificados de G1 a G15 (Tabela 1). Esses genótipos fazem parte da rede de ensaios de experimentos de Valor de Cultivo e Uso (VCU) em Pernambuco, conduzidos pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).

Tabela 1. Relação dos genótipos de feijão preto utilizados nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso, nos anos agrícolas 2011 e 2012.

Código	Nome	Linhagem/Cultivar	Instituição
G1	BRS Campeiro*	Cultivar	Embrapa
G2	CNFP 10104	Linhagem	Embrapa
G3	CNFP 10794	Linhagem	Embrapa
G4	CNFP 15171	Linhagem	Embrapa
G5	CNFP 15174	Linhagem	Embrapa
G6	CNFP 15177	Linhagem	Embrapa
G7	CNFP 15178	Linhagem	Embrapa
G8	CNFP 15188	Linhagem	Embrapa
G9	CNFP 15193	Linhagem	Embrapa
G10	CNFP 15194	Linhagem	Embrapa
G11	CNFP 15198	Linhagem	Embrapa
G12	CNFP 15207	Linhagem	Embrapa
G13	CNFP 15208	Linhagem	Embrapa
G14	BRS Esplendor*	Cultivar	Embrapa
G15	IPR Uirapuru*	Cultivar	IAPAR

*Testemunhas

Os experimentos foram realizados nos anos agrícolas de 2011 e 2012, nos municípios de Araripina, São João, Belém de São Francisco, Petrolina e Caruaru, todos localizados no estado de Pernambuco. Neste trabalho, o ambiente é dado pelo conjunto de local e ano, totalizando sete ambientes codificados de A1 a A7 (Tabela 2).

Tabela 2. Ambientes dos ensaios de avaliação de Valor de Cultivo e Uso em Pernambuco.

Código	Local	Ano Agrícola
A1	Araripina	2011
A2	São João	2011
A3	Belém de São Francisco*	2011
A4	Caruaru	2011
A5	Petrolina*	2011
A6	Belém de São Francisco*	2012
A7	Petrolina*	2012

*Sistema irrigado

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras, com quatro metros de comprimento, espaçadas de 0,5 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, correspondendo à densidade populacional de 200.000 plantas há⁻¹. As duas fileiras centrais constituíram a área útil, correspondente a 4 m², onde foram obtidos os dados de produtividade.

3.1. 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 foram estimados a partir das metodologias propostas por Lin e Binns (1988) modificadas por Carneiro (1998) e pelo método AMMI. As análises foram feitas utilizando-se o software GENES.

3.2. Análises individuais e análise conjunta

Foram realizadas as análises de variância individuais para cada ambiente, considerando-se todos os genótipos, com a finalidade de verificar a existência de variabilidade genética entre os tratamentos, a obtenção das estimativas dos erros experimentais visando testar a homogeneidade de variâncias (RAMALHO *et al.*, 2012) e a precisão experimental, 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} .

Em seguida, realizou-se uma análise de variância conjunta envolvendo o efeito de genótipos x ambientes para determinar possíveis interações GxA, sendo os efeitos de genótipo considerados fixos e do ambiente como aleatórios.

3.3. Análises de adaptabilidade e estabilidade

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

3.4. Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

O método de Lin e Binns (1988) foi modificado por Carneiro (1998). A primeira modificação realizada foi a decomposição de P_i nas partes devidas a ambientes favoráveis e desfavoráveis. Essa primeira modificação será tratada como Lin e Binns no presente trabalho. A estimativa de P_i é dada por:

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

Em que:

P_i : estimativa do parâmetro de estabilidade do i-ésimo genótipo;

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

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

n: número de ambientes.

3.5. Método AMMI

A análise AMMI engloba componentes aditivos, para estudar os efeitos principais, e componentes multiplicativos, para estudar a interação. Na análise de componentes principais, a variação contida nos componentes significativos é chamada de padrão, e a contida nos não significativos, de ruído. Para utilização da metodologia AMMI, o modelo utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{ik} a_{jk} + p_{ij} + \underline{\varepsilon}_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} : é a resposta média do genótipo i no ambiente j ;

μ : média geral dos ensaios;

g_i : efeito fixo do genótipo i ;

a_j : efeito fixo do ambiente j ;

λ_k : k -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interações original (denotada por GA);

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

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

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

$\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio. Mais detalhes são apresentados por Duarte e Vencovsky (1999).

