

Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado

Michel Alves Barros⁽¹⁾, Maurisrael de Moura Rocha⁽²⁾, Regina Lucia Ferreira Gomes⁽¹⁾,
Kaesel Jackson Damasceno e Silva⁽²⁾ e Adão Cabral das Neves⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Ininga, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: michelbarrosphb@hotmail.com, rlfomes@ufpi.edu.br ⁽²⁾Embrapa Meio-Norte, Avenida Duque de Caxias, nº 5.650, Buenos Aires, CEP 64006-220 Teresina, PI. E-mail: maurisrael.rocha@embrapa.br, kaesel.damasceno@embrapa.br, adao.neves@embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) de porte semiprostrado. Foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi com uso do modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI) com genótipo e ambiente suplementares. Os ensaios foram conduzidos em nove ambientes (Balsas, MA, 2010; Balsas, MA, 2011; Bom Jesus, PI, 2010; Bom Jesus, PI, 2011; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011; São João do Piauí, PI, 2011; Campo Grande do Piauí, PI, 2011; Buriti, MA, 2011), da região Meio-Norte do Brasil, em delineamento de blocos ao acaso, com 20 tratamentos e quatro repetições. Os efeitos de genótipos, ambientes e da interação genótipo x ambiente foram significativos. Os genótipos diferiram quanto à adaptabilidade e à estabilidade da produtividade. A linhagem MNC03-736F-2 apresentou genes para adaptabilidade e estabilidade produtiva. Entre as cultivares avaliadas, BR 17-Gurguéia e Pingo-de-Ouro-1-2 são as mais previsíveis, e a BRS Xiquexique é a mais adaptada. Entre os locais de teste, Balsas, MA, é o mais adequado para a seleção de genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade produtiva.

Termos para indexação: *Vigna unguiculata*, ambiente suplementar, AMMI, genótipo suplementar, produtividade de grãos, previsibilidade.

Yield adaptability and stability of semi-prostrate cowpea genotypes

Abstract – The objective of this work was to evaluate the yield adaptability and stability of semi-prostrate cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes. Twenty cowpea genotypes were evaluated using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model with supplementary genotype and environment. The trials were carried out in nine environments (Balsas, MA, 2010; Balsas, MA, 2011; Bom Jesus, PI, 2010; Bom Jesus, PI, 2011; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011; São João do Piauí, PI, 2011; Campo Grande do Piauí, PI, 2011; Buriti, MA, 2011) of the Mid-North region of Brazil in a randomized complete block design with 20 treatments and four replicates. The effects of genotypes, environments, and genotype x environment interaction were significant. Genotypes differed as to yield adaptability and stability. The line MNC03-736F-2 presented genes for yield adaptability and stability. Among the evaluated genotypes, BR 17-Gurguéia and Pingo-de-Ouro-1-2 are the most predictable, and BRS Xiquexique is the most adapted. Among the test sites, Balsas, MA is the most appropriate for selection of genotypes superior for yield adaptability and stability.

Index terms: *Vigna unguiculata*, supplementary environment, AMMI, supplementary genotype, grain yield, predictability.

Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], espécie de alto valor nutritivo, caracteriza-se pela plasticidade e pela adaptação à ampla faixa de ambientes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Diante das perspectivas de mudanças climáticas e da necessidade geral de alimentos, é uma

cultura de grande potencial estratégico (Freire Filho et al., 2011).

A produção anual de feijão-caupi no Nordeste brasileiro sofre grande oscilação, em consequência, principalmente, do déficit hídrico e da irregularidade na distribuição das chuvas. As cultivares de feijão-caupi de porte semiprostrado são as preferidas pelos agricultores familiares da região Meio-Norte do Brasil.

Assim, a seleção de genótipos com esse tipo de porte, com boa arquitetura de planta e alta produtividade de grãos, associados à alta adaptabilidade e estabilidade aos diferentes ambientes, é um dos objetivos do programa de melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte.

A adaptabilidade e a estabilidade de genótipos de feijão-caupi têm sido motivo de vários estudos, onde predomina o uso de metodologias que utilizam regressão linear (Freire Filho et al., 2001, 2002; Mano, 2009; Nunes, 2012), principalmente as de Eberhart & Russel (1966) e de Cruz et al. (1989). Atualmente, tem-se utilizado metodologias não paramétricas (Nunes, 2012), como a de Lin & Binns (1988), e multivariadas, como o modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI) (Freire Filho et al., 2003, 2005; Asio et al., 2005; Ojo et al., 2006; Akande, 2007; Rocha et al., 2007, 2011). Esses estudos têm subsidiado o melhoramento e o lançamento de cultivares de feijão-caupi em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo.

A metodologia AMMI destaca-se por descrever melhor a interação genótipo x ambiente, mediante o descarte de ruídos adicionais, presentes nas estimativas tradicionais da interação. Como forma de incrementar essa metodologia, Pacheco et al. (2005) introduziram, na análise AMMI, um genótipo e um ambiente suplementar, com base no método de Lin & Binns (1988). Essa abordagem tem sido aplicada na cultura do feijão comum (Gonçalves et al., 2009, 2010). Contudo, não há relatos na literatura da sua aplicação em feijão-caupi.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado.

