



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

**MICHEL ALVES BARROS**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA ADAPTABILIDADE  
E ESTABILIDADE PRODUTIVA NA REGIÃO  
MEIO-NORTE DO BRASIL**

**TERESINA  
2012**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA ADAPTABILIDADE  
E ESTABILIDADE PRODUTIVA NA REGIÃO  
MEIO-NORTE DO BRASIL**

**MICHEL ALVES BARROS**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Orientador: Dr. Maurisrael de Moura Rocha**  
**Co-Orientadora: Dra. Regina Lucia F. Gomes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de mestre em agronomia, área de concentração em produção vegetal.

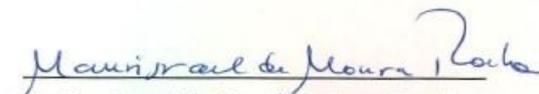
TERESINA  
2012

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA ADAPTABILIDADE  
E ESTABILIDADE PRODUTIVA NA REGIÃO MEIO-NORTE DO BRASIL

MICHEL ALVES BARROS  
Engenheiro Agrônomo

Aprovado em 22/06/2012

Comissão Julgadora:

  
Dr. Maurisrael de Moura Rocha – Presidente  
CPAMN

  
Dra. Maria Clideana Cabral Maia -Titular  
CPAMN

  
Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra -Titular  
CCA/UFPI

  
Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes – Titular  
CCA/UFPI

A toda minha família,  
Pelo amor, carinho e incentivo

DEDICO

“É melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota”.

(Theodore Roosevelt)

## AGRADECIMENTOS

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

À Universidade Federal do Piauí, por meio do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Embrapa Meio-Norte, por oportunizar toda a estrutura necessária à execução dos experimentos.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao pesquisador da Embrapa Meio-Norte Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pela orientação e pelos ensinamentos durante a realização e conclusão deste trabalho.

À professora da UFPI, Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes, pela co-orientação, companheirismo e dedicação profissional.

Ao Prof. da UFG, Dr. João Batista Duarte, pela cessão da rotina SAS para a realização das análises de adaptabilidade e estabilidade com o uso de genótipo e ambiente suplementares.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelos ensinamentos e momentos de reflexão.

A grande família caupi, especialmente, ao pesquisador Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho; e aos funcionários Manoel Gonçalves da Silva, Adão Cabral das Neves, Agripino Ferreira, Paulo Sérgio Monteiro, Ana Lúcia, Clodeildes Nunes, Gregório Chaves (Bom amigo); Antônio José (França) e a todas as mulheres do caupi; pelo enorme apoio, alegria, seriedade e colaboração na execução de todas as etapas dos experimentos.

Ao Benedito (Bené) e Mauro, pelo apoio na condução e obtenção dos dados dos experimentos de Balsas e Bom Jesus.

Ao grupo de amigos de estágio da Embrapa Meio-Norte, Hendrie Nunes, Cristiane Lopes, Erina Vitória, Laíse Lemos, Massaine Bandeira, Carolline Pires, Carlos Misael, Mario Henrique, Jaqueline Santos, Jaqueline Luz, Jessica Lustosa, Mariane Costa, Rosana Moura, Ligia Renata e Camila Campêlo, e ao amigo Glauco Lima, que de certa forma contribuíram com esse trabalho.

Ao funcionário da biblioteca da Embrapa Meio-Norte, Francisco Lima (Mirim) pela ajuda nas referências bibliográficas.

Aos secretários da coordenação dos Programas de Pós-graduação em Agronomia e em Ciência Animal, Vicente de Sousa Paulo e Luiz Gomes da Silva, pelos auxílios, orientações e serviços prestados.

Aos amigos da pós-graduação da UFPI, Diego Paz, Agenor Rocha, Dorotéia Marçal, Kelly Mayara, Gisele Castelo Branco, Maiany Gonçalves, Sérgio Augusto, Ricardo Silva, José Ribamar, Antônia Maria, Antônio Eudes, Sabrina Silva, Theofilo Santos, Jaquecilene Moura, Francisco Leonardo, pelo companheirismo e momentos de estudos e descontração.

A minha mãe, grande inspiradora e razão da minha vida.

A toda minha família, meu pai, meus avós, minha irmã, meu padrasto, meus tios e tias pelo apoio e confiança depositados em mim.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1. Aspectos gerais sobre o feijão-caupi.....	17
2.2. Melhoramento genético do feijão-caupi.....	21
2.3. Interação genótipo x ambiente.....	22
2.3.1 Interação genótipo x ambiente em feijão-caupi.....	25
2.4. Adaptabilidade e estabilidade.....	26
2.4.1. Métodos que avaliam a adaptabilidade e a estabilidade.....	27
2.4.2. Adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi.....	34
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
3.1. Material genético.....	37
3.2. Ambientes de condução dos experimentos.....	38
3.3. Procedimentos experimentais.....	39
3.4. Caracteres avaliados.....	40
3.5. Análises estatísticas.....	41
3.5.1. Análises de variância individual e conjunta.....	41
3.5.2. Análises de comparação de médias.....	42
3.5.3. Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	43
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
4.1. Análises de variância individual.....	47
4.2. Análises de variância conjunta.....	49
4.3. Comparação de médias.....	52
4.4. Análises de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos.....	57
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>82</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ACAM</b>	Acamamento
<b>ACP</b>	Análise de componentes principais
<b>ACPI</b>	Análise de componentes principais da interação genótipo x ambiente
<b>AMMI</b>	Análise de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa
<b>AS</b>	Ambiente suplementar
<b>CPI</b>	Componente principal da interação genótipo x ambiente
<b>COMPV</b>	Comprimento de vagem
<b>DVS</b>	Decomposição por valores singulares
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>GS</b>	Genótipo suplementar
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IG</b>	Índice de grãos
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NDIF</b>	Número de dias para o início da floração
<b>NGV</b>	Número de grãos por vagem
<b>PG</b>	Produtividade de grãos
<b>P100G</b>	Peso de cem grãos
<b>QM</b>	Quadrado médio
<b>SQ</b>	Soma de quadrados
<b>VC</b>	Valor de cultivo

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Locais de condução dos ensaios experimentais, na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011..... 38
- Figura 2.** Biplot AMMI1 para dados de produtividade de grãos de 20 genótipos (círculos em azul) de feijão-caupi de porte semiprostrado, avaliados em nove ambientes (quadrados em vermelho) da Região Meio-Norte do Brasil. (BA10: Balsas 2010; BA11: Balsas 2011; BJ10: Bom Jesus 2010; BJ11: Bom Jesus 2011; SR10: São Raimundo das Mangabeiras 2010; SR11: São Raimundo das Mangabeiras 2011; SJ11: São João do Piauí 2011; CG11: Campo Grande do Piauí 2011; BU10: Buriti 2010), no período de 2010 a 2011. GS: genótipo suplementar e AS: ambiente suplementar (triângulos em verde)..... 62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Estimativa por região da área cultivada, produção e produtividade e da participação do feijão-caupi <sup>(1)</sup> na produção de feijões no Brasil, média do período de 2005 – 2009.....	20
<b>Tabela 2.</b>	Parâmetros socioeconômicos da cultura do feijão-caupi estimados com base na média do período de 2005 – 2009.....	21
<b>Tabela 3.</b>	Relação dos genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado com suas genealogias/procedências e subclasse comercial, avaliados na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	37
<b>Tabela 4.</b>	Coordenadas geográficas, tipos de solos e bioma dos locais de condução dos experimentos, na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	39
<b>Tabela 5.</b>	Data de plantios, colheitas e ciclo dos experimentos conduzidos na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	39
<b>Tabela 6.</b>	Resumo das análises de variância individuais para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PG), obtidas a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	48
<b>Tabela 7.</b>	Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), valor de cultivo (VC), produtividade de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), acamamento (ACAM), índice de grãos (IG) e número de dias para o início da floração (NDIF), obtido a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	51
<b>Tabela 8.</b>	Médias dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PG), obtidas a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	54
<b>Tabela 9.</b>	Resumo das análises de variância individuais, referente ao caráter produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), obtida a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	57

<b>Tabela 10.</b>	Resumo da análise de variância conjunta com a decomposição AMMI do efeito da interação GxA para o caráter produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) avaliado em 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado, em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	59
<b>Tabela 11.</b>	Resumo da análise de componentes principais da interação (CPI) estimada a partir da avaliação da produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado, em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011 .....	60
<b>Tabela 12.</b>	Médias previstas para o caráter produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) pelo modelo AMMI, considerando apenas o primeiro eixo (CPI1), obtidos a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, em nove ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.....	64
<b>Tabela 13.</b>	Produtividade média, escores dos genótipos (G <sub>1</sub> -G <sub>20</sub> ), ambientes (A <sub>1</sub> -A <sub>9</sub> ), genótipo suplementar (G <sub>S</sub> ), ambiente suplementar (A <sub>S</sub> ), e as distâncias quadráticas (d <sup>2</sup> <sub>is</sub> ) entre cada genótipo e ambiente avaliado quando projetada sobre o <i>biplot</i> AMMI1.....	65

## **Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva na Região Meio-Norte do Brasil**

Autor: Michel Alves Barros

Orientador: Dr. Maurisrael de Moura Rocha

**Resumo:** O feijão-caupi é a leguminosa mais cultivada na região Meio-Norte do Brasil, que região apresenta diversidade de clima e solo, o que torna necessário a avaliação de genótipos em ensaios multiambientes nas fases finais do programa de melhoramento para subsidiar o lançamento e a recomendação de cultivares. Este trabalho teve como objetivos: avaliar e selecionar genótipos de porte semiprostrado para a produtividade de grãos e seus componentes; e selecionar genótipos de porte semiprostrado para adaptabilidade e estabilidade produtiva. Em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil, foram avaliados 20 genótipos no período de 2010 a 2011, em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições. Avaliou-se os seguintes caracteres: número de dias para o início da floração (NDIF); valor de cultivo (VC); acamamento (ACAM); comprimento de vagem (COMPV); número de grãos por vagem (NGV); peso de 100 grãos (P100G); índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PG). A adaptabilidade e estabilidade produtiva dos genótipos foram avaliadas pela metodologia AMMI com auxílio de genótipo e ambiente suplementares. As médias dos genótipos diferiram para a maioria dos caracteres, exceto para o ACAM, IG e PG. Genótipos e ambientes diferiram significativamente e houve comportamento produtivo diferencial dos genótipos frente às variações do ambiente. O efeito de ambientes é mais importante do que o efeito da interação genótipos x ambientes, e este, mais importante do que o efeito de genótipos. A linhagem MNC03-736F-2 apresenta genes para adaptabilidade e estabilidade. O local Balsas-MA é o mais adequado para a seleção de genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade. Não houve concordância entre AMMI padrão e AMMI com ambiente e genótipo suplementares. A interpretação gráfica em “biplot” com a inclusão do genótipo e ambiente suplementares permite identificar com mais precisão, genótipos e ambientes superiores em adaptabilidade e estabilidade.

**Palavras chave:** *Vigna unguiculata*, interação genótipo x ambiente, metodologia AMMI, genótipo e ambiente suplementares.

## **Selection of cowpea genotypes for yield adaptability and stability in Brazilian Mid-North Region**

Author: Michel Alves Barros

Adiviser: Dr. Maurisrael de Moura Rocha

**Abstract:** Cowpea is the most cultivated legumes in the Brazilian Mid-North region. This region offers diversity of climate and soil, making it necessary to multienvironments trials evaluation on the final stages of the cowpea breeding program in order to support the release and recommending cultivars for this region. This study aimed to evaluate and select semi-prostrate genotypes for grain yield and its components, and select semi-prostrate genotypes for yield adaptability and stability. Twenty genotypes were evaluated in nine environments of the Brazilian Mid-North region, from 2010 to 2011, in a randomized complete block design with four replications. The following traits were evaluated: number of days to the beginning of flowering (NDIF); cultivation value (CV), lodging (ACAM), pod length (COMPV), number of seeds per pod (NGV), weight of 100 grains (P100G), grain index (IG) and grain yield (PG). The adaptability and stability of genotypes were evaluated by the AMMI method with the aid of supplementary genotype and environment. The averages of the genotypes differed for most traits, except for the ACAM, IG and PG. Genotypes and environments differ significantly and there was productive behavior of the differential genotypes relatively to the environment. The effect of environments is more important than the effect of the genotype by environment interaction, and this more important than the effect of genotypes. The line MNC03-736F-2 has genes for adaptability and stability. The site Balsas-MA is the most suitable for the selection of superior genotypes for adaptability and stability. There was no concordance between standard AMMI and AMMI with additional environment and genotype. The graphical interpretation of "biplot" with the inclusion of supplementary genotype and environment allowed identifying more precisely, superior genotypes and environments on stability and adaptability.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, genotype by environment interaction, AMMI methodology, supplementary genotype and environment.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma das leguminosas mais amplamente cultivadas nas regiões quentes da África, Ásia, Europa e Américas. Isso se deve aos seus atributos nutricionais superiores, ampla adaptabilidade e alta tolerância a temperaturas e condições de seca, entre outros estresses (EHLERS; HALL, 1997).