A interpretação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos e ambientes foi baseada na análise gráfica em biplot (GABRIEL, 1971).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas diferenças significativas para produtividade de grãos em todos os ambientes. A produtividade média variou de 587,88 kg/ha (A5) a 2235,02

kg.ha⁻¹ (A1), destacando-se os ambientes A1 (Araripina/2011) e A3 (Belém de São Francisco/2011) como os mais favoráveis à produtividade, pois apresentaram as maiores médias (2235,02 kg.ha⁻¹ e 2200,31 kg.ha⁻¹, respectivamente). As altas produtividades médias encontradas nesses ambientes sugere condições favoráveis para o cultivo do feijão em Pernambuco (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância individual, referente à produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.

Ambientes	QM (Bloco)	QM (Genótipos)	QM (Resíduo)	C.V. (%)	Média
A1	73528,69**	600913,12**	37450,00	8,66	2235,02
A2	72403,36*	88704,37**	35046,16	12,3	1521,96
A3	85293,36**	644236,17**	43235,17	9,45	2200,31
A4	123522,32**	316304,06**	35382,96	11,13	1689,43
A5	40070,84**	136899,65**	7860,53	15,08	587,88
A6	195686,69**	249156,21**	46857,17	12,33	1755,58
A7	13533,49**	374967,87**	17223,58	15,19	864,12
GL	2	14	28	-	-

Quanto aos coeficientes de variação (C.V.%), os valores foram de 8,66% (A1) a 15,19% (A7), sendo classificados como baixo ou médio de acordo com Gomes (1990). Os ambientes A5 (Petrolina/2011) e A7 (Petrolina/2012) apresentaram maiores valores de CV (15,08% e 15,19%, respectivamente) e os ambientes A1 e A3 tiveram os valores mais baixos de CV (8,66% e 9,45%).

Houve diferença significativa para ambientes e interação GxA, confirmando a heterogeneidade tanto das condições ambientais nas quais foram realizados os experimentos quanto no comportamento diferenciado dos genótipos diante da variação ambiental, sendo necessário um estudo para identificar os genótipos de maior adaptabilidade e estabilidade (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.

FV	GL	QM
Blocos	2	181749,97
Genótipos	14	358453,55
Ambientes	6	17630664,07**
Genótipos x Ambientes	84	342121,32**
Resíduo	208	34087,18
C.V. (%)	-	11,91
Média	-	1550,61

4.1. Método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

Os valores de P_i para todos os ambientes e seu desdobramento para ambientes favoráveis e desfavoráveis estão representados na Tabela 5.

Segundo a análise do método, dois dos quinze genótipos avaliados se destacaram com os menores valores de P_i geral, G14 (BRS Esplendor) e G1 (BRS Campeiro) (123,39 e 179,38, respectivamente), estando colocados também entre os menores valores de P_i favorável e desfavorável, mostrando ampla adaptabilidade e alta estabilidade.

Tabela 5. Estimativas dos parâmetros P_i gerais, favoráveis e desfavoráveis referentes à produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.

Genótipos	Média	$P_i/1000$	P_i (Favorável)	P_i (Desfavorável)
G1	1679,74	179,38	273,39	54,04
G2	1535,19	374,62	569,54	244,75
G3	1596,07	314,29	430,04	169,37
G4	1607,95	299,46	406,29	157,02
G5	1315,26	482,87	661,47	252,24
G6	1662,95	226,93	189,25	53,20
G7	1603,45	246,73	273,52	79,13
G8	1462,50	325,12	379,79	114,73
G9	1474,62	328,74	471,71	211,01
G10	1653,79	251,59	400,38	138,11
G11	1416,55	373,59	474,78	228,63
G12	1519,76	344,03	542,70	238,66

G13	1474,90	342,42	427,75	159,96
G14	1834,40	123,39	183,19	43,66
G15	1422,07	454,89	669,04	277,17

Para uma análise mais detalhada, segundo Lin e Binns (1988), a estimativa do P_i pode ser ainda desdobrada em duas partes: a primeira, atribuída ao desvio genético em relação ao máximo, ou seja, uma soma dos quadrados de genótipos, que não interfere na classificação dos materiais; e a segunda, correspondente à parte da interação genótipos por ambientes, que pode afetar a classificação. O melhor material sob esta perspectiva é aquele que apresente o menor P_i possível e que a maior parte desse valor seja atribuída ao desvio genético.

O genótipo G14 obteve a menor estimativa do parâmetro P_i (123,39) não significativo, não diferindo do genótipo com desempenho máximo para produtividade de grãos em cada local, e uma das menores contribuições para a interação (5,59%), sendo considerado de adaptação geral e alta previsibilidade, podendo ser recomendado para todos os ambientes do estudo e para ambientes com características semelhantes.