Material e Métodos

Foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado – 14 linhagens e seis cultivares. Todos os genótipos foram provenientes do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte.

Os ensaios foram conduzidos nos anos agrícolas 2010 e 2011, na região Meio-Norte do Brasil, que compreende os estados do Maranhão e do Piauí (03°50'S e 41°02'W; 09°39'S e 45°96'W, com altitudes de 227 a 643 m respectivamente). O solo da região

é classificado como Latossolo Amarelo (Cerrado) a Neossolo Quartzarênico (Caatinga), segundo a classificação brasileira de solos (Santos et al., 2006). Os ambientes consistiram da combinação de local e ano. Foram avaliados sete ambientes no Bioma Cerrado (Balsas, MA, 2010 e 2011; Buriti, MA, 2010; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010 e 2011; Bom Jesus, PI, 2010 e 2011) e dois no Bioma Caatinga (Campo Grande do Piauí, PI, 2011; e São João do Piauí, PI, 2011).

As sementeiras ocorreram sempre no final das águas, no sistema de cultivo de sequeiro.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com 20 tratamentos e quatro repetições. Cada parcela apresentou dimensões de 3,2x5 m, com quatro fileiras de 5 m, tendo-se utilizado duas fileiras centrais de 1,6x5 m (8 m²) como área útil. O espaçamento entre fileiras foi de 0,80 m e dentro da fileira, de 0,25 m. Foram semeadas quatro sementes por cova, e 15 dias após a sementeira, foi realizado o desbaste e a compensação das falhas, tendo-se deixado, em média, duas plantas por cova.

Os tratamentos culturais consistiram da aplicação de herbicida de pré-emergência à base de S-metolachlore e de herbicida de pós-emergência à base de fluzifop-p-butil. Realizaram-se capinas complementares para o controle das plantas daninhas. No preparo do solo, foram utilizadas práticas convencionais de uma aração e uma ou duas gradagens, de acordo com as necessidades do terreno. Para o controle de pragas, foi utilizado produto à base de thiamethoxam + dimetoato (8 g + 50 mL/100 L H₂O). Foram realizadas três aplicações da mistura em todos os experimentos, no período entre a germinação e a floração.

Realizaram-se análises de variância individuais para cada ambiente e análise conjunta que incluiu todos os ambientes, na avaliação do caráter produtividade de grãos. Para viabilizar a análise conjunta com todos os ambientes, optou-se por realizar ajuste dos quadrados médios dos resíduos, pelo método proposto por Cochran & Cox (1957). As análises de estabilidade e adaptabilidade foram realizadas por meio do modelo AMMI, com uso de genótipo e ambiente suplementares. No modelo proposto pela análise AMMI, além dos termos convencionais de um modelo de análise conjunta de variância como: média geral, efeito de genótipos, efeito de ambiente e erro experimental, conforme descrito por

Duarte & Vencovsky (1999), avaliou-se o efeito da interação genótipo x ambiente, que foi decomposta pela análise de componentes principais (ACP), de acordo com a equação: $Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \lambda_{ij} + \varepsilon_{ij}$ em que Y_{ij} é a resposta média do genótipo i no ambiente j ; μ é a média geral do caráter; g_i é o efeito fixo do genótipo i ($i=1, 2, \dots, g$); a_j é o efeito fixo do ambiente j ($j=1, 2, \dots, a$); λ_k é o k -ésimo valor singular de GA (escalar); γ_{ik} é o elemento correspondente ao i -ésimo genótipo no vetor singular γ_k (vetor singular coluna); α_{jk} é o elemento correspondente ao j -ésimo ambiente no vetor α_k (vetor singular linha); ρ_{ij} é o resíduo da ACP presente na soma de quadrados da interação genótipo x ambiente ($SQ_{G \times A}$) (porção ruído); ε_{ij} é o erro experimental médio, assumido independentemente; e k é o índice que se refere aos eixos principais da ACP aplicada à matriz genótipo x ambiente. Logo, $k=1, 2, \dots, p$, e p é o posto da matriz genótipo x ambiente, na qual $p = \min(g-1, a-1)$, e n é o número de eixos ou componentes principais selecionados para descrever o padrão da interação genótipo x ambiente.

Para a definição do número de eixos a serem retidos no modelo, foram determinados os graus de liberdade associados à parcela da $SQ_{G \times A}$ relacionada a cada membro da família de modelos AMMI (AMMI0, AMMI1, AMMI2..., AMMI n). Foi obtido, então, o quadrado médio correspondente a cada modelo. Em seguida, foi aplicado teste F para componente em relação ao $QM_{\text{Erro Médio}}$. Dessa maneira, o ponto de parada para a seleção do modelo baseou-se na significância do teste F para os sucessivos termos da interação. O resíduo AMMI, que reúne os demais termos da $SQ_{G \times A}$ (não retidos no modelo selecionado), foi testado de forma a assegurar o seu caráter desprezível, como é o caso do teste F_R (Cornelius et al., 1992) adotado no presente trabalho.