No Brasil, o feijão-caupi destaca-se por sua importância socioeconômica para as famílias das regiões Norte e Nordeste, constituindo-se em um dos principais componentes da dieta alimentar na zona urbana e, especialmente, para as populações rurais, gerando emprego e renda para milhares de pessoas (FREIRE FILHO et al., 2005a).

Em relação a outras culturas, pode-se dizer que o feijão-caupi ainda é pouco melhorado. Entretanto, possui uma ampla variabilidade genética para praticamente todos os caracteres de interesse agrônômico. As cultivares brasileiras são, quase em sua totalidade, de crescimento indeterminado e de portes semiprostrados e prostrados (FREIRE FILHO et al., 2009).

Os objetivos do melhoramento genético do feijão-caupi de genótipos semiprostrados em curto prazo é desenvolver cultivares com arquitetura moderna, adequadas à agricultura familiar e empresarial, onde a colheita manual seja facilitada e a mecânica possível; aumentar a produtividade; a adaptabilidade e estabilidade da produção; aumentar a resistência a pragas e doenças, e ainda aumentar a resistência a estresses hídricos (FREIRE FILHO et al., 2009).

Em um determinado ambiente, a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação destes (CRUZ; REGAZZI, 2004). Por isso, nos programas de melhoramento genético, a avaliação da interação genótipos x ambientes torna-se de grande importância, pois, no caso de sua existência, há possibilidades de o melhor genótipo em um dado ambiente não o ser em outro. Este fato influencia o ganho com a seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade.

A produção anual de feijão-caupi no Nordeste brasileiro sofre grande oscilação, devido principalmente ao déficit hídrico e a irregularidade da distribuição das chuvas. O estudo da adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos é indispensável em um programa de melhoramento, pois possibilita aos melhoristas, a identificação de genótipos que mantêm o nível de produtividade, independentemente das variações do ambiente, assim como, a identificação daqueles que respondem bem a melhoria do ambiente (FREIRE FILHO et al., 2002).

A estabilidade e a adaptabilidade de genótipos são características importantes, em que, a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, e a estabilidade diz respeito à capacidade dos genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em razão do estímulo do ambiente (CRUZ; REGAZZI, 2004). A produtividade associada à adaptabilidade e à estabilidade de rendimento tem recebido bastante atenção por parte dos melhoristas de plantas, possivelmente, em virtude do feijão-caupi ter sua produção concentrada em áreas com alto índice de incidência de secas (FREIRE FILHO et al., 1999).

A adaptabilidade e a estabilidade de genótipos de feijão-caupi têm sido motivo de vários estudos, com a predominância do uso de metodologias que utilizam regressão linear (FREIRE FILHO et al., 2001; 2002; AREMU et al., 2007), principalmente a metodologia de EBERHART e RUSSEL (1966). No entanto, tem crescido no Brasil a utilização de metodologias com abordagem multivariada, sendo mais comum o uso da metodologia AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*), que foi utilizada por Freire Filho et al. (2003a; 2003b; 2005b) e Rocha et al. (2007; 2011a;b). Esses estudos têm subsidiado o melhoramento e o lançamento de cultivares em vários estados da região Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil. O método AMMI destaca-se por descrever melhor a interação GxA, mediante o descarte de ruídos adicionais, presentes nas estimativas tradicionais da interação. Como forma de incrementar a análise, Pacheco et al. (2005) introduziram nas análises um genótipo suplementar (GS), com base no método de Lin e Binns (1988). Essa metodologia, com o uso de GS tem sido aplicada nas culturas da soja, feijão-comum e algodão (CHAVES; DUARTE, 2004; GONÇALVES et al., 2009; 2010; SILVA, 2010; MORELLO et al., 2008). Contudo, não há relatos na literatura da sua aplicação em feijão-caupi.

Este trabalho teve por objetivos: avaliar e selecionar genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado para a produtividade e seus componentes; e selecionar genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado para adaptabilidade e estabilidade produtiva, com o intuito de subsidiar o lançamento e a recomendação de cultivares para a região Meio-Norte do Brasil.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais sobre o feijão-caupi

A cultura do feijão-caupi é adaptada a altas temperaturas (20-35°C) e desenvolve-se bem em uma ampla gama de texturas do solo, indo de areias a argilas pesadas, se bem drenados, sendo melhor o seu crescimento em solos ligeiramente ácidos a ligeiramente alcalinos (pH 5,5 a 8,3) e tem pouca tolerância à salinidade, mas apresenta certa tolerância a solos ricos em alumínio. Como a maioria das leguminosas, não suporta condições de alagamento ou inundação, e uma vez estabelecida, é bastante tolerante a seca. Muitas vezes, é cultivado em sistema de sequeiro, onde recebe pelo menos 600 mm de precipitação anual, ou menos, se obtiver alguma irrigação mínima disponível. Pode ser cultivado durante o ano todo, em altitudes que variam do nível do mar até 1000 pés. Em altitudes mais elevadas (até 2000 pés), o plantio deverá ser limitado aos meses mais quentes, primavera e verão (VALENZUELA; SMITH, 2002).

A classificação taxonômica do feijão-caupi teve, ao longo dos anos, grande dificuldade quanto a sua definição, provavelmente em virtude da grande variação genética existente. Inicialmente, foi classificado nos gêneros *Phaseolus* e *Dolichus* e, posteriormente, no gênero *Vigna*. Em relação à espécie, também ocorreram várias classificações. Atualmente, a classificação cientificamente aceita é que ela é pertencente à classe Dicotyledonea, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, seção *Catyang* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata* (MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; PADULOSI; NG, 1997; SMARTT, 1990; VERDCOURT, 1970) citados por (FREIRE FILHO et al., 2011a).

O feijão-caupi possui vários nomes populares dependendo da região. É mais conhecido como feijão-de-corda e feijão macássa ou macáçar, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-de-estrada e feijão-da-colônia, na região Norte e na região Sul, feijão miúdo. Ainda podem-se encontrar denominações como feijão-catador e feijão-gerutuba, em algumas regiões do estado da Bahia e norte de Minas Gerais, assim como, feijão fradinho nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2011a). O nome feijão-de-corda advém do ramo produzido por algumas de suas variedades, sendo classificadas como ramadoras. Já a designação feijão macáçar, provavelmente a mais antiga, não é decorrente de uma estrutura morfológica do vegetal, mas sim da cidade de Macáçar, na Indonésia, que

funcionava como um importante entreposto comercial português, no século 17, e que atualmente é chamada de Ujung Pandang (BARRACLOUGH, 1995).

Segundo Steele e Mehra (1980) e Ng e Maréchal (1985), o oeste africano, mais precisamente a Nigéria, deve ser o centro primário de diversidade do feijão-caupi, no entanto, Padulosi e Ng (1997) afirmam que provavelmente a região de Transvaal, na República da África do Sul, é a região de especiação do *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (FREIRE FILHO et al., 2005a). Segundo esses autores, o feijão-caupi foi introduzido na América Latina, no século 16 pelos colonizadores espanhóis e portugueses e sua entrada inicial no Brasil ocorreu provavelmente no estado da Bahia, se expandindo posteriormente para outras áreas do Nordeste e depois para outras regiões do país.

O feijão-caupi é uma espécie herbácea, autógama, anual, versátil e bem adaptada entre as espécies vegetais cultivadas, apresentando-se como um importante alimento e componente fundamental dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos, sendo cultivados em parte da Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e nas Américas (SINGH et al., 2002). É uma excelente fonte de proteínas (23% a 25%, em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não conter colesterol (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

Nos trópicos com clima quente-úmido, o feijão-caupi é mais tolerante à seca do que outras culturas, mas sofre ainda considerável perda de rendimento, devido à ocorrência de chuvas irregulares no início e no final da estação chuvosa. Cultivares com maturação precoce podem escapar da seca terminal, mas se forem expostas a estresse hídrico intermitente durante o crescimento, seus rendimentos serão baixos (SINGH, 2007).

No Brasil, a cultura do feijão-caupi torna-se de grande importância socioeconômica, pois é fonte geradora de emprego e renda para as famílias das regiões Norte e Nordeste. Constitui-se em um dos principais componentes da dieta alimentar nas zonas urbanas e especialmente nas rurais, sendo uma das principais culturas de subsistência, em virtude do elevado teor proteico, dessa forma, representa uma cultura de valor estratégico e atual (EHLERS; HALL, 1997; FREIRE FILHO et al., 2005a). Segundo Frota e Pereira (2000), devido suas características de ciclo curto e tolerância a estresse hídrico maior que de muitas outras culturas, comumente cultivadas na região Nordeste do Brasil, o feijão-caupi ocupa especial relevância no suprimento alimentar e na composição da renda, em virtude das menores ocorrências de perdas observadas e da ocupação de mão-de-obra em períodos sazonais.

O feijão-caupi é uma leguminosa bastante útil, que pode ser utilizada de diversas maneiras, como em rotações com culturas anuais, melhorando a disponibilidade de nitrogênio para a cultura comercial; controle de erosão e melhoria das propriedades do solo. Utilizado como uma cultura de cobertura suprime as ervas daninhas e pode incentivar as populações de insetos benéficos, bem como, para a produção de feno ou silagem de alta qualidade, quando misturado com outras culturas como milho ou sorgo, ou ser usado para rotação de pastagem. Em solos pobres em fósforo, as raízes de feijão-caupi desenvolvem eficazes associações micorrízicas, melhorando o conteúdo de P disponível no solo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002; VALENZUELA; SMITH, 2002).

Por causa de seus atributos nutricionais superiores, versatilidade, adaptabilidade e produtividade, o feijão-caupi foi escolhido pela NASA como uma das poucas culturas dignas de estudo para o cultivo em estações espaciais (EHLERS; HALL, 1997).

A produção mundial de feijão-caupi em 2010 atingiu 5,5 milhões de toneladas de grãos em 10,5 milhões de hectares (FAO, 2010). Esta produção foi alcançada em 36 países, com destaque para os maiores produtores: Nigéria, Niger e o Brasil, respectivamente. Estes países representam 84,1% da área e 70,9% da produção mundial. Vale salientar que a FAO não contabiliza a produção brasileira e que o IBGE não separa os dados de área e produção do feijão-comum e feijão-caupi. A ausência de informações sobre a produção do feijão-caupi torna-se um grande empecilho às exportações brasileiras de feijão-caupi, pois o mercado internacional desconhece a real produção da cultura, já que os órgãos oficiais não expõem os dados (DAMASCENO-SILVA, 2009).

No Brasil são cultivadas várias espécies de feijões, no entanto, somente duas destas são consideradas como feijão pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA: o feijão-comum, espécie *Phaseolus vulgaris* (L.) e o feijão-caupi, espécie *Vigna unguiculata* (BRASIL, 2008). Essas espécies constituem-se nas mais importantes tanto socialmente quanto economicamente para o país.

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

Freire Filho et al. (2011a) estimaram o percentual de participação do feijão-caupi na produção total do Brasil (Tabela 1), e constataram que, na média do período de 2005 a 2009, a

área cultivada correspondeu a 33,08% da área total do feijão (feijão-comum + feijão-caupi) na região Norte; 60,80%, na região Nordeste e 18,05%, na região Centro-Oeste. Verificaram ainda que, no mesmo período, a produção de feijão-caupi correspondeu a 37,64% na região Norte; 45,67%, na região Nordeste; e 9,12%, na região Centro-Oeste. A produtividade dos grãos foi correspondente a 113% da produtividade de feijão da região Norte (feijão-comum + feijão-caupi); 75,3%, na região Nordeste; e 53,26%, na região Centro-Oeste. Em termos de Brasil, na média do período considerado, o feijão-caupi contribuiu com cerca de 37,53% da área colhida, 15,48% da produção e 42,20% da produtividade.

Levando em consideração que cada hectare absorve em torno de 0,8 emprego/ano, o consumo *per capita* de 18,21 kg/pessoa/ano (FEIJÃO..., 2009) e ainda o preço mínimo da saca de 60 kg (HETZEL, 2009), com base no período de 2005 a 2009, estima-se que o feijão-caupi tenha gerado, em média, 1.113.109 empregos por ano, produzindo suprimentos alimentares para 28,2 milhões de pessoas, com receita anual de R\$ 684.825,33 reais (FREIRE FILHO et al., 2011a).

**Tabela 1.** Estimativa por região da área cultivada, produção e produtividade e da participação do feijão-caupi<sup>(1)</sup> na produção de feijões no Brasil, média do período de 2005 – 2009.