Os dois genótipos com melhor estabilidade e adaptabilidade contribuíram com 13,01% para a interação. No geral, as contribuições para a interação variaram entre 5,59% a 7,95% para G14 e G8 (CNFP 15188), respectivamente (Tabela 6). 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).

Tabela 6. 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 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.

Genótipos	Média	$P_i/1000$	Desvio Genético	Desvio GxE	Contribuição Genética (%)
G1	1679,74	179,38	152,48	26,90	7,42
G2	1535,19	374,62	242,76	131,87	5,66
G3	1596,07	314,29	202,19	112,10	5,62
G4	1607,95	299,46	194,70	104,76	5,68
G5	1315,26	482,87	420,18	62,69	7,60
G6	1662,95	226,93	161,89	65,04	6,23

G7	1603,45	246,73	197,52	49,21	6,99
G8	1462,50	325,12	296,05	29,08	7,95
G9	1474,62	328,74	286,79	41,94	7,62
G10	1653,79	251,59	167,15	84,44	5,80
G11	1416,55	373,59	332,46	41,12	7,77
G12	1519,76	344,03	253,62	90,40	6,44
G13	1474,90	342,42	286,58	55,84	7,31
G14	1834,40	123,39	79,03	44,36	5,59
G15	1422,07	454,89	327,97	126,92	6,30

Com relação à classificação quanto ao P_i favorável pode-se destacar os genótipos G14 (BRS Esplendor) e G6 (CNFP 15177), que obtiveram os menores valores, indicando que são capazes de responder à melhoria das condições ambientais sendo considerados de adaptação geral.

Quanto ao P_i desfavorável, destacam-se os genótipos G14 (BRS Esplendor), G6 (CNFP 15177), G1 (BRS Campeiro) e G7 (CNFP 15178) como de comportamento invariável ao longo dos ambientes desfavoráveis com adaptação geral. O genótipo G14 apareceu entre os melhores genótipos nas três classificações, reafirmando sua característica de adaptação geral e bom desempenho médio.

Quanto ao índice ambiental que classifica os ambientes em favorável ou desfavorável, esta classificação se dá pela produtividade do ambiente, não sendo considerado fator como índice pluviométrico, tipo de solo, forma de relevo, incidência de pragas ou tecnologia aplicada. Nesta classificação três ambientes foram considerados desfavoráveis: A2 (São João/2011), A5 (Petrolina/2011) e A7 (Petrolina/2012); estes ambientes apresentaram produtividade abaixo da média geral. Vale ressaltar que ambientes considerados desfavoráveis não são impróprios para o cultivo, apenas obtiveram índice negativo baseado na sua produtividade, inferindo-se então que existam ambientes com índices ambientais positivos permitindo produtividades superiores. O genótipo G14, que foi o mais produtivo considerando a média geral e apresentou o menor valor de P_i geral e P_i nos ambientes favoráveis e desfavoráveis, sugerindo então que esse genótipo possui grande capacidade de explorar vantajosamente a melhoria do ambiente.

4.2. Análise AMMI

O efeito multiplicativo da interação GxA foi diagnosticado por meio da análise de componentes principais (ACP), a partir da decomposição da soma de quadrados da interação GxA (SQ_{GxA}) em eixos ou componentes principais da interação (Tabela 7), sendo adotado o critério posdictivo para seleção de modelos AMMI mais preditivos e parcimoniosos pelo teste F_{Gollob} (GOLLOB, 1968).

Tabela 7. Resumo da análise de variância segundo o método AMMI da variável produtividade de grãos ($kg \cdot ha^{-1}$), para 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	Varição (%)
Genótipo (G)	14	1672783,30	119484,52	-
Ambiente (A)	6	35261328,10	5876888,02**	-
Interação (GxA)	84	9579396,80	114040,44**	-
IPCA1	19	3738850,10	196781,59**	39
Resíduo _{IPCA1}	65	-	89854,56**	-
IPCA2	17	2301099,00	135358,77**	24
Resíduo _{IPCA2}	48	-	73738,49 ^{NS}	-