Como forma de incrementar a análise AMMI, foram introduzidos um genótipo e um ambiente hipotéticos de referência, denominados de genótipo e ambiente suplementares (G_S e A_S), conforme Pacheco et al. (2005), que foram estimados de acordo com Lin & Binns (1988). Foram estimadas as distâncias quadráticas entre um ponto correspondente a um genótipo avaliado e o G_S (d_{is}^2), e entre os ambientes e o A_S (d_{js}^2). Essas distâncias fornecem medidas de similaridade entre os genótipos avaliados e o G_S , bem como entre os ambientes testados e o A_S , e identificam melhor os genótipos e os ambientes com maior

adaptabilidade e estabilidade de produção. A distância quadrática foi estimada, conforme a equação: $d = \sum_{k=1}^n (ACPI_{ik/jk} - ACPI_{sk/jk})$, em que i e j representam, respectivamente, o genótipo e o ambiente avaliados; s é o genótipo ou ambiente suplementar; e k é o eixo ou componente principal de interação (CPI) selecionado pelo modelo AMMI.

As análises estatísticas foram realizadas por meio de rotina do programa SAS/IML, com adaptações conforme Duarte & Vencovsky (1999).

Resultados e Discussão

Foram observadas diferenças significativas entre genótipos, quanto à produtividade de grãos, na maioria dos ambientes, demonstrando que os ambientes apresentaram variabilidade, que favoreceu a seleção (Tabela 1).

A produtividade de grãos oscilou de 354,46 kg ha⁻¹ (São João do Piauí, PI, 2011) a 1.976,71 kg ha⁻¹ (Balsas, MA, 2011), com destaque para os ambientes: Balsas, MA, 2011; Balsas, MA, 2010; e São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011, como os mais favoráveis à expressão da produtividade. As produtividades médias alcançadas nesses ambientes, mais especificamente no Cerrado, sul do Maranhão, confirmam as condições ambientais mais adequadas para o cultivo de feijão-caupi.

Tabela 1. Análises de variância individuais, referente ao caráter produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 20 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 a 2011.

| Ambientes | Quadrado médio | | Média geral (kg ha ⁻¹) | CV (%) |
|-----------------------------|--------------------------|---------|---------------------------------------|-----------|
| | Genótipos ⁽¹⁾ | | | |
| | 19 | 57 | | |
| Balsas, 2010 | 216.472 ^{ns} | 148.867 | 1.657 | 23 |
| Balsas, 2011 | 249.295 ^{**} | 74.962 | 1.977 | 14 |
| Bom Jesus do Piauí, 2010 | 134.358 ^{**} | 32.894 | 636 | 28 |
| Bom Jesus do Piauí, 2011 | 179.542 ^{**} | 25.903 | 860 | 19 |
| SRM, 2010 | 294.175 ^{**} | 39.285 | 767 | 26 |
| SRM, 2011 | 426.069 ^{**} | 104.442 | 1.113 | 29 |
| Campo Grande do Piauí, 2011 | 37.369 ^{ns} | 37.986 | 813 | 24 |
| São João do Piauí, 2011 | 30.754 ^{**} | 11.257 | 354 | 30 |
| Buriti, 2010 | 30.343 ^{ns} | 27.248 | 843 | 20 |

⁽¹⁾Genótipos: 14 linhagens e seis cultivares provenientes do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte. SRM, São Raimundo das Mangabeiras. ^{ns}Não significativo. * e **Significativo pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os efeitos de genótipos, ambientes e interação genótipo x ambiente foram significativos (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Freire Filho et al. (2002) e Rocha et al. (2007, 2011), que também encontraram diferenças significativas para essas três fontes de variação em estudos com outros grupos de genótipos de feijão-caupi, em ambientes da região Meio-Norte do Brasil. Com relação à decomposição da variação total de tratamentos, os efeitos de ambientes foram responsáveis pela maior parte da variação, seguidos dos efeitos da interação genótipo x ambiente e dos de genótipos. De acordo com Rocha et al. (2007), a variação observada nos ambientes provavelmente resulta da forte interação entre anos e locais, ocasionada, principalmente, pela ocorrência de estresses abióticos.

Maior variação para o efeito de ambientes também foi observada por Freire Filho et al. (2002, 2005), Akande (2007) e Rocha et al. (2007), que estudaram a adaptabilidade e a estabilidade produtiva de grãos de genótipos de feijão-caupi, respectivamente, nas regiões Meio-Norte e Nordeste do Brasil e no sudoeste da África. Os efeitos da interação genótipo x ambiente e dos genótipos encontrados por Akande (2007) foram de 13,19 e 9,89%, respectivamente, maiores do que as percentagens obtidas no presente trabalho (Tabela 2).

Embora a interação genótipo x ambiente tenha sido decomposta em oito componentes principais da interação (CPI), apenas o primeiro eixo (CPI1) teve seu resíduo não significativo pelo teste F_R ($p < 0,01$), o que é indicativo de que o modelo a ser adotado é o

AMMI1. Esse resultado foi similar ao encontrado por Asio et al. (2005), Ojo et al. (2006) e Akande (2007), que utilizaram o modelo AMMI1, mas diferiu dos de Freire Filho et al. (2003, 2005) e Rocha et al. (2007, 2011), que utilizaram o modelo AMMI2, que engloba o CPI1 e o CPI2.