Região	Área cultivada		Produção		Produtividade	
	(ha)	(%)	(t)	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)
<b>Norte</b>						
Feijão-caupi	54.565	1,47	45,32	1,37	831	94,92
Feijão-comum + Feijão-caupi	164.98	4,45	121,27	3,65	735	84,01
<b>Nordeste</b>						
Feijão-caupi	1.289,64	34,79	426,36	12,85	330	37,66
Feijão-comum + Feijão-caupi	2.121,81	57,23	928,56	27,98	438	50,01
<b>Centro-Oeste</b>						
Feijão-caupi	47.174	1,27	41,93	1,26	960	109,76
Feijão-comum + Feijão-caupi	233,60	6,30	421,24	12,69	1.803	206,08
<b>Total</b>						
<b>Norte/Nordeste/Centro-Oeste</b>						
Feijão-caupi	1.391,38	37,53	513,61	15,48	369	42,17
Feijão-comum + Feijão-caupi	2.520,40	67,98	1.471,1	44,33	584	66,74
<b>Brasil</b>						
Feijão-caupi	1.391,38	37,53	513,61	15,48	369	42,20
Feijão-comum + Feijão-caupi	3.707,4	100,0	3.318,6	100,0	875	100,0

<sup>(1)</sup> Fonte: IBGE (LEVANTAMENTO..., 2005, 2006, 2007, 2008, 2009).

<sup>(2)</sup> Média do período de 2006 a 2009.

**Tabela 2.** Parâmetros socioeconômicos da cultura do feijão-caupi estimados com base na média do período de 2005 – 2009.

Parâmetro	Unidade	2005 – 2009
Área colhida <sup>(1)</sup>	Ha	1.391,38
Produção <sup>(1)</sup>	T	513,61
Nº de empregos gerados	0,8 emprego/ha/ano	1.113,10
Potencial de suprimento alimentar	18,21 kg/pessoa/ano <sup>(2)</sup>	28.205,32
Valor de produção (R\$)	80,00/saco 60 kg <sup>(3)</sup>	684.825,33

<sup>(1)</sup> Fonte: IBGE (LEVANTAMENTO..., 2005, 2006, 2007, 2008, 2009);

<sup>(2)</sup> Hetzel (2009); <sup>(3)</sup> Preço mínimo da saca de 60 kg (Hetzel, 2009).

O feijão-caupi é cultivado, praticamente, em toda a região Meio-Norte, porém, existem áreas de concentração, caracterizadas como tradicionais produtoras e áreas potencialmente estratégicas, como a expansão da fronteira do Sudoeste piauiense e especialmente, o Sul do Maranhão (FROTA; PEREIRA, 2000). Nessa área de expansão, em cultivos de sequeiro (primeira safra), o feijão-caupi pode ser utilizado como cultura principal nos monocultivos, na rotação de culturas, safrinha ou cultivos sequenciados, não apenas com bons resultados econômicos, pois a cultura tem um custo muito competitivo, o que tem feito aumentar o interesse dos produtores, mas também na melhoria das condições físico-químicas do solo (FROTA; PEREIRA, 2000; FREIRE FILHO et al., 2011b).

A baixa produtividade de grãos do feijão-caupi no sistema de sequeiro se deve principalmente a pouca utilização de cultivares melhoradas em relação às cultivares tradicionais; a reduzida utilização de tecnologia no manejo da lavoura e as condições climáticas desfavoráveis (FROTA; PEREIRA, 2000; ROCHA et al., 2008; DAMASCENO-SILVA, 2009). Isso mostra a necessidade do melhor conhecimento das exigências hídricas das cultivares usadas na região, visando melhor aproveitamento da água disponível no solo em combinação com a distribuição de chuvas (NASCIMENTO, 2009).

As variações de produção, especialmente no Nordeste brasileiro, são típicas de regiões cujos processos produtivos são dependentes de chuvas, em que um ano de distribuição pluviométrica regular é quase sempre seguido por um ano de distribuição irregular, refletindo na produção (FROTA; PEREIRA, 2000).

## 2.2 Melhoramento genético do feijão-caupi

A produção agrícola é fortemente influenciada pelas condições de ambiente que geralmente levam a grandes variações no rendimento das culturas, tanto entre os anos em um local e entre os locais em um único ano ou, ainda mais, entre locais e anos. Melhorar a estabilidade de produção de culturas agrícolas de uma região de produção é um objetivo

importante dos programas de melhoramento genético (PACHECO et al., 2005).

O feijão-caupi é uma das mais variadas espécies de plantas, apresentando morfologia, hábito de crescimento, maturidade, características adaptativas, tipos de sementes e qualidade da semente muito variáveis, além do padrão de uso bastante diversificado (SINGH, 2011). Possui uma ampla variabilidade genética para praticamente todos os caracteres de interesse agrônomo, inclusive para o porte da planta. Mas, as cultivares brasileiras são, quase em sua totalidade, de crescimento indeterminado e de portes semiprostrados e prostrados (FREIRE FILHO et al., 2009). Essa grande variabilidade genética contribuiu para inúmeros estudos genéticos e para um progresso no seu melhoramento. Contudo, quando comparado com outras culturas, percebe-se que o potencial genético do feijão-caupi ainda é pouco explorado. Entretanto, em condições experimentais, já foram encontrados produtividades de grãos secos acima de 3 t/ha (BEZERRA, 1997), e a expectativa é que seu potencial genético ultrapasse a 6 t/ha. No entanto, para se chegar a esse nível de produtividade é necessário que haja mais investimento em pesquisas na cultura.

O melhoramento genético do feijão-caupi objetiva, em curto prazo, desenvolver cultivares de porte semiprostrado, com arquitetura moderna, adequadas à agricultura familiar, onde a colheita é realizada manualmente; desenvolver cultivares de porte ereto e semiereto com arquitetura moderna, adequadas ao cultivo totalmente mecanizado para agricultura empresarial; aumentar a produtividade e a adaptabilidade e estabilidade da produção; aumentar a resistência a pragas e doenças; aumentar a resistência a altas temperaturas e estresses hídricos; aumentar os teores de proteínas, ferro, zinco e fibra alimentar digestível dos grãos; melhorar a qualidade visual e culinária dos grãos e desenvolver cultivares a todas as regiões do país (FREIRE FILHO et al., 2011b).

Possivelmente, em virtude do feijão-caupi ter sua produção concentrada em áreas com alto índice de incidência de secas, a produtividade, associada à adaptabilidade e à estabilidade de rendimento, tem recebido bastante atenção por parte dos melhoristas de plantas (FREIRE FILHO et al., 1999).

### **2.3 Interação genótipo x ambiente**

A interação genótipo x ambiente (GxA) é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferenciado dos genótipos quando repetidos em mais de um ambiente (LAVORANTI et al., 2002). Esta interação reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às variações do ambiente, resultando em mudanças de seus desempenhos relativos. Quando os testes de avaliação dos genótipos são conduzidos em apenas um ambiente, a

variância genética e a média geral podem ficar superestimadas, ou seja, pode conter componentes da interação GxA (RESENDE, 2007). A sua amplitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a variância genética e, por sua vez, os parâmetros dependentes desta, como a herdabilidade e o ganho genético esperado com a seleção (ROCHA; VELLO, 1999).

O fenômeno da interação GxA é comum na pesquisa agrônômica. Diferenças entre os valores genotípicos podem aumentar ou diminuir de um ambiente para outro o que pode causar até mesmo a classificação de genótipos de maneira diferente entre os ambientes. Os estudos de interação são um pouco complicados, pois exigem integradas abordagens que combinam muitas áreas, incluindo agricultura, biologia, estatística, informática e genética (BONDARI, 2003). É um componente importante e desafiante para os melhoristas que atuam nos testes comparativos e na recomendação de variedades, pois quanto maior a diversidade genética entre os genótipos e entre os ambientes, maior importância será a interação GxA (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Robertson (1959) classificou a interação GxA em dois tipos: simples e complexa. A interação simples também denominada de quantitativa ocorre devido à diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, sendo que a posição relativa dos genótipos se mantém inalterada (não causa mudanças na classificação dos genótipos entre ambientes). Para o melhorista, esse tipo de interação não ocasiona problemas, isto porque, os melhores genótipos em um ambiente também o são em outros. A interação complexa, também chamada de qualitativa é proporcionada pela ausência de correlação entre os desempenhos dos genótipos, sendo que, estes apresentam diferentes respostas quanto às variações ambientais, alterando a classificação dos genótipos entre os vários ambientes (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Ramalho et al. (1993) mencionam ainda que, a interação simples é caracterizada pela presença de genótipos adaptados a uma ampla faixa de ambientes; ou seja, a recomendação de cultivares pode ser realizada de forma generalizada. No entanto, a interação complexa é caracterizada pela presença de genótipos adaptados a ambientes particulares, cuja recomendação é restrita a ambientes específicos.

As variações do ambiente foram classificadas por Allard e Bradshaw (1964) em dois grupos: previsíveis e imprevisíveis. O primeiro grupo inclui todos os caracteres permanentes do meio ambiente, tais como, as características gerais de clima e solos, bem como as características do ambiente que flutuam de uma forma sistemática, como a duração do dia, grau de insolação, etc. Ele também inclui os aspectos do ambiente que são determinados pelo homem e, portanto, pode ser corrigido, tais como data de plantio, densidade de semeadura,

métodos de colheita, e outras práticas agrônômicas. No entanto, o segundo grupo inclui flutuações no tempo, tais como a quantidade e distribuição de chuvas, a temperatura, e outros fatores climáticos como granizos e geadas.

Plantas na mesma parcela experimental, com condições uniformes, estão sujeitas a diferentes ambientes, chamados de microambientes. Wu e Malley (1998) classificam os ambientes em duas categorias: micro e macroambientes. Os microambientes estão relacionados aos fatores externos ou internos de um organismo, frequentemente, não controláveis, tais como, anos agrícolas, locais ou épocas do ano, entretanto, os macroambientes podem ser controláveis, como exemplo, correção e o nível de fertilidade do solo. A denominação macroambiente é utilizada para distinguir ambientes de duas regiões ou de dois anos agrícolas, ou seja, o macroambiente é constituído por uma população de microambientes (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Nos programas de melhoramento genético, a avaliação da interação GxA torna-se de grande importância, pois, no caso de sua existência, há possibilidades de o melhor genótipo em um dado ambiente não o ser em outro. Este fato influencia o ganho com a seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade. Em um determinado ambiente, a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação destes (CRUZ; REGAZZI, 2004).

A interação GxA representa o principal obstáculo para o trabalho dos melhoristas, sendo exigido que, o melhoramento seja conduzido em condições na qual o genótipo será utilizado. Essa interação é caracterizada quando o comportamento das raças, linhagens ou cultivares não são consistentes nos diferentes ambientes, ou seja, as respostas genotípicas são diferentes às alterações que ocorrem nos ambientes. Tanto o genótipo como o ambiente tem um papel decisivo na manutenção fenotípica. De nada vale um genótipo superior quando o ambiente é desfavorável, assim como, não adianta melhorar o ambiente se o genótipo não é adequado (RAMALHO et al., 2008). Uma variedade ideal é aquela que tem alta média de produção, mas um baixo grau de flutuação em seu desempenho quando cultivada sob diversas condições ambientais (SILVA, 2008).

A interação GxA não pode ser considerada pelos melhoristas apenas como um problema, mas sim, como uma oportunidade a ser aproveitada. Adaptações específicas de genótipos a ambientes podem fazer a diferença entre uma boa e uma excelente variedade (GAUCH; ZOBEL, 1996). Avalia-se e testa-se a presença de interação genótipos por

ambientes através de uma análise de variância conjunta de vários ensaios (COCHRAN; COX, 1957; FERREIRA, 2000).

### **2.3.1 Interação genótipo x ambiente em feijão-caupi**

Alguns trabalhos em feijão-caupi têm sido desenvolvidos tendo como uma das finalidades investigar a magnitude da interação GxA. Neste sentido, a interação tem sido investigada envolvendo vários tipos de fatores ambientais, como: genótipo x época de semeadura (MORAKINYO; AJIBADE, 1998), genótipo x sistemas de cultivo (consorciado ou solteiro) (NJOKU; MUONEKE et al., 2008; EGBE et al., 2010) ou (sequeiro ou irrigado) (ANDRADE, et al., 2006), genótipo x ambiente (ALI et al., 2004; LOPES, et al., 2006a; SINGH et al., 2006; YOUSAF; SARWAR, 2008), genótipo x ambiente x época de semeadura (SHIRINGANI, 2007; SHIRINGANI; SHIMELIS, 2011), genótipo x ambiente x ano (FREIRE FILHO et al., 2002; 2003a; AREMU et al., 2007; AKANDE, 2007a;b; ROCHA et al., 2007; 2008; 2009a; 2011b; ISHIYAKU et al., 2010; ASIWE; AJEIGBE, 2010), genótipo x densidade populacional x sistema de cultivo (SANTOS; ARAÚJO, 2000a), e genótipo x ambiente x ano x sistema de cultivos (solteiro e consorciado) (PADI, 2007) ou (sequeiro e irrigado) (SANTOS et al., 2000b; 2008).