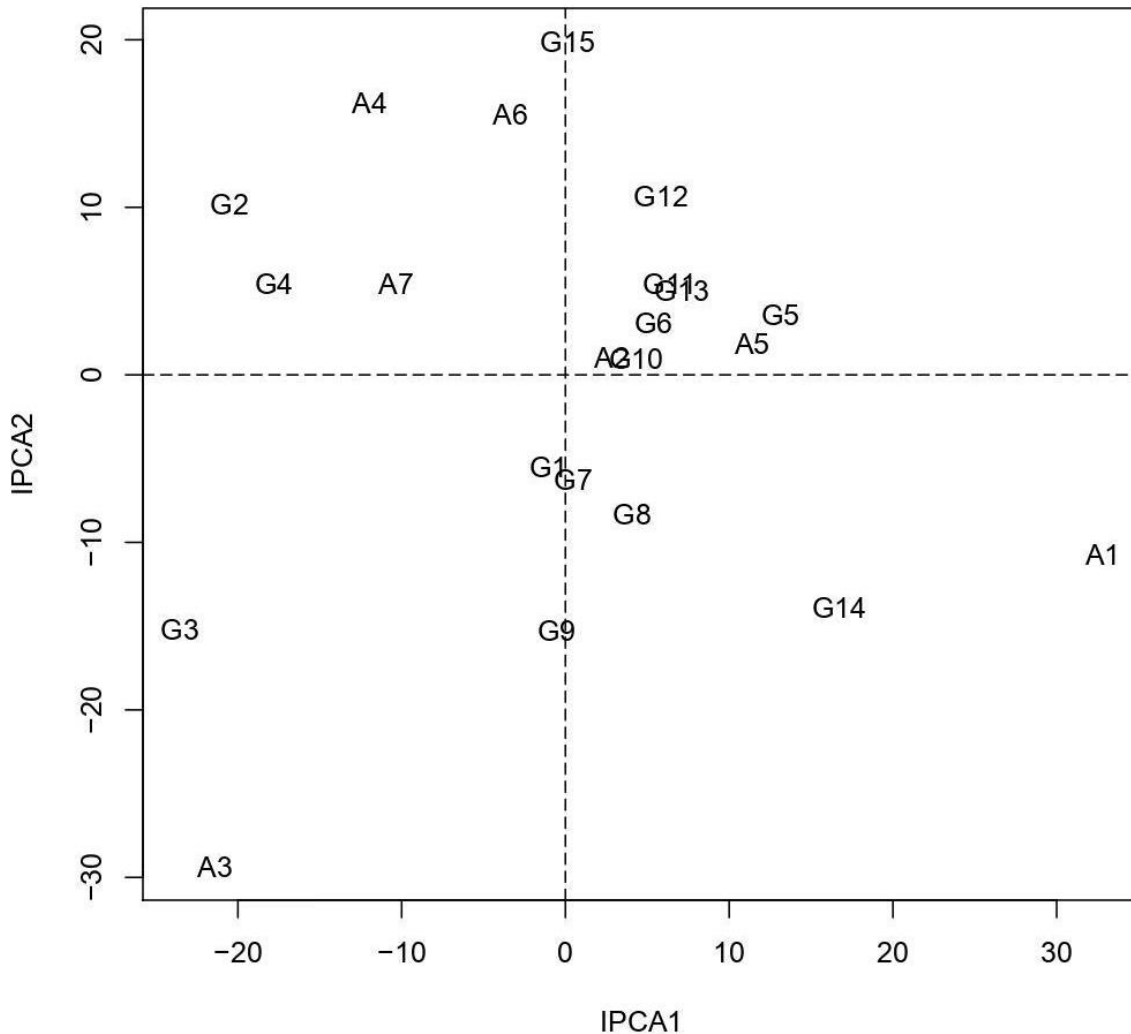
Os efeitos de ambientes foram responsáveis pela maior parte da variação, seguidos dos efeitos da interação GxA e de genótipos. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Melo et al (2018), que estudaram a interação genótipo x ambiente para a produtividade de grãos em cultivares de feijão-comum no estado de Goiás. O autor ressalta que, sempre que possível, os produtores devem investir em tecnologia para amenizar os efeitos adversos do ambiente, visando maximizar o potencial produtivo das cultivares, pois o efeito da interação GxA tende a ser mais drástico quando não há ajuste no sistema de produção.

A SQ_{GxA} foi decomposta em seis eixos, porém só os dois primeiros eixos (IPCA1 e IPCA2) apresentaram significância ($p < 0,01$) e explicaram, respectivamente, 39% e 24% da variação, sendo responsáveis por 63% da SQ_{GxA} total (Quadro 5). O resíduo do IPCA2 não foi significativo pelo teste F_{Gollob} , indicando que o modelo mais preditivo é o AMMI2. Assim, os dois eixos foram selecionados para o estudo da estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e ambientes.

Na representação gráfica da análise AMMI (biplot), são considerados estáveis os genótipos e ambientes que se encontram próximo à origem, com os escores quase nulos nos dois eixos de interação (IPCA1 e IPCA2). Nesta perspectiva, os genótipos

que menos contribuíram para a interação GxA foram G7, G1, G9, G15 e o ambiente mais estável foi o A2 (Figura 1).