O CPI1 explicou 41,36% da $SQ_{G \times A}$, indicando que todo o padrão adjacente à interação genótipo x ambiente concentra-se no primeiro eixo. Os primeiros eixos AMMI captam maior percentagem de “padrão” e, com subsequente acumulação de dimensões (componentes), ocorre diminuição na percentagem de padrão e acréscimo de “ruídos”. Essa acumulação nos eixos subsequentes contribui para diminuir a acurácia das estimativas de interações e a segurança na identificação de genótipos adaptados. Apesar da seleção de um só componente, com boa parte da $SQ_{G \times A}$ original, espera-se captar maior percentagem do padrão. Como 41,36% da $SQ_{G \times A}$ corresponde ao padrão adjacente à interação genótipo x ambiente e de importância agrônômica, 58,64% da $SQ_{G \times A}$ representa o ruído, ou seja, a variação aleatória resultante da influência de fatores microambientais e sem importância agrônômica. O valor alto para o ruído indica que a análise AMMI é ferramenta poderosa em remover variação aleatória, o que melhora a precisão das estimativas da interação genótipo x ambiente e, conseqüentemente, das médias dos genótipos. Assim, a resposta dos genótipos será estimada com base no modelo AMMI1, e a interpretação gráfica da adaptabilidade e da estabilidade será realizada apenas com o CPI1, via biplot AMMI1.

Quanto aos efeitos aditivos principais (genótipos e ambientes), a variação entre os genótipos foi menor, relativamente aos efeitos de ambientes e da interação genótipo x ambiente (Figura 1). Isso indica que os efeitos de ambientes interagiram fortemente com os fatores macroambientais (locais e ano) ou microambientais (erros aleatórios); conseqüentemente, o efeito multiplicativo da interação genótipo x ambiente também foi bastante disperso. Esse resultado diferiu do obtido por Rocha et al. (2011), que, ao estudarem grupo de genótipos no semiárido piauiense, constataram grande variação quanto ao efeito de ambientes e de genótipos.

Ao se combinarem as estimativas dos efeitos principais com a estimativa da interação genótipo x ambiente revelada pelo modelo AMMI1, pôde-

Tabela 2. Análise de variância conjunta para o caráter produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) de porte semiprostrado, em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 a 2011.

| Fonte de variação | GL | QM | % $SQ_T^{(1)}$ | $SQ_{G \times A/CPI}^{(2)}$ | % $SQ_{G \times A}$ |
|-------------------------|-----|----------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Genótipos (G) | 19 | 92.618** | 3,61 | - | - |
| Ambientes (A) | 8 | 5.202.639** | 85,31 | - | - |
| G x A | 101 | 53.504** | 11,08 | - | - |
| CPI1 | 26 | 85.990** | - | 41,36 | 41,36 |
| Resíduo _{AMMI} | 126 | 25.153 ^{ns} | - | - | 58,64 |
| Erro médio/ $t^{(3)}$ | 325 | 22.0480 | - | - | - |
| CV (%) | | | 18,81 | | |

⁽¹⁾Percentagem da soma de quadrados de tratamentos. ⁽²⁾Percentagem da soma de quadrados da interação genótipo x ambiente captada pelo CPI1.

⁽³⁾Número de repetições CPI1, primeiro componente principal da interação.

^{ns}Não significativo. **Significativo pelo teste F_R , a 1% de probabilidade.

se avaliar as respostas dos genótipos nos ambientes de maneira mais precisa, apenas com o padrão da interação genótipo x ambiente captada pelo CPII (Tabela 3). A cultivar BRS Xiquexique apresentou a maior produtividade de grãos (1.187 kg ha⁻¹). Três genótipos apresentaram médias na faixa de 1.100 a 1.200 kg ha⁻¹, cinco apresentaram médias na faixa de 1.000 a 1.100 kg ha⁻¹, 11 (55%) na faixa de 900 a 1.000 kg ha⁻¹ e um genótipo na faixa de 600 a 700 kg ha⁻¹. Em relação aos ambientes, as médias variaram de 354 kg ha⁻¹, em Campo Grande do Piauí, PI, 2011, a 1.977 kg ha⁻¹, em Balsas, MA, 2011.