Morakinyo e Ajibade (1998) avaliaram o rendimento de genótipos de feijão-caupi na Nigéria e encontraram efeito pronunciado para a interação genótipo x época de semeadura em todos os caracteres relacionados com a produção de grãos.

Shiringani (2007) avaliou a fenologia produtiva e os componentes de produção em dez genótipos de feijão-caupi, na África do Sul, e encontrou interação tripla significativa entre genótipos, locais e épocas de semeadura.

Aremu et al. (2007) avaliaram dez genótipos de feijão-caupi em quatro ambientes na Nigéria durante dois anos e encontraram significância para os efeitos de genótipos, ambientes e interação genótipos x ambientes.

Lopes et al. (2006a) avaliaram a produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto em cinco locais no estado do Pará. Os efeitos principais de ambientes e interação genótipos x ambientes foram altamente significativos. Os autores concluíram que os testes de avaliação de genótipos devem ser realizados em diversos ambientes naquele estado.

Yousaf e Sarwar (2008) testaram vinte e quatro genótipos de feijão-caupi em doze locais em Faisalabad, no Paquistão, com o objetivo de selecioná-los para altura de planta, início de dias para o florescimento e para resistência a doenças, além do rendimento de grãos e outros caracteres agronômicos. Os resultados evidenciaram efeitos altamente significativos

de ambientes e da interação genótipos x locais. Segundo os autores, esse resultado evidencia a necessidade de se estudar a estabilidade dos genótipos.

Njoku e Muoneke (2008) avaliaram o efeito da densidade de plantio em feijão-caupi no crescimento, desenvolvimento, produtividade e seus componentes de produção no consórcio feijão-caupi/mandioca, na Nigéria. Para a produtividade e os componentes de produção, ocorreu não significância para a maioria dos caracteres avaliados.

Rocha et al. (2008) avaliaram vários genótipos de feijão-caupi tradicionais e melhorados na região semiárida piauiense em quatro locais, durante dois anos agrícolas. Os resultados revelaram que os efeitos de ambientes e da interação genótipos x ambientes (local e ano) mostraram-se significativos.

## **2.4 Adaptabilidade e estabilidade**

A interação GxA constitui-se num dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na recomendação das cultivares. Para amenizar a influência dessa interação, tem-se recomendado o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

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

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

Por outro lado, Lin et al. (1986) propuseram três conceitos de estabilidade: a) Tipo 1 – o genótipo, ou a variedade será considerado estável se sua variância entre os ambientes é pequena; b) Tipo 2 – o genótipo, ou a variedade será considerado estável se sua resposta ao

ambiente é paralela ao desempenho médio de todos os materiais genéticos avaliados nos ensaios; c) Tipo 3 – o genótipo, ou a variedade é estável se o quadrado médio dos desvios de regressão que avalia a estabilidade é pequeno.

De acordo com Ferreira (2006), a estabilidade do Tipo 1, denominada de estabilidade no sentido biológico por Becker (1981), equivale à variedade que mostra um desempenho constante com a variação do ambiente. Esse tipo de estabilidade não é desejável agronomicamente, porque o desempenho do material genético não acompanha a melhoria do ambiente e, além disso, normalmente a estabilidade está associada a uma menor produtividade, especialmente nos ambientes mais favoráveis. A sua utilização só é aconselhável quando a variação ambiental é restrita. O Tipo 2, denominado de estabilidade no sentido agrônomo por Becker (1981), ocorre nas situações em que o material mostra interações mínimas com o ambiente, ou seja, acompanha o desempenho médio obtido nos ambientes. Preferencialmente essa metodologia tem sido mais utilizada, pois, a mesma possibilita a identificação de variedades estáveis e com potencial de se manter entre as melhores em todos os ambientes. O tipo 3, é aquele em que o material é considerado previsível de acordo com o conceito de Ferreira (2006).

A estabilidade e a adaptabilidade de genótipos são características importantes, em que, a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, e a estabilidade diz respeito à capacidade dos genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em razão do estímulo do ambiente (CRUZ; REGAZZI, 2004).

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

#### **2.4.1 Métodos que avaliam a adaptabilidade e a estabilidade**

Uma das etapas finais de um programa de melhoramento vegetal é a avaliação de linhagens experimentais em vários ambientes e para isso existem vários métodos que avaliam a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos nos diferentes ambientes. Segundo Brasil (1990) e Duarte e Zimmermann (1995) é necessário dispor de metodologias estatísticas adequadas para se estimar e explorar a interação GxA, permitindo assim recomendações regionalizadas. Borges et al. (2000) relatam que na escolha dos métodos a serem empregados, devem-se considerar aspectos como facilidade de análise e de interpretação dos resultados.

Vários modelos estatísticos têm sido desenvolvidos e aplicados pelos melhoristas de plantas, para explicar a interação GxA, nas etapas finais dos programas de melhoramento. Assim, tem-se buscado alternativas para reduzir o seu efeito, com destaque para a identificação de cultivares que apresentem comportamento previsível e responsivo à melhoria do ambiente, através de métodos de análise de estabilidade e adaptabilidade que forneçam informações minuciosas sobre o comportamento das cultivares (CRUZ; REGAZZI, 2004).

Os principais métodos desenvolvidos para estudar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos, são baseados em: variância da interação GxA, regressão linear simples; regressão linear bissegmentada; regressão quadrática; modelos não lineares; métodos não-paramétricos; métodos multivariados, como a análise de componentes principais (ACP), análise de agrupamentos, análise fatorial de correspondência e análise de coordenadas principais; e métodos que integram a análise comum de variância (método univariado) com a análise de componentes principais (método multivariado), como é o caso da análise AMMI.

Uma das primeiras proposições para avaliar o comportamento individual de genótipos, em várias condições ambientais, foi apresentada por Yates e Cochran (1938). Os respectivos autores propuseram uma decomposição da soma de quadrados da interação GxA adicionada à soma de quadrados dos efeitos de ambiente, em efeitos de ambiente dentro de cada genótipo, e também a estimativa de parâmetros descritivos de estabilidade, a partir de análise de regressão conjunta de uma série de experimentos. A variação de ambientes dentro de cada genótipo é usada como estimativa da estabilidade, de modo que o genótipo que apresentar menor quadrado médio, ou seja, menor variância será considerada o mais estável (MORA, 1986). Esse método de avaliação de estabilidade tem sido considerado por vários autores como de baixa precisão e de difícil manuseio quando o número de genótipos que estão sendo testados é relativamente grande. Embora apresente restrições, este método foi a base para muitos autores desenvolverem outros para avaliação de estabilidade de plantas (MORI; SANTOS, 1989).

Outros métodos baseados em análise de variância foram propostos, tais como de Plaisted e Peterson (1959) e Wricke (1965), os quais se fundamentam na contribuição média de cada genótipo para a interação GxA. Plaisted e Peterson (1959) verificaram que, quando são testados genótipos em vários locais, uma proporção da variância é devida à interação GxA e que dessa variância, cada genótipo contribui com uma determinada fração. Quanto menor for essa contribuição mais estável será o genótipo. A metodologia é eficiente em indicar os genótipos mais estáveis por trabalhar com componentes de variância da interação GxA e não com o quadrado médio desse efeito, cuja estimativa envolve também o componente do erro

associado à cada genótipo, que pode não ser homogêneo. Sua principal limitação, provavelmente, seja a obtenção de um grande número de variâncias requeridas (MORI; SANTOS, 1989).

Wricke (1965) propôs o método da ecovalência, onde se estima apenas a estabilidade dos genótipos, decompondo a soma de quadrados da interação nas partes correspondentes à participação de cada genótipo nesta interação. Através de uma análise de variância, o mesmo calculou a contribuição individual do genótipo para a interação. O somatório de  $W_i$  é igual à soma de quadrados da interação. Um genótipo mostra baixa ecovalência quando contribui pouco para a interação, ou seja, mostra resposta similar à média de todos os genótipos.

Finlay e Wilkinson (1963) adaptaram a técnica de Yates e Cochran (1938), desenvolvendo um método baseado no coeficiente de regressão linear entre a produção média de cada genótipo e um índice ambiental, que corresponde à média de todos os genótipos em cada ambiente. Essa metodologia permite avaliar a resposta de cada cultivar ao efeito das variações ambientais. Para cada cultivar, realiza-se uma análise de regressão linear simples da variável dependente transformada para logaritmos em relação ao índice ambiental, obtido pela média do rendimento (transformado) de todas as cultivares no ambiente. O uso da transformação logarítmica, segundo os autores, depois de calculadas as médias, induz a um alto grau de linearidade nas regressões da produtividade individual sobre o índice de ambiente e também a um razoável grau de homogeneidade no erro experimental (MORI; SANTOS, 1989).

Eberhart e Russell (1966) expandiram o método de Finlay e Wilkinson (1963), incluindo o quadrado médio dos desvios de regressão como outro parâmetro de estabilidade. Esse desvio mede a estabilidade de produção, entendida como a previsibilidade da produção do material genético sob estímulo ambiental. Por esta metodologia, a análise é feita sem a transformação prévia para a escala logarítmica. É baseada no índice ambiental e este índice é a variável independente. A produtividade média de grãos, de cada cultivar, em cada ambiente, é a variável dependente (EBERHART; RUSSELL, 1966). O parâmetro de adaptabilidade é medido pelo valor de  $b$  (ângulo) e o de estabilidade pelo somatório dos desvios ( $S^2d$ ).

Tai (1971), tomando por base os métodos de Finlay e Wilkinson (1963) e de Eberhart e Russell (1966) desenvolveu um processo para contornar o inconveniente da utilização dos índices ambientais como variável independente, uma vez que esses índices são estimados com base nas produções das próprias cultivares em estudo, estando, portanto, sujeitos a erros. Esse modelo teve a finalidade de determinar as respostas lineares e não lineares de genótipos individuais aos efeitos ambientais.

Verma et al. (1978) relataram que os métodos para determinação de genótipos estáveis de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russel (1966), os mais utilizados, não são adequados, pois, segundo estes métodos um genótipo de sensibilidade acima da média tem elevada produtividade em bons ambientes, mas também, apresenta baixa produtividade em ambientes ruins. Dessa forma, propuseram uma técnica alternativa de regressão, que consiste no ajustamento de duas regressões lineares separadamente. Uma para ambientes negativos e outra para ambientes positivos, incluindo também o menor índice de ambiente negativo, em valor absoluto, para a continuidade da linha de regressão. Os autores definiram como cultivar ideal aquele que apresenta alta capacidade produtiva associada à alta estabilidade em ambientes desfavoráveis, mas capaz de responder satisfatoriamente à melhoria do ambiente. A grande desvantagem desse método, é que o mesmo não pode ser aplicado para poucos ambientes.

Posteriormente Silva e Barreto (1985) propuseram o ajustamento, para cada genótipo, de uma equação única constituída de dois segmentos de reta, com união no ponto correspondente ao valor zero do índice de ambiente. Os índices ambientais utilizados neste trabalho são obtidos pela diferença da média de todos os genótipos em cada ambiente e a média geral do experimento. O modelo de regressão linear segmentado destes autores é definido pela equação:  $E(Y) = B_0 + B_1X + B_2T(X)$ , onde  $T(X) = X|X \geq 0$  e  $T(X) = 0|X \leq 0$ , onde  $X$  é o índice ambiental. Pode-se então estudar comparativamente os genótipos em uma série de ambientes através de considerações relativas ao rendimento médio nos ambientes e à estabilidade em ambientes favoráveis e em ambientes desfavoráveis. A estabilidade relativa do genótipo nesses dois sub-conjuntos de ambientes pode ser determinada através de testes de hipóteses referentes aos parâmetros  $B_1$  e  $B_2$  do modelo proposto.

Cruz et al. (1989) propuseram um modelo alternativo, conceitualmente semelhante ao de Silva e Barreto. No entanto, modificaram essa técnica, tornando-a mais simples e com propriedades estatísticas mais adequadas ao melhoramento. Esse modelo representa um aprimoramento de natureza estatística, para eliminar as correlações entre as estimativas dos parâmetros de estabilidade. Ele utiliza a regressão linear da média de cada genótipo em relação a um índice ambiental. Neste método, a reta de regressão possui dois segmentos, um para os ambientes desfavoráveis e outro para os ambientes favoráveis. A inclinação dos segmentos é dada por  $\hat{\alpha}_1$ , para os ambientes desfavoráveis, e  $\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2$  para os ambientes favoráveis. Esta metodologia necessita de um grande número de ambientes, para que em cada grupo de ambientes exista número suficiente de pontos para se estabelecer a regressão.