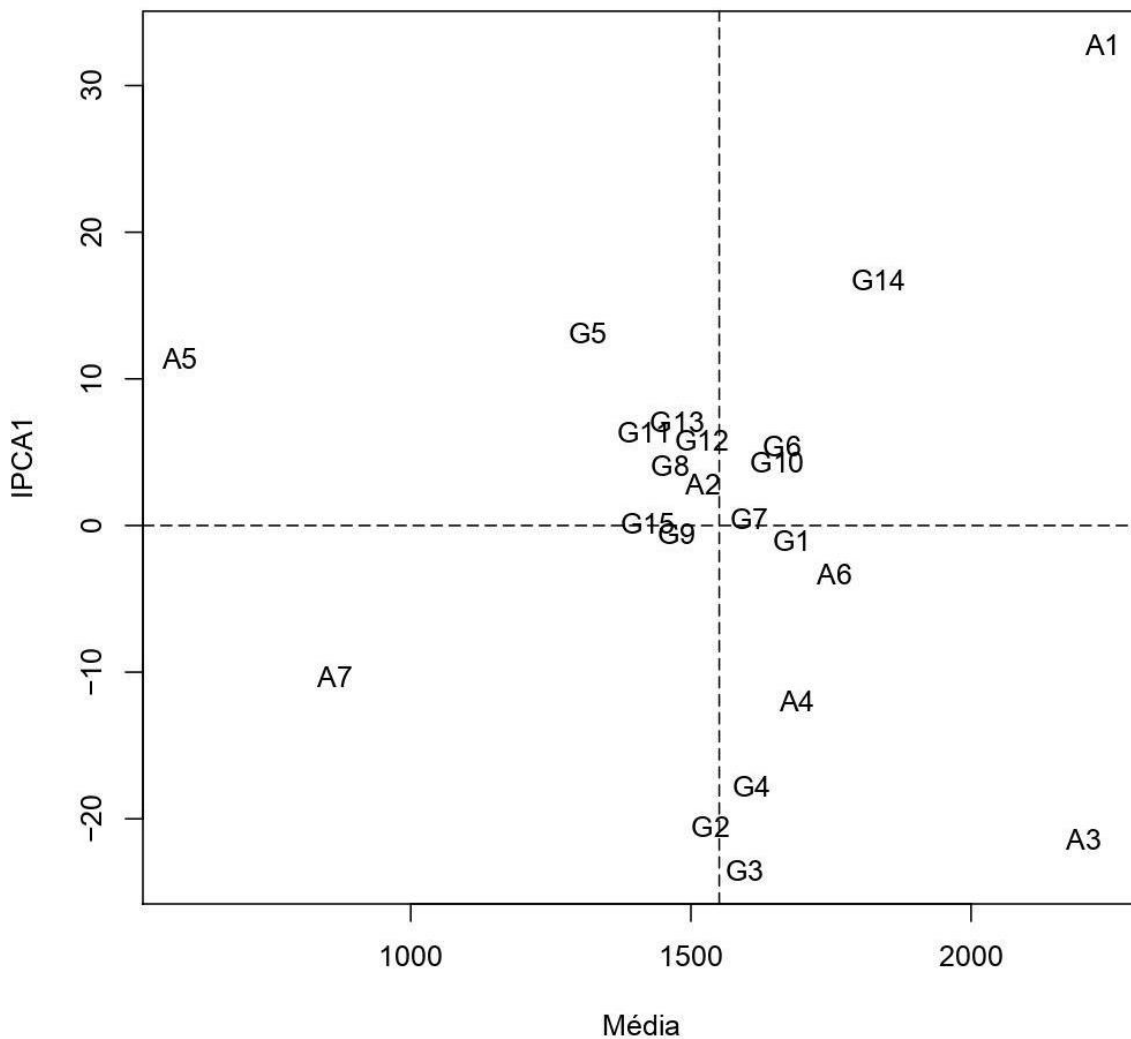
Figura 1. Biplot AMMI2 para produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.



Os genótipos G10 (CNFP 15194), G6 (CNFP 15177), G13 (CNFP 15208) e G11 (CNFP 15198) interagem de forma positiva com o ambiente A2 (São João/2011), pois apresentam escores de mesmo sinal e apontam para uma direção comum a partir do ponto de origem. Semelhantemente, o genótipo G5 (CNFP 15174) apresenta interação positiva com o ambiente A5 (Petrolina/2011). Observa-se que o genótipo G14 (BRS Esplendor) não tem adaptação aos ambientes A4 (Caruaru/2011), A6 (Belém de São Francisco/2012) e A7 (Petrolina/2012). Relação semelhante se encontra entre os genótipos G2 (CNFP 10104) e G4 (CNFP 15171) e o ambiente A1 (Arapipina/2011).