As médias dos genótipos e dos ambientes versus os escores da interação genótipo x ambiente captada pelo CPII, mostram que os genótipos mais estáveis, ou seja,

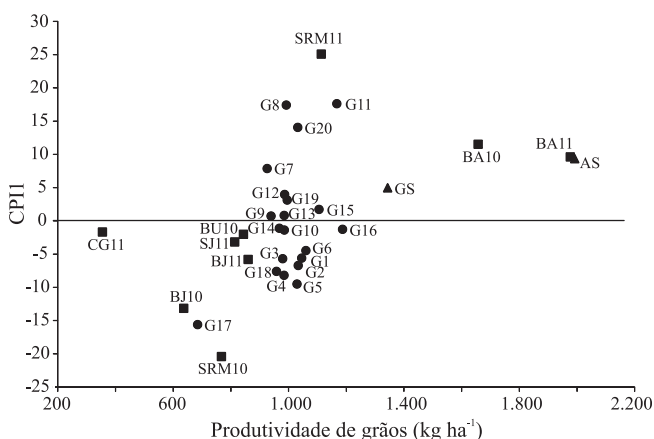


Figura 1. Biplot AMMI1 para dados de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 20 genótipos (●) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (G1, MNCO1-649F-1-3; G2, MNCO1-649F-2-1; G3, MNCO1-649F-2-11; G4, MNCO2-675F-5; G5, MNCO2-675F-9-5; G6, MNCO2-676F-1; G7, MNCO2-677F-2; G8, MNCO2-677F-5; G9, MNCO2-680F-12; G10, MNCO2-689F-2-8; G11, MNCO2-701F-2; G12, MNCO3-736F-2; G13, MNCO3-736F-6; G14, MNCO3-761F-1; G15, Pingo-de-Ouro-1-2; G16, BRS Xiquexique; G17, BRS Juruá; G18, BRS Aracê; G19, BR 17-Gurguéia; G20, BRS Marataoã) de porte semiprostrado, em nove ambientes (■) da região Meio-Norte do Brasil (BA10, Balsas, MA, 2010 e 2011; BJ10, Bom Jesus, PI, 2010 e 2011; BU10, Buriti, MA, 2010; CG11, Campo Grande do Piauí, PI, 2011; SJ11, São João do Piauí, PI, 2011; SRM10, São Raimundo das Mangabeiras, 2010; e 2011), no período de 2010 a 2011. GS, genótipo suplementar; AS, ambiente suplementar (▲).

aqueles com escores mais baixos no eixo das ordenadas, entre -5 e 5, foram as linhagens 9 (MNC02-680F-12), 13 (MNC03-736F-6), 10 (MNC02-689F-2-8) e 14 (MNC03-761F-1) e as cultivares 16 (BRS Xiquexique) e 15 (Pingo-de-Ouro-1-2) (Figura 1). Os genótipos mais instáveis foram: 11 (MNC02-701F-2), 8 (MNC02-677F-5), 17 (BRS Juruá) e 20 (BRS Marataoã). Estes quatro genótipos, situados na parte superior e inferior do gráfico, apresentaram os escores mais altos para a interação genótipo x ambiente.

Os ambientes mais estáveis foram CG11, BU10 e SJ11, pois interagiram menos com os fatores ambientais – o primeiro foi associado à baixa produtividade e os outros dois, à média produtividade. O ambiente Balsas, MA, 2011 foi o mais similar ao AS. Portanto, é o mais adequado para a seleção de genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade. Neste ambiente, os genótipos foram mais responsivos e obtiveram as maiores produtividades, com média de 1.976,72 kg ha⁻¹, a maior entre os ambientes avaliados. Em seguida, destacou-se o ambiente Balsas, MA, 2010, evidenciando que o local Balsas, MA apresentou interação positiva com os fatores ambientais, inclusive com o fator imprevisível de ano agrícola.

Os genótipos avaliados foram menos responsivos ao ambiente Campo Grande do Piauí, PI, 2011, o qual apresentou a menor média de produtividade. O ambiente São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010 apresentou instabilidade associada à média produtividade, enquanto São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011 apresentou instabilidade associada à alta produtividade. Esse resultado assemelha-se ao obtido por Rocha et al. (2007), que, ao avaliar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi na região Nordeste, também verificaram que o local São Raimundo das Mangabeiras teve alta interação com os anos agrícolas, tendo sido um dos locais mais instáveis.

Em relação a adaptações específicas entre genótipos e ambientes, a cultivar BRS Juruá apresentou adaptabilidade específica aos ambientes Bom Jesus, PI, 2010 e São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010, ambientes instáveis associados à média de produtividade. As linhagens 8 (MNC02-677F-5), 11 (MNC02-701F-2) e a cultivar 20 (BRS Marataoã) apresentaram as maiores médias no ambiente São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011 (Tabela 3),

o que evidencia que estes genótipos apresentam adaptações específicas a esse ambiente (Figura 1).

A cultivar BRS Xiquexique foi o genótipo que apresentou produtividade de grãos mais elevada, seguida da linhagem 11 (MNC02-701F-2) (Tabela 3). Rocha et al. (2008) conduziram estudo com genótipos de feijão-caupi na região semiárida piauiense e também encontraram maior produtividade para essa cultivar. Observou-se, no presente trabalho, que os genótipos mais produtivos (16, 11 e 15) não foram os mais estáveis (9, 13 e 10) (Figura 1). No entanto, a linhagem 13 (MNC03-736F-6), que não estava entre as mais produtivas no conjunto de genótipos avaliados, foi a segunda mais previsível. O genótipo MNC02-701F-2 mostrou-se bastante produtivo no local Balsas, MA, entretanto, foi o mais instável. Nos ambientes Balsas, MA, 2010 e Balsas, MA, 2011 este genótipo foi responsável pelas maiores produtividades entre o grupo de genótipos avaliados (Tabela 3).