Vários autores consideram que os procedimentos paramétricos dão somente o aspecto individual da estabilidade, sem, contudo dar uma configuração geral da resposta. Por exemplo, um genótipo pode ser estável de acordo com uma metodologia e instável em outra, o que torna difícil todas estas afirmativas em uma conclusão unificada (TORRES, 1988).

Lin e Binns (1988) propuseram um método baseado em análise não paramétrica para estudar a interação GxA, onde o desempenho dos acessos é quantificado pelo índice Pi, que corresponde ao quadrado médio da distância entre a média de um acesso para um dado ambiente e a resposta máxima para o mesmo ambiente, em todos os ambientes avaliados. Dessa forma, o quadrado médio menor indica uma superioridade geral do genótipo em questão, pois quanto menor o valor de Pi, menor será o desvio em torno da produtividade máxima, assim, maior estabilidade está relacionada, obrigatoriamente, com alta produtividade.

Os métodos tradicionais de análise da interação GxA baseados na ANOVA e regressão linear apresentam limitações, tais quais: a falta de habilidade para captar e explicar grande parte dessa interação, a ausência de informações sobre interações específicas positivas e negativas com ambientes, a falta de linearidade nas relações genótipo – ambiente em alguns casos e a falta de decomposição da interação em termos padrão ou tendências e ruídos (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Uma primeira tentativa para solucionar essas restrições foi à proposta da técnica AMMI (efeitos aditivos principais e interação multiplicativa). Essa técnica foi indicada para utilização na experimentação agrônômica por Kempton (1984) na Inglaterra e por Brian (1978) na França. Posteriormente foi bem descrita por Gauch (1988; 1992). Outra característica desse método é a Análise de Componentes Principais (PCA) duplamente centrada, pois envolve a decomposição da matriz de interações em termos de autovalores e autovetores.

Atualmente, buscam-se metodologias alternativas de análises que expliquem melhor o comportamento dos genótipos frente às variações do ambiente. Há um aumento bastante expressivo na utilização de metodologias que utilizam modelos multivariados, tais como: a análise de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa – AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*) (GAUCH; ZOBEL, 1996) e GGE biplot – efeitos principais de genótipos e interação GxA (YAN, 2001). Esta última é baseada em diferentes modelos: modelo ambiente-centrado, modelo ambiente padronizado pelo erro padrão, modelo ambiente padronizado pelo desvio padrão, modelo duplamente-centrado (AMMI) e modelo centrado pela média geral (ACP).

O procedimento AMMI pode ser visto como um método que permite separar o padrão, ou seja, o efeito da interação GxA propriamente dito, do ruído (erro médio da média de tratamento dentro de ensaio). Consegue-se isto por meio da ACP (Análise de Componentes Principais), cujos, primeiros eixos (com maiores autovalores), recuperam a maioria do padrão, enquanto a maioria do ruído é captada pelos eixos remanescentes (RESENDE, 2007). O padrão pode ser visto como todo o efeito da interação GxA ponderado por uma estimativa da produção padrão/ruído associada com o respectivo efeito. Essa proporção é uma razão entre componentes de variância, análoga a um coeficiente de herdabilidade ou repetibilidade (PIEPHO, 1994).

Outra vantagem do método AMMI é a possibilidade de interpretação por meio de análise gráfica, no caso chamado de *biplot*, propiciando identificar facilmente os genótipos que são mais adaptáveis e estáveis a determinados ambientes. A análise AMMI pode ajudar tanto na identificação de genótipos de alta produtividade de grãos e largamente adaptados, como na realização do chamado zoneamento agrônomico, com fins de recomendação regionalizada e de seleção de locais de teste. Além disso, propicia estimativas mais precisas das respostas genótípicas (ZOBEL et al., 1988).

Os procedimentos de análise da interação GxA evoluíram da tradicional ANOVA conjunta de experimentos, passando pelos métodos de estudo da adaptabilidade e estabilidade baseados em análise de regressão, pelos métodos não paramétricos para estabilidade e adaptabilidade e pelos modelos multiplicativos (AMMI) para os efeitos da interação. Esses procedimentos apresentam limitação para lidar com dados desbalanceados, delineamentos experimentais não ortogonais (blocos incompletos) e com heterogeneidade de variâncias entre os vários locais de experimentação. O uso da metodologia de modelos mistos via REML para comparação entre vários procedimentos, tais quais de Finlay e Wilkison, Eberhart e Russel, Lin et al. e AMMI, considera os efeitos de locais como aleatórios (RESENDE, 2007).

Essa metodologia REML/BLUP, assume em geral, que os efeitos de tratamentos genéticos como aleatórios, sendo mais adequados ao propósito do melhoramento e os vários ambientes são considerados como se fossem diferentes caracteres, predizendo valores genéticos para cada ambiente, para o ambiente médio e para novos ambientes (RESENDE, 2007).

O BLUP dos efeitos ge eliminam os chamados ruídos da interação genótipos x ambientes, por ocasião do processo de predição da ge. Permite ainda, computar o ganho com a seleção pelos três atributos simultaneamente (produtividade, adaptabilidade e estabilidade).

Valores genotípicos livres dos efeitos ambientais são os verdadeiros VCU requisitado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Um estudo sobre a adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de 18 linhagens de feijão-comum em 23 ambientes do estado de São Paulo foi conduzido por Carbonell et al. (2004), que utilizaram os métodos de superioridade máxima (Pi) de Lin e Binns (1988), modificado por Carneiro (1998) e AMMI. Os autores concluíram que estes métodos produziram resultados congruentes em relação à estabilidade. No entanto, a metodologia AMMI proporcionou informações claras sobre a estabilidade e adaptabilidade das linhagens. Uma limitação quanto ao seu uso apontada pelos autores é a sua fundamentação complexa, onde o mesmo combina técnicas uni e multivariadas, que demanda conhecimentos sobre estatística avançada.

Namorato et al. (2009), realizaram um estudo comparativo entre os métodos multivariados GGE (efeitos principais de genótipos e interação genótipo x ambiente) e AMMI com o método de regressão de Eberhart e Russell (1966), para interpretação da interação genótipo x ambiente em cultivares de milho. Os autores constataram que as análises AMMI e GGE explicaram cerca de 50 % da soma de quadrados da interação genótipo x ambiente, enquanto que o método de Eberhart e Russell explicou apenas 9,1%. As cultivares classificadas como pequena contribuição para a interação genótipo x ambiente pelos métodos de AMMI e GGE tiveram também a mesma classificação para o método de Eberhart e Russell. Neste estudo, o modelo AMMI e GGE biplot demonstraram ser mais eficientes do que o modelo de Eberhart e Russell.

Evoluções da metodologia AMMI foram implementadas posteriormente, como é o caso das metodologias AMMI-Bootstrap (LAVORANTI, 2003; MAIA et al., 2006) e AMMI com o uso de genótipo suplementar (PACHECO et al., 2005).

Pacheco et al. (2005), com o objetivo de incrementar a análise AMMI, introduziram nas avaliações um genótipo hipotético de referência, denominado de genótipo suplementar (GS), com base na metodologia de Lin e Binns (1988). O propósito da representação de um ponto adicional no gráfico (GS) é de realizar comparações dos genótipos avaliados com o genótipo de referência, definido com base em critérios de interesse do pesquisador. Pode-se assumir então, que esse genótipo simula uma testemunha de adaptação produtiva ótima relativamente ao conjunto avaliado e, portanto, de elevada estabilidade agrônômica. Assim, em um gráfico *biplot*, a distância entre os pontos correspondentes a um genótipo avaliado e o genótipo suplementar fornece uma medida da adaptabilidade e estabilidade produtiva do genótipo real, de acordo com este conceito. A representação gráfica constituindo elementos

suplementares é construída mantendo-se, os posicionamentos relativos dos indivíduos e das variáveis reais (PACHECO et al., 2005).

Dada à definição de um GS, quanto menor a distância quadrática estatística entre a sua projeção e a projeção de um genótipo específico avaliado, maior será a semelhança do comportamento da interação GxA deste genótipo com o comportamento demonstrado pelo GS. Assim, independentemente de qual o modelo AMMI escolhido, a distância quadrática pode ser estimada a partir da projeção do genótipo suplementar para o genótipo real (PACHECO et al., 2005). A interpretação da estabilidade no *biplot* AMMI é realizada a partir da distância dos pontos representativos dos genótipos e ambientes ao escore zero. Assim, esses pontos que pouco contribuem para a interação GxA apresentaram menor distância, indicando maior estabilidade. São considerados estáveis agronomicamente os genótipos e ambientes que se aproximam do genótipo e ambiente suplementar (PACHECO et al., 2005).

Com o intuito de avaliar a adaptabilidade e estabilidade da produtividade do algodão em pluma, Oliveira et al. (2005) e Morello et al. (2008) avaliaram um conjunto de genótipos e utilizaram o método AMMI com GS. Os autores conseguiram identificar pelo menos duas linhagens estáveis e adaptadas, como sendo aquelas que mais se aproximavam do GS.

Em um estudo conduzido em feijão-comum, Gonçalves et al. (2009) e (2010) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de 19 linhagens e cultivares por meio da metodologia AMMI com o uso do GS. Os resultados evidenciaram que três genótipos, por situarem próximos do GS no *biplot* foram os mais estáveis e adaptados aos ambientes.

#### **2.4.2 Adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi**

Em estudos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos em feijão-caupi, há inúmeras metodologias para sua avaliação, entretanto, ocorre à predominância de metodologias que utilizam a regressão linear simples.

Miranda et al. (1979a;b) possivelmente foram os primeiros pesquisadores a utilizarem a regressão linear simples em trabalhos de feijão-caupi, fazendo-se uso da metodologia de Eberhart e Russel (1966), para avaliar o comportamento dos genótipos em vários ambientes. Logo após, a metodologia de Eberhart e Russel (1966) foi utilizada por Ntare e Aken'Ova (1985), Fernandes (1990; 1993), Miranda et al. (1992), Freire Filho e Ribeiro (1996), Santos et al. (2000), Freire Filho et al. (2001; 2002), Ali et al. (2004), Abreu et al. (2006), Aremu et al. (2007), Santos et al. (2000a; 2008), Oliveira (2008), Yousaf e Sarwar (2008), Mano et al. (2009), Sarvamangala et al. (2010), Valadares et al. (2011) e Nunes (2012). A metodologia

desenvolvida por Finlay e Wilkinson (1963), também baseada em regressão linear simples, foi utilizada por Alves et al. (1982), Torres Filho et al. (1987) e Padi (2004; 2007).

Cruz et al. (1989) propuseram o modelo de regressão bissegmentada, que foi utilizado por Carvalho et al. (2006a;b;c) e Mano (2009) em avaliações de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi no estado do Ceará.

A metodologia de Lin e Binns (1988) que é um método não-paramétrico, tem sido constantemente utilizado nos trabalhos de avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi, tanto no Brasil, com os trabalhos de Mano (2009), Rodrigues et al. (2009) e Rocha et al. (2009a;b;c), quanto na África, por Adewale et al. (2010) e Shiringani e Shimelis (2011).

Atualmente, tem sido crescente o uso de métodos multivariados para estudos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi. O mais utilizado tem sido AMMI, nos trabalhos de Freire Filho et al. (2002; 2003a; 2003b; 2005b), Asio et al. (2005), Ojo et al. (2006), Akande (2007a), Mano (2009) e Rocha et al. (2007; 2011a;b). Já Akande (2007b), Aremu et al. (2008), Akande e Balogun (2009) e Oladejo et al. (2011), utilizaram a metodologia GGE biplot. Grande parte desses estudos tem subsidiado o melhoramento e o lançamento de cultivares em vários países da África e no Brasil.

Os primeiros trabalhos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi utilizando a metodologia AMMI, foram realizados por Freire Filho et al. (2003a,b), que avaliaram a produtividade de grãos de genótipos de porte prostrado, na região Meio-Norte do Brasil. Os autores identificaram três genótipos com genes para estabilidade e três que, segundo os autores, possuem genes tanto para adaptabilidade quanto para estabilidade e que podem ser cultivados em todos os ambientes dessa região. Quanto aos ambientes, Brejo-MA e Bom Jesus-PI foram os mais previsíveis. Em outro estudo, com mesmo objetivo e mesma metodologia, agora em genótipos de feijão-caupi de porte semiereto, Freire Filho et al. (2005b) encontraram dois genótipos que apresentaram alta adaptabilidade e estabilidade, podendo ser cultivados em todos os ambientes da região Meio-Norte, dois genótipos que mostraram ser mais adaptados a ambientes de baixa produtividade e um genótipo que apresentou adaptação específica a ambientes de alta qualidade.