O biplot AMMI1 mostra os efeitos aditivos de genótipos e ambientes, sendo o eixo das abcissas referente à média de produtividade e o eixo das ordenadas, os escores. Observa-se pouca dispersão horizontal dos genótipos e ambientes quando comparados com o eixo vertical, demonstrando que a interação GxA influenciou o comportamento dos genótipos e ambientes (Figura 2).

Figura 2. Biplot AMMI1 para produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 15 genótipos de feijão-preto obtidos em sete ambientes no estado de Pernambuco.



Sete genótipos ficaram acima da média, porém apenas quatro podem ser considerados estáveis para produtividade de grãos, sendo eles G6 (CNFP 15177), G10 (CNFP 15194), G7 (CNFP 15178) e G1 (BRS Campeiro). Estes genótipos apresentaram interações mais baixas com os ambientes, podendo ser indicados tanto

para os locais do estudo quanto para outros locais que apresentem características semelhantes.

De acordo com o biplot AMMI1, considerando o eixo da interação GxA, os genótipos podem ser agrupados em três classes:

- **Classe A:** genótipos estáveis (com escores de 0 a 10, para mais ou para menos); nesta classe estão BRS Campeiro (G1), CNFP 15177 (G6), CNFP 15178 (G7), CNFP 15188 (G8), CNFP 15193 (G9), CNFP 15194 (G10), CNFP 15198 (G11), CNFP 15207 (G12), CNFP 15208 (G13) e IPR Uirapuru (G15);
- **Classe B:** genótipos com estabilidade intermediária (escores de 10 a 20, sendo + ou -); sendo CNFP 15171 (G4), CNFP 15174 (G5) e BRS Esplendor (G14);
- **Classe C:** genótipos instáveis (cujo escores estão acima de 20 + ou -), os quais são CNFP 10104 (G2) e CNFP 10794 (G3).

Os ambientes mais estáveis foram A2 (São João/2011) e A6 (Belém de São Francisco/2012), que apresentaram escores baixos, próximos a zero. Porém estes ambientes não podem ser considerados como desejáveis, pois o A2 apresentou produtividade abaixo da média e o A6 apresentou escore negativo, o que demonstra que ele tem características desfavoráveis. O ambiente A4 (Caruaru/20011) apresentou superioridade em relação à média e estabilidade intermediária e está caracterizado como ambiente desfavorável, uma vez que apresentou escore negativo.

Quanto à produtividade, destacaram-se os ambientes A1 (Araripina/2011) e A3 (Belém de São Francisco/2011). O ambiente A1 apresentou escore positivo, sendo caracterizado como ambiente favorável, no entanto seu escore elevado o classifica como instável, sendo aconselhável cautela para escolha de genótipos a serem cultivados nesse ambiente. Semelhantemente, o ambiente A3 apresentou escore correspondente à instabilidade, além disso seu escore negativo o caracteriza como ambiente desfavorável. Os ambientes A7 (Petrolina/2012) e A5 (Petrolina/2011) apresentaram as menores produtividades dentre os sete ambientes estudados.

As classificações genótípicas segundo as metodologias utilizadas no presente trabalho para caracterizar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Classificações genótípicas segundo as metodologias utilizadas para descrição de adaptabilidade e estabilidade dos 15 genótipos de feijão-preto em sete ambientes no estado de Pernambuco.

Genótipo	Média geral (kg.ha⁻¹)	Lin e Binns	AMMI
G1	1679,74	2	7
G2	1535,19	13	10
G3	1596,07	7	13
G4	1607,95	6	6
G5	1315,26	15	3
G6	1662,95	3	2
G7	1603,45	4	8
G8	1462,50	8	9
G9	1474,62	9	14
G10	1653,79	5	1
G11	1416,55	12	5
G12	1519,76	11	11
G13	1474,90	10	4
G14	1834,40	1	12
G15	1422,07	14	15

A partir da análise da tabela percebe-se que as metodologias classificaram de forma similar os genótipos G4 (BRS Esplendor) e G12 (CNFP 15207). Para os demais genótipos ocorreu divergência entre as metodologias, o que pode dificultar a seleção, sendo necessário cautela na hora da escolha de materiais que reúnam melhores médias e maior estabilidade.