Nenhum genótipo se aproximou do G_s (Tabela 4). A linhagem 12 (MNC03-736F-2) apresentou a menor distância quadrática em relação ao G_s , ou seja, foi a mais similar ao genótipo ideal. Embora visualmente

os genótipos 15 (Pingo-de-Ouro-1-2) e 16 (BRS Xiquexique) tenham apresentado alta estabilidade e produtividade pela análise AMMI tradicional (Figura 1), por situarem-se na linha de estabilidade, o genótipo 12 apresentou distância quadrática de G_s menor, tendo ficado na mesma altura do G_s , o qual, por essa abordagem, é o ponto referencial ou testemunha de estabilidade e adaptabilidade ideal, de acordo com Pacheco et al. (2005). O genótipo mais distante do G_s foi o 17 (BRS Juruá), o que é indicativo de alta dissimilaridade em relação ao genótipo ideal e, portanto, de baixa adaptabilidade e estabilidade aos ambientes testados.

Entre as cultivares avaliadas, Pingo-de-Ouro-1-2 e BRS Xiquexique foram as que apresentaram maior adaptabilidade, enquanto BR 17-Gurguéia foi a mais estável. Pingo-de-Ouro-1-2 foi a que apresentou, simultaneamente, melhor adaptabilidade e estabilidade aos ambientes testados. Resultados diferentes foram obtidos por Freire Filho et al. (2002, 2003), na cultivar BR 17-Gurguéia, e por Rocha et al. (2011) na cultivar Pingo-de-Ouro-1-2. Esses autores encontraram instabilidade associada à alta produtividade para essas

Tabela 3. Produtividade média predita pelo modelo AMMI para genótipos e ambientes, com interação genótipo x ambiente captada pelo primeiro componente principal da interação de 20 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) de porte semiprostrado, em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 e 2011.

| Genótipo ⁽¹⁾ | Ambiente ⁽²⁾ | | | | | | | | | Média geral |
|-------------------------|-------------------------|----------|--------|---------|--------|----------|----------|--------|----------|-------------|
| | BA2010 | BA2011 | BJ2010 | BJ2011 | SR2010 | SR2011 | SJ2011 | CG2011 | BU2010 | |
| 1. MNCO1-649F-1-3 | 1.635,93 | 1.965,95 | 753,57 | 935,58 | 925,44 | 1.015,72 | 874,19 | 407,19 | 898,16 | 1.045,75 |
| 2. MNCO1-649F-2-1 | 1.611,19 | 1.943,31 | 756,04 | 929,94 | 935,93 | 976,05 | 865,66 | 397,00 | 888,35 | 1.033,72 |
| 3. MNCO1-649F-2-11 | 1.569,16 | 1.899,35 | 689,00 | 870,35 | 861,51 | 947,75 | 808,72 | 341,59 | 832,59 | 980,00 |
| 4. MNCO2-675F-5 | 1.544,73 | 1.879,67 | 726,31 | 889,26 | 917,02 | 889,42 | 821,08 | 350,19 | 842,05 | 984,41 |
| 5. MNCO2-675F-9-5 | 1.574,86 | 1.912,28 | 788,57 | 941,94 | 988,74 | 901,91 | 870,35 | 397,51 | 889,81 | 1.029,55 |
| 6. MNCO2-676F-1 | 1.663,84 | 1.991,68 | 753,24 | 943,65 | 916,79 | 1.059,12 | 885,26 | 419,98 | 910,56 | 1.060,46 |
| 7. MNCO2-677F-2 | 1.671,41 | 1.975,81 | 456,48 | 737,57 | 530,37 | 1.233,74 | 711,51 | 264,74 | 751,08 | 925,86 |
| 8. MNCO2-677F-5 | 1.847,87 | 2.134,12 | 397,34 | 748,63 | 401,82 | 1.539,52 | 747,59 | 315,16 | 798,22 | 992,25 |
| 9. MNCO2-680F-12 | 1.602,56 | 1.920,55 | 563,97 | 792,53 | 689,82 | 1.068,10 | 747,73 | 290,24 | 779,03 | 939,39 |
| 10. MNCO2-689F-2-8 | 1.610,26 | 1.931,71 | 616,73 | 831,86 | 755,85 | 1.051,07 | 782,27 | 322,04 | 811,46 | 968,14 |
| 11. MNCO2-701F-2 | 2.025,49 | 2.311,35 | 569,97 | 922,76 | 572,99 | 1.719,87 | 922,24 | 490,11 | 973,11 | 1.167,54 |
| 12. MNCO3-736F-2 | 1.686,90 | 1.998,73 | 568,32 | 820,71 | 670,60 | 1.196,35 | 784,41 | 331,78 | 819,46 | 986,36 |
| 13. MNCO3-736F-6 | 1.649,49 | 1.967,30 | 608,58 | 837,83 | 733,75 | 1.116,31 | 793,28 | 335,93 | 824,69 | 985,24 |
| 14. MNCO3-761F-1 | 1.624,37 | 1.946,36 | 637,82 | 850,87 | 778,99 | 1.061,35 | 800,54 | 339,88 | 829,40 | 985,51 |
| 15. Pingo-de-Ouro-1-2 | 1.780,65 | 2.096,75 | 717,55 | 953,40 | 836,17 | 1.259,65 | 911,21 | 455,21 | 943,66 | 1.106,03 |
| 16. BRS Xiquexique | 1.827,39 | 2.149,14 | 837,75 | 1051,72 | 978,02 | 1.266,06 | 1.001,72 | 541,25 | 1.030,73 | 1.187,09 |
| 17. BRS Juruá | 1.159,74 | 1.508,78 | 524,33 | 632,74 | 768,94 | 403,98 | 545,12 | 63,10 | 557,51 | 684,92 |
| 18. BRS Aracê | 1.525,67 | 1.859,46 | 692,32 | 859,72 | 878,63 | 878,55 | 793,12 | 323,14 | 814,79 | 958,38 |
| 19. BR 17-Gurguéia | 1.686,72 | 2.000,10 | 588,44 | 834,78 | 696,70 | 1.185,02 | 796,32 | 342,46 | 830,42 | 995,66 |
| 20. BRS Marataoã | 1.849,28 | 2.141,90 | 481,37 | 808,05 | 510,19 | 1.495,58 | 798,23 | 360,77 | 844,99 | 1.032,26 |
| Média geral | 1.657,38 | 1.976,72 | 636,39 | 859,69 | 767,41 | 1.113,26 | 813,03 | 354,46 | 843,50 | |