Na África, Asio et al. (2005) realizaram um estudo de adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de linhagens de feijão-caupi por meio da metodologia AMMI em quatro locais de Uganda. Cinco das seis linhagens melhoradas foram identificadas como sendo de alto rendimento, mas de alta interação com os ambientes. Os autores concluíram que esses genótipos podem ser utilizados para melhorar o rendimento de grãos do feijão-caupi em

Uganda. Já Ojo et al. (2006) realizaram um estudo de avaliação da adaptabilidade e estabilidade produtiva de 20 genótipos de feijão-caupi, em quatro ambientes no sudoeste da Nigéria. Quatro metodologias foram testadas, entre elas, o método AMMI. Os autores concluíram que esta técnica, em particular, foi a mais eficiente e forneceu os meios mais baratos para a seleção e recomendação de genótipos para os agricultores e para um futuro programa de melhoramento, especialmente, quando os ensaios são realizados em poucos ambientes em decorrência da escassez de recursos.

Na região Nordeste do Brasil, Rocha et al. (2007) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade produtiva de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiereto em 16 ambientes, por meio da metodologia AMMI. As linhagens TE-97-321G-4, EVX-92-49E e EVX-63-10E apresentaram alta adaptabilidade, sendo que somente a última foi altamente previsível e que a cultivar BRS Guariba e as linhagens EVX-92-49E e TE97-321G-4 expressam melhor potencial genético em ambientes de alta produtividade.

No semiárido piauiense, Rocha et al. (2011a) realizaram uma avaliação de adaptabilidade e estabilidade produtiva de 20 genótipos de feijão-caupi de portes prostrados e semiprostrado, em quatro ambientes, por meio do método AMMI. As linhagens MNC01-611, MNC014F-15 e MNC01-649E-2 mostraram alta adaptabilidade e a cultivar Paulistinha e a linhagem MNC01-631F-15 reúnem genes para adaptabilidade e estabilidade ao semiárido piauiense. Em relação aos ambientes, o local Assunção do Piauí foi o mais estável com as variações ambientais, relativamente aos demais locais. Também no semiárido piauiense e com a mesma metodologia, Rocha et al. (2011b) realizaram uma avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi do tipo comercial Canapu e concluíram que as cultivares Canapuzinho, Canapuzinho-2 e Paulistinha foram superiores em precocidade, adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos e apresentam potencial para o mercado do feijão-caupi tipo Canapu no semiárido piauiense.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

Foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado, sendo 14 linhagens e seis testemunhas, representadas por cultivares adaptadas, de boa produtividade e com resistência as principais doenças. Os genótipos são provenientes do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte (Tabela 3).

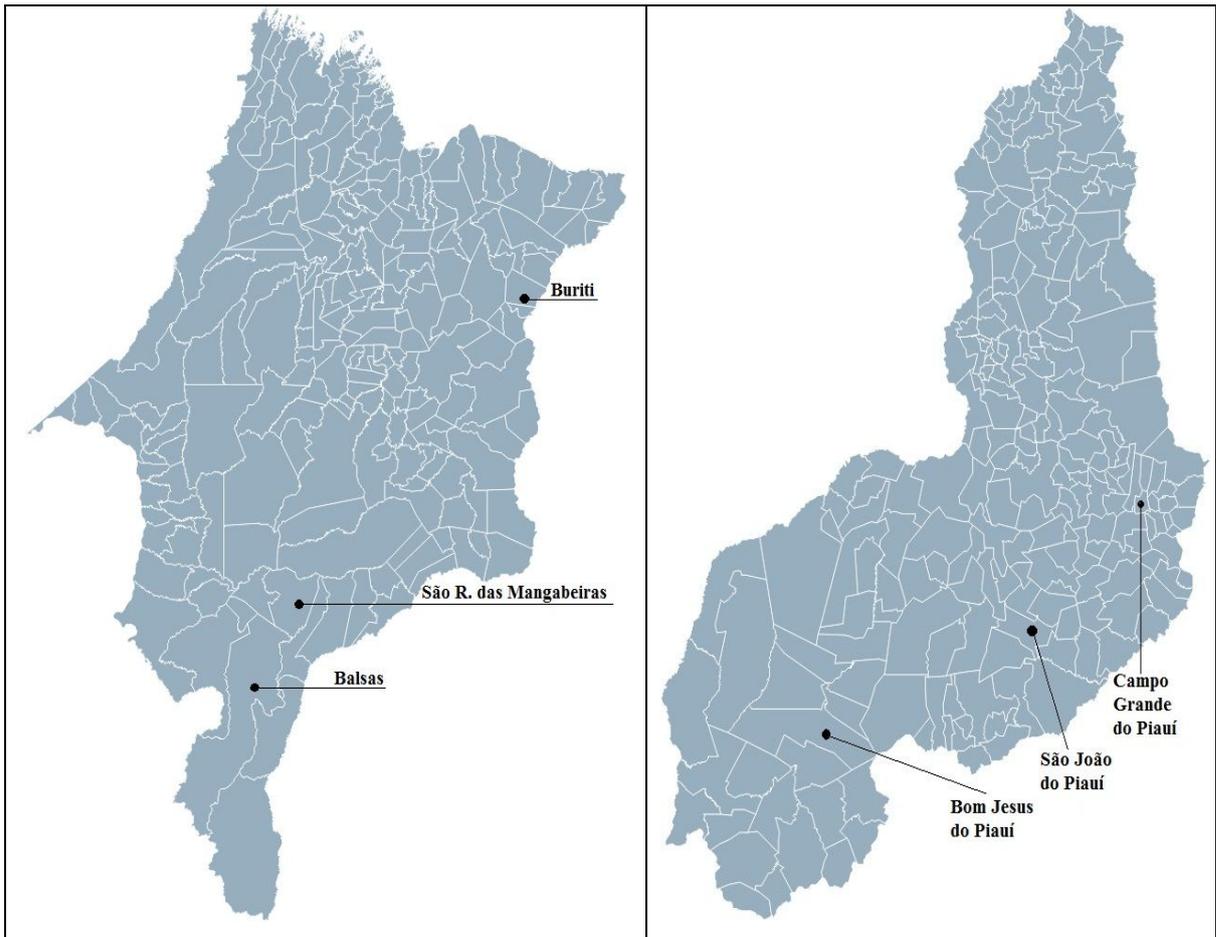
**Tabela 3.** Relação dos genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado com suas genealogias/procedências e subclasse comercial, avaliados na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Linhagem/cultivar	Parentais/Procedência	Subclasse comercial <sup>(1)</sup>
1-MNC01-649F-1-3	TE97-309G-24 x MNC01-608D-2-5	RJ
2-MNC01-649F-2-1	TE97-309G-24 x MNC01-608D-2-5	RJ
3-MNC01-649F-2-4-11	TE97-309G-24 x MNC01-608D-2-5	RJ
4-MNC02-675F-5	TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2	ML
5-MNC02-675F-9-5	TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2	ML
6-MNC02-676F-1	TE97-309G-24 x EVX91-2E-2	ML
7-MNC02-677F-2	TE97-309G-24 x TE96-406-2E	SV
8-MNC02-677F-5	TE97-309G-24 x TE96-406-2E	ML
9-MNC02-680F-12	TE97-309G-24 x IT 91K-118-2	SV
10-MNC02-689F-2-8	TE96-406-2E-28-2 x MNC00-519 D-2-1-1	SV
11-MNC02-701F-2	TE93-210-13F x (TE96-282-22G x Costelão)	BR
12-MNC03-736F-2	(TE97-309G-24 x IT90N-284-2) x TE96-282-22G	BR
13-MNC03-736F-6	(TE97-309G-24 X IT90N-284-2) x TE96-282-22G	BR
14-MNC03-761F-1	TE96-282-22G x VITA-7	SV
15-Pingo de ouro-1-2 <sup>(2)</sup>	Iguatu, CE	CN
16-BRS Xiquexique <sup>(2)</sup>	TE87-108-6G x TE87 – 98-8G	BR
17-BRS Juruá <sup>(2)</sup>	GV- 10-1-1-1 x TE93-222-11F	V
18-BRS Aracê <sup>(2)</sup>	MNC00-599F-11 x MNC99-537F-14-2	V
19-BR 17-Gurguéia <sup>(2)</sup>	BR10-Piauí x CE-315	SV
20-BRS Marataoã <sup>(2)</sup>	Seridó x TVX1836-013J	SV

<sup>(1)</sup>ML – Mulato; BR – Branco; V – Verde; SV – Sempre-verde; CN – Canapu; RJ – Rajado; <sup>(2)</sup>Testemunhas.

### 3.2 Ambientes de condução dos experimentos

Os ensaios foram conduzidos na região Meio-Norte do Brasil, ou seja, nos estados do Piauí e Maranhão, nos anos agrícolas de 2010 e 2011 (Figura 1). Os dados das coordenadas geográficas, tipo de solo e bioma dos locais de condução dos experimentos são mostrados na Tabela 4.



**Figura 1.** Locais de condução dos ensaios experimentais, na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Os ambientes de avaliação dos ensaios experimentais consistiram da combinação de local e ano, resultando em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil: Balsas, MA, 2010 e 2011; Bom Jesus, PI, 2010 e 2011; Buriti, MA, 2010; Campo Grande do Piauí, PI, 2011; São João do Piauí, PI, 2011 e São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010 e 2011. A Tabela 5 mostra as datas de plantios e colheitas com seus respectivos anos de condução dos ensaios experimentais.

**Tabela 4.** Coordenadas geográficas, tipos de solos e bioma dos locais de condução dos experimentos, na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Município	Alt. (m)	Lat. (S)	Long. (W)	Tipo de solo <sup>1</sup>	Bioma <sup>2</sup>
Balsas, MA	324	07°54'	45°96'	Latossolo Amarelo	Cerrado
Bom Jesus, PI	643	09°39'	45°12'	Latossolo Amarelo	Cerrado
Buriti, MA	227	03°50'	43°07'	Latossolo Amarelo	Cerrado
Campo Grande do Piauí, PI	425	07°08'	41°02'	Neossolo Quartzarênico	Caatinga
São João do Piauí, PI	316	08°20'	42°19'	Neossolo Quartzarênico	Caatinga
São R. das Mangabeiras, MA	511	06°53'	45°39'	Latossolo Amarelo	Cerrado

<sup>1</sup>Fonte: IBGE, 2005. (Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>).

<sup>2</sup>Fonte: IBGE, 2005. (Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>).

**Tabela 5.** Data de plantios, colheitas e ciclo dos experimentos conduzidos na região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Ambiente	Plantio	Colheita	Ciclo (dias)
Balsas, MA, 2010	03.03.2010	26.05.2010	83
Balsas, MA, 2011	01.03.2010	07.06.2010	95
Bom Jesus, PI, 2010	10.02.2010	21.05.2010	101
Bom Jesus, PI, 2011	03.03.2011	02.06.2011	89
Buriti, MA, 2010	02.05.2010	13.07.2010	72
São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010	04.03.2010	28.05.2010	84
São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011	01.03.2011	01.06.2011	90
Campo Grande do Piauí, PI, 2011	09.02.2011	05.05.2011	84
São João do Piauí, PI, 2011	18.02.2011	05.05.2011	77

### 3.3 Procedimentos experimentais

Em todos os ensaios, as sementeiras ocorreram em sistema de sequeiro, levando em consideração a época das chuvas na região Meio-Norte do Brasil. No ano de 2010 foram utilizados três ambientes nos cerrados, sendo um no Piauí e dois no Maranhão e o outro no nordeste do Maranhão, totalizando quatro ambientes. No ano de 2011, foram utilizados cinco ambientes, sendo três nos cerrados do Piauí e Maranhão e dois na caatinga.

Durante a colheita das parcelas, foram retiradas da área útil, cinco vagens de cada tratamento, necessárias para a avaliação de alguns componentes de produção (comprimento de vagens e número de grãos por vagens).

Todos os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos completos casualizados, com 20 tratamentos e quatro repetições. A casualização foi realizada individualmente para cada local. As parcelas com dimensões de 3,0 m x 5,0 m, constaram de quatro fileiras de 5 m, com área útil formada pelas duas fileiras centrais de 1,6 m x 5 m (8,00 m<sup>2</sup>). 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 semeadura foi realizado o desbaste deixando-se em média duas plantas por cova.

Os tratos culturais consistiram da aplicação de herbicida de pré-emergência a base de S-Metolochlor e de herbicida de pós-emergência a base de Fluazifop-P-Butil. Realizaram-se ainda capinas complementares para o controle das plantas daninhas. No preparo do solo foram utilizadas, em geral, as práticas convencionais de uma aração e uma ou duas gradagens, de acordo com as necessidades do terreno.

Para o controle de pragas, em geral foi utilizado um produto a base de Thiamethoxam + Dimetoato (8 g + 50 ml/100 l H<sub>2</sub>O). Foram realizadas três aplicações da mistura em todos os experimentos, no período entre a germinação e a floração, para o controle principalmente de pulgões, trips, percejos e lagartas. Uma visão geral dos ensaios nos ambientes Balsas 2011, São Raimundo das Mangabeiras 2011 e Bom Jesus 2011 podem ser visualizadas no Apêndice A.