Resultados semelhantes de divergência entre as metodologias de Lin e Binns (1988) e AMMI foram encontrados por vários autores, a exemplo de Souza Filho (2008) que comparou vários métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em algodoeiro, Pereira (2009) que avaliou os métodos em feijão comum, Mano (2009) ao estudar feijão de corda e Santos (2015) trabalhando com comparação de metodologias para feijão-caupi.

No entanto, apesar das divergências, é aconselhável o uso das metodologias de forma conjunta (SOUZA FILHO, 2008). A metodologia de Lin e Binns é considerada de fácil aplicação e interpretação, pois possibilita o maior discernimento entre os materiais avaliados e sempre associa maior estabilidade com maior produtividade. O

método AMMI proporciona a verificação de adaptabilidade específica, o que é muito importante quando se visa zoneamento e indicações específicas, em estudos com vasto conjunto de ambientes.

5. CONCLUSÃO

A interação genótipo por ambiente para a produtividade de grãos em feijão preto foi de natureza complexa, sendo o efeito de ambientes responsável pela maior parte da interação. O método de Lin e Binns caracterizou simultaneamente os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade utilizando apenas o indicador P_i , nessa avaliação, os genótipos G14 e G1 foram classificados como de ampla adaptabilidade e alta estabilidade. Ambos os genótipos são cultivares comerciais, concluindo-se que nesse ensaio de VCU, as linhagens não apresentaram resultados mais interessantes que as testemunhas, do ponto de vista da estabilidade e da adaptabilidade. A metodologia AMMI explicou a maior parte interação GxA nos dois primeiros CPIs e classificou os genótipos e ambientes quanto à estabilidade de forma precisa e clara em dois biplots. Nesse caso, os melhores genótipos foram os G10 e G6, apresentando produtividade acima da média, boa estabilidade e adaptação ao ambiente A2, que, por sua vez, foi considerado um dos ambientes mais estáveis segundo a mesma metodologia.

REFERÊNCIAS

- Allard RW, Bradshaw AD (1964) Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science* 5:503-508
- Albrecht JC, Vieira EA, Silva MS, Andrade JMVD, Scheeren PL, Trindade MDG, Sobrinho JS, Sousa CNAD, Reis WP, Ribeiro Júnior WQ, Fronza V (2007) Adaptability and stability of irrigated wheat genotypes in the Cerrado of Central Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 12:1727-1734
- Amorim EP, Camargo CEDO, Ferreira Filho AWP, Pettinelli Júnior A, Gallo PB, Azevedo Filho JA (2006) Adaptability and stability inbred wheat lines of in São Paulo State. *Bragantia* 4:575-582
- Annicchiarico P (1992) Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 4:269-278
- APAC. <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 24/03/2022.
- Becker HC (1981) Correlations among some statistical measure of phenotypic stability. *Euphytica* 30:835-840
- Cargnelutti Filho A, Perecin D, Malheiros EB, Guadagnin JP (2007) Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. *Bragantia* 66:571-578
- Cargnin A, Souza MA, Pimentel AJB, Fogaça CM (2008) Interação genótipos e ambientes e implicações na adaptabilidade e estabilidade de arroz sequeiro. *Current Agricultural Science and Technology* 3
- Carneiro PCS (1998) Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa. 155
- Carvalho IR, Nardino M, Demari GH, Bahry CA, Szarecki VJ, Pelissari G, Ferrari M, Pelegrin AJ, Oliveira AC, Maia LC, Souza VQ (2016) Bi-segmented regression, factor analysis and AMMI applied to the analysis of adaptability and stability of soybean. *Australian Journal of Crop Science* 10:1410-1416

- Companhia Nacional de Abastecimento. CONAB, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em: 29/04/2022.
- Cruz CD, Carneiro PCS (2003) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV 585p.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2006) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV 390p.
- França MV, Medeiros RM, Holanda RM, Neto FCR, Correa MM, Silva VP (2017) Climatologia da chuva em Petrolina-PE, Brasil.
- Debouck DG (1999) Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. In: SINGH, S.P. Common bean improvement in the twenty-first century. Dordrecht: Kluwer 25-52
- Delfini J, Moda-Cirino V, Ruas CF, Santos Neto J, Ruas PM, Buratto JS, Ruas EA, Gonçalves LSA (2017) Distinctness of Brazilian common bean cultivars with carioca and black grain by means of morphoagronomic and molecular descriptors. PloS one 11:e0188798
- Eberhart AS, Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 1:36-40
- Farias FJC, Ramalho MAP, Carvalho LP, Moreira JDAN, Costa JN (1997) Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método da regressão. Pesquisa Agropecuária Brasileira 4:407-414
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. FAOSTAT, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> . Acesso em: 29/04/2021.
- Ferreira SMR, Nalepa KC (2013) Avaliação da qualidade do feijão preto. DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde 2:115-124
- Gauch HG, Zobel RW (1996) AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (Ed.). Genotype by environment interaction. Boca Raton: CRC Press 4:85-122
- Grigolo S, Fioreze ACCL, Denardi S, Vacari J (2018) Implicações da análise univariada e multivariada na dissimilaridade de acessos de feijão comum. Revista de Ciências Agroveterinárias 3:351-360
- Hardner CM, Dieters M, Dale G, Delacy I, Basford KE (2010) Patterns of genotype-by-environment interaction in diameter at breast height at age 3 for eucalypt hybrid