⁽¹⁾Genótipos: 14 linhagens e seis cultivares provenientes do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte. ⁽²⁾BA, Balsas, MA; BJ, Bom Jesus, PI; SR, São Raimundo das Mangabeiras, MA; CG, Campo Grande do Piauí, PI; BU, Buriti, MA.

cultivares, quando avaliadas juntamente com outros grupos de genótipos.

Com relação aos ambientes, o ambiente 2 (Balsas, 2011) foi o mais similar ao A_S (Tabela 4 e Figura 1). No entanto, o ambiente 5 (São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010) foi o mais dissimilar. Isso é indicativo que o local Balsas, MA apresenta as melhores condições para a seleção simultânea para adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos, entre os locais de teste estudados. Contudo, no presente trabalho, nenhum genótipo apresentou adaptabilidade específica ao local Balsas, MA.

Tabela 4. Produtividade média de grãos, escores dos genótipos, ambientes, genótipo suplementar (G_S), ambiente suplementar (A_S), e distâncias quadráticas (d_{is}^2/d_{js}^2) entre cada genótipo e ambiente e G_S/A_S .

| Genótipo (G)/Ambiente (A) ⁽¹⁾ | Produtividade (kg ha ⁻¹) | Escore | (d_{is}^2/d_{js}^2) |
|---|--------------------------------------|--------|-------------------------|
| G ₁ – MNCO1-649F-1-3 | 1.045,75 | -5,62 | 111,94 |
| G ₂ – MNCO1-649F-2-1 | 1.033,72 | -6,72 | 136,42 |
| G ₃ – MNCO1-649F-2-11 | 980,00 | -5,70 | 113,64 |
| G ₄ – MNCO2-675F-5 | 984,41 | -8,21 | 173,45 |
| G ₅ – MNCO2-675F-9-5 | 1.029,55 | -9,51 | 209,38 |
| G ₆ – MNCO2-676F-1 | 1.060,46 | -4,47 | 88,92 |
| G ₇ – MNCO2-677F-2 | 925,86 | 7,86 | 8,41 |
| G ₈ – MNCO2-677F-5 | 992,25 | 17,40 | 154,75 |
| G ₉ – MNCO2-680F-12 | 939,39 | 0,71 | 18,06 |
| G ₁₀ – MNCO2-689F-2-8 | 968,14 | -1,11 | 36,84 |
| G ₁₁ – MNCO2-701F-2 | 1.167,54 | 17,60 | 159,77 |
| G ₁₂ – MNCO3-736F-2 | 986,36 | 3,95 | 1,02 |
| G ₁₃ – MNCO3-736F-6 | 985,24 | 0,80 | 17,31 |
| G ₁₄ – MNCO3-761F-1 | 985,51 | -1,39 | 40,32 |
| G ₁₅ – Pingo-de-Ouro-1-2 | 1.106,03 | 1,71 | 10,56 |
| G ₁₆ – BRS Xiquexique | 1.187,09 | -1,27 | 38,81 |
| G ₁₇ – BRS Juruá | 684,92 | -15,62 | 423,54 |
| G ₁₈ – BRS Aracê | 958,38 | -7,60 | 157,75 |
| G ₁₉ – BR 17-Gurguéia | 995,66 | 3,13 | 3,35 |
| G ₂₀ – BRS Marataoã | 1.032,26 | 14,05 | 82,63 |
| A ₁ – BA2010 | 1.657,38 | 11,53 | 4,80 |
| A ₂ – BA2011 | 1.976,72 | 9,63 | 0,08 |
| A ₃ – BJ2010 | 636,39 | -13,15 | 505,80 |
| A ₄ – BJ2011 | 859,69 | -5,80 | 229,22 |
| A ₅ – SR2010 | 767,41 | -20,42 | 885,66 |
| A ₆ – SR2011 | 1.113,26 | 25,08 | 247,75 |
| A ₇ – SJ2011 | 813,03 | -3,17 | 156,50 |
| A ₈ – CG2011 | 354,46 | -1,67 | 121,22 |
| A ₉ – BU2011 | 843,50 | -2,02 | 129,05 |
| G _S – Genótipo suplementar (ideal) | 1.343,40 | 4,96 | - |
| A _S – Ambiente suplementar (ideal) | 1.992,00 | 9,34 | - |