### 3.4 Caracteres avaliados

Foram avaliados visualmente no campo, na área útil da parcela, os seguintes caracteres:

- 1 – Número de dias para o início da floração (NDIF) – avaliado como o número dias transcorridos do plantio ao aparecimento das primeiras flores, expresso em dias;
- 2 – Valor de cultivo (VC) – avaliado no início da maturidade das vagens, baseando-se no aspecto geral da planta, nas características de vagem, de grão, no carrego e no aspecto fitossanitário, segundo uma escala de notas, na qual, 1 = planta sem características adequadas ao cultivo comercial, 2 = planta com poucas características adequadas ao cultivo comercial, 3 = planta com a maioria das características adequadas ao cultivo comercial, 4 = planta com todas as características adequadas ao cultivo comercial e 5 = planta com excelentes características para o cultivo comercial. Os dados foram transformados para  $\sqrt{x - 0,5}$ ;
- 3 – Acamamento (ACAM) – avaliado na maturidade das vagens, um pouco antes da colheita, levando em consideração as plantas acamadas e aquelas com o ramo principal quebrado, segundo uma escala de notas, sendo, 1 = nenhuma planta acamada ou com ramo principal

quebrado, 2 = de 1 a 5% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado, 3 = de 6 a 10% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado, 4 = de 11 a 20% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado e 5 = acima de 20% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado. Os dados foram transformados para  $\sqrt{x - 0.5}$ .

Foram avaliados na fase de pós-colheita, no setor de caupi da Embrapa Meio-Norte, os seguintes caracteres relacionados à produção:

4 – Comprimento de vagem (COMPV): corresponde à distância entre o pedúnculo até o ápice da vagem, em centímetros, como uma média de cinco vagens colhidas aleatoriamente;

5 – Número de grãos por vagem (NGV): corresponde à quantidade média de grãos em cinco vagens;

6 – Peso de 100 grãos (P100G): refere-se ao peso de cem grãos amostrados aleatoriamente, expresso em grama;

7 – Índice de grãos (IG): corresponde ao quociente entre o peso dos grãos e o peso das vagens da área útil da parcela, multiplicado por 100;

8 – Produtividade de grãos (PG): refere-se ao peso total de grãos na área útil da parcela em gramas, transformados para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

O detalhe de algumas etapas da avaliação da produção e seus componentes no setor de caupi da Embrapa Meio-Norte pode ser observado no apêndice B.

### **3.5 Análises estatísticas**

Antes de realizar a análise de variância para cada caráter, procedeu-se a uma análise preliminar dos dados, por meio da análise gráfica dos resíduos, de acordo com a metodologia adotada por ROCHA (1998). Essa análise tem a finalidade de revelar a existência de valores discrepantes, “outliers”, que interferem na normalidade dos resíduos, afetando por tanto, uma das pressuposições importantes da análise de variância (ROCHA, 2002). Para esse procedimento foi utilizado o software SAS/IML, versão 9.0, (SAS INSTITUTE, 2002).

#### **3.5.1 Análises de variância individual e conjunta**

Foram realizadas análises de variância individuais para todos os caracteres em cada ambiente. Os caracteres COMPV, NGV, P100G, IG, VC e a PG foram avaliados em todos os ambientes; o NDIF em cinco ambientes e o ACAM em quatro ambientes.

O modelo estatístico adotado para a análise individual de variância está representado na equação 1:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

em que:

$Y_{ij}$ : valor observado do genótipo “i” no bloco “j”;

$\mu$ : média geral do caráter;

$g_i$ : efeito do genótipo “i”;

$\beta_j$ : efeito do bloco “j”;

$\varepsilon_{ij}$ : erro aleatório associado ao tratamento “i” no bloco “j”.

Após a realização das análises de variância individuais, realizou-se uma análise conjunta de variância para todos os caracteres, com o objetivo de determinar possíveis interações entre os genótipos com os ambientes. Para efeito de análise de variância conjunta, foi considerado como fixo o efeito de genótipos, e como aleatório o efeito de ambientes. O modelo estatístico utilizado seguiu a equação 2 abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + a_j + g a_{ij} + r_{k(j)} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

em que:

$Y_{ijk}$ : valor observado do genótipo “i” no ambiente “j” e bloco “k”;

$\mu$ : média geral do caráter;

$g_i$ : efeito do genótipo “i”;

$a_j$ : efeito do ambiente “j”;

$g a_{ij}$ : efeito da interação do genótipo “i” com o ambiente “j”;

$r_{k(j)}$ : efeito do bloco “k” dentro do ambiente “j”;

$\varepsilon_{ijk}$ : erro experimental associado à parcela “ijk”.

Para a realização das análises de variância individuais e conjunta foi utilizado o programa Genes – Genética Quantitativa e Estatística Experimental, versão 2009.7.0 (CRUZ, 2006b).

### 3.5.2 Análises de comparação de médias

Utilizou-se o teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para comparações das médias dos genótipos por meio do programa Genes – Genética Quantitativa e Estatística Experimental, versão 2009.7.0, (CRUZ, 2006).

### 3.5.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade

Para a análise da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados, considerou-se apenas o caráter produtividade de grãos. Utilizou-se como ambiente, a combinação de ano e local, resultando em nove ambientes: Balsas, MA 2010 e 2011; Bom Jesus, PI, 2010 e 2011; Buriti, MA, 2010; Campo Grande do Piauí, PI, 2011; São João do Piauí, PI, 2011; e São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010 e 2011. Procedeu-se as análises com as médias de cada ambiente.

As análises de estabilidade e adaptabilidade foram realizadas pelo modelo AMMI (ZOBEL et al., 1988; DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Esta metodologia utiliza dois métodos na sua análise: análise de variância (ANAVA) para o termo aditivo dos efeitos principais e a análise de componentes principais (ACP) para o termo multiplicativo dos efeitos da interação genótipo x ambiente (GxA). Considerou-se como fixo os efeitos de genótipos e ambientes.

Na primeira fase, a análise de variância foi aplicada à matriz de médias ( $Y_{(g \times e)}$ ) composta pelos efeitos principais na parte aditiva (média geral, efeitos genotípicos e ambientais), resultando em um resíduo de não aditividade, isto é, na interação GxA, dada por  $(ge)_{ij}$ , essa interação constitui a parte multiplicativa do modelo. Na segunda fase, a interação foi analisada pela decomposição por valores singulares (DVS) da matriz de interações ( $GE_{(gxe)} = [(ge)_{ij}]$ ), ou por análise de componentes principais (ACP) como preferem alguns autores (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

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 descrevem Duarte; Vencovsky (1999); consta o efeito da interação GxA, que é decomposta pela ACP, de acordo com a equação 3 abaixo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

em que:

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

$\mu$ : 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  $j$  ( $j=1, 2, \dots, a$ );

- $\lambda_k$ : é o k-ésimo valor singular de GA (escalar);
- $\gamma_{ik}$ : é o elemento correspondente ao i-ésimo genótipo no vetor singular  $\gamma_k$  (vetor singular coluna);
- $\alpha_{jk}$ : é o elemento correspondente ao j-ésimo ambiente no vetor  $\alpha_k$  (vetor singular linha);
- $\rho_{ij}$ : é o resíduo da ACP presente na SQ da interação GxA (porção ruído);
- $\varepsilon_{ij}$ : é o erro experimental médio, assumido independentemente;
- k: índice que se refere aos eixos principais da ACP aplicada à matriz GxA. Logo,  $k=1,2,\dots, p$ , sendo  $p$  o posto da matriz GxA, onde:  $p$ = mínimo entre  $(g-1)$  e  $(a-1)$ ;
- n: é o número de eixos ou componentes principais selecionados para descrever o padrão da interação GxA.

O propósito da análise AMMI é de reduzir grande parte da interação GxA em poucos eixos ( $SQ_{GxA}$  Padrão), dessa forma, consumindo poucos graus de liberdade e torna-se um modelo reduzido e parcimonioso, que descarta um resíduo adicional ( $SQ_{GxA}$  Ruídos). Um dos procedimentos mais habituais para a definição do número de eixos a serem retidos no modelo, consiste em determinar os graus de liberdade associados à parcela da  $SQ_{GxA}$  relacionada a cada membro da família de modelos AMMI (AMMI0, AMMI1, AMMI2..., AMMI $n$ ). Obtém-se, então, o quadrado médio (QM) correspondente a cada modelo. Em seguida, é aplicado um teste F que avalia a significância de cada componente em relação ao  $QM_{\text{Erro Médio}}$ . Dessa maneira, o ponto de parada que determina a seleção do modelo, baseia-se na significância do teste F para os sucessivos termos da interação. O resíduo AMMI, reunindo os demais termos da  $SQ_{GxA}$  (não retidos no modelo selecionado), também pode ser testado de forma a assegurar o seu caráter desprezível, como é o caso do teste  $F_R$  (CORNELIUS et al., 1992; PIEPHO, 1995) adotado no presente trabalho e descrito pela equação 4 a seguir:

$$F_{R,n} = \frac{(SQ_{GxA} - \sum_{k=1}^n \lambda_k^2)}{f_2 \times QM_{\text{Erro Médio}}} \quad \text{com: } f_2 = (g - 1 - n) (a - 1 - n) \quad (4)$$

Sendo:

$f_2$ : o número de graus de liberdade associados a cada parcela da interação GxA, definidos por Gollob (1968).

Os resultados da análise são apresentados graficamente em *biplot* (GABRIEL, 1971). Para os casos em que o modelo engloba apenas o primeiro eixo da análise de componentes

principais da interação (CPII), utiliza-se o *biplot* AMMI1, em que o eixo das abscissas representa os efeitos aditivos principais e, o das ordenadas, os escores de genótipos e ambientes referentes ao CPII.

A interpretação de um *biplot* quanto à interação GxA geralmente é feita observando-se a magnitude e o sinal dos escores de genótipos e ambientes para o(s) eixo(s) que representam a interação GxA. O eixo da abscissa representa os efeitos principais, que são as médias de genótipos e de ambientes, e a ordenada representa o primeiro componente da interação (CPII). Assim, os escores baixos (próximos de zero) são próprios de genótipos e ambientes que contribuem pouco para a interação, caracterizando-os como estáveis.

Num *biplot* AMMI1, a estabilidade é avaliada inspecionando-se as ordenadas (CPII). Logo, os pontos situados na faixa horizontal em torno de zero em relação ao CPII correspondem aos genótipos e ambientes mais estáveis (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

As relações adaptativas podem ser facilmente percebidas num *biplot* AMMI observando-se os sinais dos escores para cada par de genótipos e ambientes. Assim, genótipos e ambientes com escores de mesmo sinal (-, - ou +, +) devem interagir positivamente. Já aqueles com sinais opostos (+, -) devem interagir negativamente (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

Como forma de incrementar a análise AMMI, Pacheco et al. (2005) introduziram um genótipo e um ambiente hipotéticos de referência, denominado de genótipo e ambiente suplementar (GS e AS), baseado na metodologia de Lin e Binns (1988), que propôs um único parâmetro de medida de estabilidade e adaptabilidade denominado de índice de superioridade. Esse genótipo e ambiente ideais são interpretados como de máxima produtividade. O propósito da representação de dois pontos adicionais no gráfico *biplot* é de realizar comparações dos genótipos e ambientes avaliados com o genótipo e ambiente de referência, definido com base em critérios de interesse do pesquisador. Pode-se assumir então, que o GS simula uma testemunha de adaptação produtiva ótima relativamente ao conjunto avaliado e de elevada estabilidade agrônômica. Já o AS simula um padrão de ambiente ideal para seleção de genótipos para adaptabilidade e estabilidade.

Assim, estimaram as distâncias quadráticas ( $d^2_{is}$  e  $d^2_{js}$ ) entre um ponto correspondente a um genótipo avaliado e o GS e entre os ambientes com o AS. Essas distâncias objetivam fornecer medidas de similaridade entre genótipos e entre ambientes e de melhor identificar os genótipos e os ambientes com maior adaptabilidade e estabilidade de produção. A distância quadrática pode ser facilmente estimada, conforme a equação 5:

$$d_{is/js}^2 = \sum_{k=1}^n (ACPI_{(i/j)k} - ACPI_{(s)k}) \quad (5)$$

Onde: i e j representam, respectivamente, o genótipo e o ambiente avaliado e; s é o genótipo ou o ambiente suplementar; e k é o eixo ou CPI selecionado pelo modelo AMMI.