clones grown for reforestation of lands affected by salinity. *Tree genetics & genomes* 6:833-851

Coimbra JLM, Carvalho FIF, Hemp S, Oliveira AC, Silva AS (1999) Divergência genética em feijão preto. *Ciência Rural* 3:427-431

Lin CS, Binns MR (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science* 1:193-198

Lin CS, Binns MR, Lefkovitch LP (1986) Stability analysis. Where do we stand? *Crop Science* 26:894-899

Souza TLPO, Melo LC, Pereira HS (2019) Brs Fp403: cultivar de feijão preto com alta produtividade e qualidade de grãos, moderada resistência à murcha de *Fusarium* e podridões radiculares. Comunicado Técnico, Embrapa Arroz e Feijão, 9p

Melo PG, Alvares RC, Pereira HS, Braz AJ, Faria LC, Melo LC (2018) Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum em sistema de agricultura familiar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2:189-196

Mesquita FR, Corrêa AD, Abreu CMP, Lima RAZ, Abreu AFB (2007) Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. *Ciência agrotecnologia* 4:1114-1121

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Registro Nacional de Cultivares. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc//cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 29/04/2022.

Murakami DM, Cardoso AA, Cruz CD, Bizão N (2004) Some considerations about two methodologies for stability and adaptability analysis. *Ciência Rural* 1:71-78

Nascimento M, Peternelli LA, Cruz CD, Nascimento ACC, Ferreira RDP, Bhering LL, Salgado CC (2013) Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 13:152-156

Nunes HD (2017) Desempenho agrônomo, qualitativo e eficiência no uso do nitrogênio em cultivares de feijoeiro de inverno. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista. 63f

Oliveira AB, Duarte JB, Pinheiro JB (2003) Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38:357-364

- Peternelli LA, Borém A (2009) Hibridação em feijão. In: BORÉM, A. Hibridação artificial de plantas. Editora UFV, Viçosa 269-293.
- Pereira HS, Melo LC, Del Peloso MJ, Faria LC, Costa JGC, Díaz JLC, Rava CA, Wendland A (2009) Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 4:374-383
- Rocha VPC, Moda-Cirino V, Destro D, Fonseca Júnior NS, Prete CEC (2010) Adaptabilidade e estabilidade da característica produtividade de grãos dos grupos comerciais carioca e preto de feijão. *Semina: Ciências Agrárias* 1:39-53
- Royer MR, Gonçalves Vidigal MC, Scapim CA, Vidigal Filho RS, Terada Y (“in memoriam”) (2002) Outcross in common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 1:49-54
- Rosado AM, Rosado TB, Alves AA, Laviola BG, Bhering LL (2012) Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 7:964-971
- Romagosa I, Fix ON (1993) Genotype x environment interaction and adaptation. *Plant breeding* 373-390
- Sherasia PL et al (2017) Pulses and their by-products as animal feed. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
- Silva GO, Carvalho ADF, Vieira JV, Benin G (2011) Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. *Bragantia* 3:494-501
- Silva Filho JLD, Morello CDL, Farias FJC, Lamas FM, Pedrosa MB, Ribeiro JL (2008) Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 3:349-355
- Silva WCJ, Duarte JB (2006) Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 1:23-30
- Timm NH (2002). *Applied multivariate analysis*. 1.Ed. Springer, New York, NY. 695p.
- Tsutsumi CY, Bulegon LG, Piano JT (2015) Melhoramento genético do feijoeiro, avanços, perspectivas e novos estudos. *Nativa* 3:217-223
- Vavilov NI (1931) Linnaeus species as a system. *Bulletin Applied Botanic Genetic* 3:109-134

- Valentini G, Bertoldo JG, Vogt GA, Elias HT (2010) Early selection of agronomic traits in segregation black bean populations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 2
- Zali H, Farshadfar E, Sabaghpour SH, Karimizadeh R (2012) Evaluation of genotype x environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research* 7:3126-3136
- Zobel RW, Madison JW, Gauch HG (1988) Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80:388-393