⁽¹⁾Genótipos provenientes do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte. Ambientes: BA, Balsas, MA; BJ, Bom Jesus, PI; SR, São Raimundo das Mangabeiras, MA; CG, Campo Grande do Piauí, PI; BU, Buriti, MA.

Conclusões

1. A linhagem MNC03-736F-2 apresenta genes para adaptabilidade e estabilidade produtiva.

2. Entre as cultivares avaliadas, BR 17-Gurguéia e Pingo-de-Ouro-1-2 são as mais previsíveis, enquanto BRS Xiquexique é a mais adaptada.

3. Entre os locais de teste, Balsas, MA é o mais adequado para a seleção de genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade.

Referências

- AKANDE, S.R. Genotype by environment interaction for cowpea seed yield and disease reactions in the forest and derived savanna agro-ecologies of south-west Nigeria. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v.2, p.163-168, 2007.
- ASIO, M.T.; OSIRU, D.S.O.; ADIPALA, E. Multilocational evaluation of selected local and improved cowpea lines in Uganda. **African Crop Science Journal**, v.13, p.239-247, 2005.
- COCHRAN, W.G.; COX, G. **Experimental designs**. 2.ed. New York: J. Wiley, 1957. 616p.
- CORNELIUS, P.L.; SEYEDSADR, M.; CROSSA, J. Using the shifted multiplicative model to search for “separability” in crop cultivar trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.84, p.161-172, 1992. DOI: 10.1007/BF00223996.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES: biometria**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 382p.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, p.567-80, 1989.
- DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p. (Série monografias, 9).
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
- FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, Â.C. de A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de caupi enramador de tegumento mulato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.591-598, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000500006.
- FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, Â.C. de A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte enramador. **Revista Ceres**, v.49, p.383-393, 2002.
- FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, Â. de C.A. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos de genótipos de caupi de porte semi-ereto. **Revista Científica Rural**, v.6, p.31-39, 2001.

- FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K.J.D. e; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.
- FREIRE FILHO, F.R.; ROCHA, M.M.; RIBEIRO, V.Q.; LOPES, A.C. de A. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.35, p.24-30, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000100005.
- GONÇALVES, J.G.R.; CHIORATO, A.F.; MORAIS, L.K. de; PERINA, E.F.; FARIAS, F.L.; CARBONELL, S.A.M. Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.922-931, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000400018.
- GONÇALVES, J.G.R.; CHIORATO, A.F.; PERINA, E.F.; CARBONELL, S.A.M. Estabilidade fenotípica em feijoeiro estimada por análise AMMI com genótipo suplementar. **Bragantia**, v.68, p.863-871, 2009. DOI: 10.1590/S0006-87052009000400006.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p.193-198, 1988. DOI: 10.4141/cjps88-018.
- MANO, A.R.O. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão-de-corda**. 2009. 152p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- NUNES, H.F. **Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho em cultivos de sequeiro e irrigado**. 2012. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- OJO, D.K.; ODUOLA, M.S.; ODUWAYE, O.A. Graphical assessment of yield stability and adaptation in cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Nigerian Journal of Genetics**, v.20, p.17-25, 2006.
- PACHECO, R.M.; DUARTE, J.B.; VENCOSKY, R.; PINHEIRO, J.B.; OLIVEIRA, A.B. Use of supplementary genotypes in AMMI analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v.110, p.812-818, 2005. DOI: 10.1007/s00122-004-1822-6.
- ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; CARVALHO, H.W.L. de; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J.A.A.; ALCÂNTARA, J. dos P.; RAMOS, S.R.R.; MACHADO, C. de F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1283-1289, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000900010.
- ROCHA, M. de M.; OLIVEIRA, J.T.S.; FREIRE FILHO, F.R.; CÂMARA, J.A. da S.; RIBEIRO V.Q.; OLIVEIRA, J.A. de. **Purificação genética e seleção de genótipos de feijão-caupi para a região semi-árida piauiense**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 28p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 84).
- ROCHA, M. de M.; OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, K.J.D. e; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; BARROS, F.R.; RODRIGUES, E.V. **Seleção de genótipos de feijão-caupi tipo comercial Canapu no semiárido piauiense**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 33p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 99).
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

Recebido em 29 de janeiro de 2012 e aprovado em 21 de março de 2013