As análises foram realizadas por meio do programa SAS/IML (SAS INSTITUTE, 2002), com a rotina implementada por Duarte (2012)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Rotina SAS gentilmente cedida pelo autor.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A condução dos experimentos em todos os locais transcorreu normalmente de acordo com as condições edafoclimáticas nas quais as plantas foram submetidas e as colheitas foram realizadas dentro do período previsto.

A análise exploratória dos dados, realizada por meio de análise gráfica dos resíduos, detectou a presença de dados discrepantes para alguns caracteres em alguns ensaios. Neste caso, houve a substituição desses dados por seus respectivos valores preditos, de forma a garantir à homogeneidade de variâncias e a normalidade dos resíduos, deixando-os adequados às análises de variância e de adaptabilidade e estabilidade.

### **4.1 Análises de variância individual**

Pelas análises de variância individuais observa-se que foram detectadas diferenças significativas entre os genótipos a 1 e 5% de probabilidade para a maioria dos caracteres, nos ambientes avaliados (Tabela 6). Estes resultados são indicativos da presença de variabilidade entre genótipos para esses caracteres e da possibilidade de seleção nos ambientes avaliados da região Meio-Norte Brasil.

Esse resultado concorda em parte com o obtido por Rocha et al. (2003), que estudando 20 genótipos de feijão-caupi de tegumento branco, encontraram diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G) e valor de cultivo (VC), exceto para a produtividade de grãos (PG); e corroboram em parte com os obtidos por Silva e Neves (2011a), que avaliando os componentes de produção em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro, também encontraram significância ( $P < 0,01$ ) para todos esses caracteres; e Machado et al. (2008), que avaliando genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, a produção e arquitetura da planta, encontraram efeitos significativos ( $P < 0,01$ ) para os caracteres NDIF, ACAM e PG.

Os ambientes Bom Jesus 2010 (BJ10), São Raimundo das Mangabeiras 2010 e 2011 (SRM10 e SRM11) foram os únicos que apresentaram quadrados médios significativos para todos os caracteres avaliados. Somente os caracteres COMPV, P100G, VC e ACAM apresentaram significância para todos os ambientes avaliados. O caráter IG foi o que mais apresentou não significância para os ambientes testados.

**Tabela 6.** Resumo das análises de variância individuais para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PG), obtidas a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Ambientes <sup>1</sup>	Quadrados médios de genótipos								
	GL	NDIF	ACAM	VC	COMPV	NGV	P100G	IG	PG
BA2010	19	3,00 <sup>ns</sup>	0,14**	0,85**	5,71**	3,72**	9,78**	15,18**	216471,85 <sup>ns</sup>
BA2011	19	8,95**	0,04**	0,55**	9,80**	4,02**	16,80**	42,24 <sup>ns</sup>	249295,42**
BJ2010	19	-	-	0,64**	4,19**	5,72**	17,44**	65,92*	134358,28**
BJ2011	19	-	-	0,48**	7,20**	5,82 <sup>ns</sup>	15,45**	69,75**	179542,00**
SR2010	19	-	0,36**	0,11**	6,04**	4,37**	17,19**	57,13**	204175,44**
SR2011	19	3,83*	-	0,37**	5,37**	5,34*	15,65**	26,45**	426068,87**
SJ2011	19	17,11**	-	0,15**	7,08**	6,57**	21,18*	49,22 <sup>ns</sup>	37369,20 <sup>ns</sup>
CG2011	19	-	-	0,07**	5,68**	8,45**	22,00**	118,32 <sup>ns</sup>	30753,88*
BU2010	19	14,17**	0,21**	0,08**	4,88**	6,33**	14,40**	103,07 <sup>ns</sup>	30342,81 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup>Balsas, MA 2010 (BA2010), Balsas, MA 2011 (BA2011), Bom Jesus, PI 2010 (BJ2010), Bom Jesus, PI 2011 (BJ2011), São Raimundo das Mangabeiras, MA 2010 (SR2010), São Raimundo das Mangabeiras, MA 2011 (SR2011), São João do Piauí, PI 2011 (SJ11), Campo Grande, PI 2011 (CG11), Buriti, MA 2010 (BU2010).

<sup>ns</sup>, \*\*, \* não significativo, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

## 4.2 Análises de variância conjunta

Com base nas análises de variância conjuntas observa-se que os ambientes diferiram para todos os caracteres a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto para o IG, onde não houve significância, indicando que os ambientes variaram entre si, possivelmente em virtude do contraste quanto às condições edafoclimáticas, principalmente no que tange ao tipo de clima, quantidade e distribuição de chuvas, tipos de solo e fertilidade (Tabela 7). Outros fatores que também podem ter influenciado os ambientes foram: latitude (03°50' a 09°39'); altitude (227 m a 643 m); e o bioma (cerrado e caatinga) (Tabela 4). Resultado semelhante quanto a contrastes entre ambientes, foram encontradas nos trabalhos de Vilarinho et al. (2006); Rocha et al. (2008); Sarvamangala et al. (2010) e Valadares et al. (2011).

Os genótipos diferiram para todos os caracteres ( $P < 0,01$ ) (Tabela 7). As linhagens apresentaram diferenças para todos os caracteres ( $P < 0,01$ ), exceto para a PG, indicando que, para a maioria dos caracteres, a seleção entre linhagens será eficiente, no entanto, para PG, pouco eficaz. Rocha et al. (2003), avaliando um grupo de genótipos de feijão-caupi, também não encontraram diferenças para a PG. Para as testemunhas, observaram-se diferenças significativas em todos os caracteres ( $P < 0,01$ ), exceto para VC, que foi não significativo.

O contraste entre linhagens e testemunhas foi significativo ( $P < 0,05$ ), exceto para a PG e IG, mostrando que o desempenho médio das linhagens foi diferente do desempenho médio das testemunhas para a maioria dos caracteres, exceto para a PG e IG indicando para estes caracteres que as testemunhas tiveram comportamento similar às linhagens. Rocha et al. (2008), encontraram significância de 1% de probabilidade para a maioria dos caracteres avaliados.

A interação genótipos x ambientes (GxA) foi significativa para todos os caracteres ( $P < 0,01$  ou  $P < 0,05$ ), exceto para o IG e P100G. Isso demonstra que os genótipos apresentaram comportamento diferencial para a maioria dos caracteres em decorrência das diferenças ambientais observadas na região Meio-Norte do Brasil. Vilarinho et al. (2006) encontraram significância ao nível de 1% de probabilidade para os caracteres avaliados, no entanto, Rocha et al. (2008), encontraram para os caracteres NGV, P100G e ACAM, não significância. No estudo de Sarvamangala et al. (2010), apenas dois caracteres avaliados foram significativos.

A interação linhagens x ambientes (LxA) foi significativa para todos os caracteres ( $P < 0,01$  ou  $P < 0,05$ ), exceto para o NGV, P100G e IG. Isso caracteriza que as linhagens apresentaram comportamento imprevisível nos diferentes ambientes.

Com base nas estimativas dos coeficientes de variação experimental (CV%), os caracteres NDIF, COMPV, NGV e VC apresentaram alta precisão experimental, enquanto que os caracteres ACAM, P100G e IG, apresentaram média precisão experimental. A PG por ser um caráter muito influenciado pelas condições ambientais apresentou um CV% elevado (Tabela 7). As estimativas de CV% para PG foram semelhantes às obtidas em outros estudos dessa natureza realizadas com genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado e prostrado, conduzidos por Freire Filho et al. (2002); Oliveira et al. (2002); Vilarinho et al. (2006) e Rocha et al. (2008). Para os demais caracteres, os resultados se assemelham aos obtidos por Freire Filho et al. (2002), Vilarinho et al. (2006), Torres et al. (2006) e Silva e Neves (2011b).

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), valor de cultivo (VC), produtividade de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), acamamento (ACAM), índice de grãos (IG) e número de dias para o início da floração (NDIF), obtido a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 –2011.

Fonte de Variação	GL	QM			GL	QM		GL	QM
		COMPV	NGV	VC <sup>(1)</sup>		PG	P100G		
Blocos/Ambientes	27	2,31	3,16	0,04	27	265.245,94	27	29,9	
Genótipos (G)	19	41,27**	30,05**	0,23**	19	370.470,68*	19	119,6**	
Linhagens (L)	13	31,61**	23,03**	0,20**	13	129.668,32 <sup>ns</sup>	13	43,4**	
Testemunhas (T)	5	37,87**	51,18**	0,07 <sup>ns</sup>	5	1.066.326,72**	5	276,4**	
L vs T	1	183,90**	15,74*	1,48**	1	21.621,12 <sup>ns</sup>	1	325,5**	
Ambientes (A)	8	22,15**	87,31**	2,02**	8	20.810.526,63**	8	119,2**	
G x A	152	1,83**	2,54*	0,06**	101	214.014,48**	90	6,4 <sup>ns</sup>	
L x A	104	1,42*	2,50 <sup>ns</sup>	0,06**	69	206.170,62**	62	6,4 <sup>ns</sup>	
T x A	40	2,88**	2,70 <sup>ns</sup>	0,05**	27	237.298,32**	24	6,1 <sup>ns</sup>	
Resíduo	513	1,09	1,98	0,02	325	88.191,21	288	6,0	
CV (%)		5,10	9,90	9,90		29,63		12,96	

Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM		GL	QM
		ACAM <sup>(1)</sup>			IG	NDIF		
Blocos/Ambientes	12	0,03		27	550,96	15	0,91	
Genótipos (G)	19	0,34**		19	249,52**	19	22,56**	
Linhagens (L)	13	0,25**		13	263,41**	13	14,98**	
Testemunhas (T)	5	0,20**		5	220,22**	5	17,53**	
L vs T	1	2,14*		1	215,35 <sup>ns</sup>	1	146,15**	
Ambientes (A)	3	2,86**		8	1102,86 <sup>ns</sup>	4	422,42**	
G x A	57	0,14**		71	79,46 <sup>ns</sup>	61	7,63**	
L x A	39	0,14*		49	96,94 <sup>ns</sup>	42	7,99*	
T x A	15	0,13**		19	35,82 <sup>ns</sup>	16	4,85**	
Resíduo	228	0,03		223	147,29	215	1,73	
CV (%)		11,61			16,05		3,07	

<sup>(1)</sup>Análise realizada com dados transformados para  $\sqrt{x - 0,5}$ . \*, \*\*, <sup>ns</sup>, Significativo ao nível de 5% e 1%, não significativo respectivamente, pelo teste F.

### 4.3 Comparações de médias

Os 20 genótipos de feijão-caupi avaliados nos nove ambientes diferiram com relação a todos os caracteres, pelo teste de Scott e Knott, exceto ACAM, IG e PG (Tabela 8). Lopes et al. (2006b) realizaram uma caracterização morfoagronômica de cultivares locais de feijão-caupi do grupo Canapu, em Teresina, PI e também não encontraram diferenças significativas para os caracteres IG e PG e Santos et al. (2008), avaliando o comportamento agrônomico e culinário do feijão-caupi no Vale do São Francisco, não encontraram diferenças significativas para a PG entre os genótipos avaliados. Benvindo et al. (2010) avaliando genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado em cultivo de sequeiro, em Teresina, PI, também não encontraram diferença significativa para o caráter ACAM.

Para o caráter NDIF, a variação foi em torno de 40,90 dias, na linhagem 14 (MNC03-761F-1) a 44,25 dias, na linhagem 8 (MNC02-677F-5). Os genótipos foram separados em dois grupos (A e B) pelo teste de Scott e Knott. O grupo B compreendeu o restante dos genótipos com média máxima de 42,45 dias para a floração, evidenciando maior precocidade deste grupo. O grupo A compreendeu 60% dos genótipos, com médias superiores a 42,45 dias para a floração. A linhagem 14-MNC03-761F-1, a mais precoce em valor absoluto (40,90), foi mais precoce que as médias das testemunhas. A média das linhagens (43,14) foi estatisticamente igual à média geral dos genótipos e superior a média das testemunhas. A média geral dos genótipos foi de 42,72 dias, valor este inferior ao encontrado por Lopes et al. (2006b), Correia et al. (2009) e Rocha et al. (2011b), no entanto, semelhante ao obtido por Freire Filho et al. (2002) e superior ao obtido por Benvindo et al. (2010).

O ACAM variou de 1,32 (6-MNC02-676F-1 e 9-MNC02-680F-12) a 1,80 (19-BR 17-Gurguéia). A média geral dos genótipos foi de 1,53, resultado esse semelhante ao encontrado por Rocha et al. (2008), com 1,58 e inferior ao encontrado por Benvindo et al. (2010), com índice de 2,90.

Para o caráter VC, a escala de notas variou de 1,56 (19-BR 17-Gurguéia) a 1,85 (14-MNC03-761F-1). Foram formados dois grupos (A e B), sendo que o grupo A representou 35% dos genótipos, formado pelas linhagens 3 (MNC01-649F-2-11), 5 (MNC02-675F-9-5), 6 (MNC02-676F-1), 8 (MNC02-677F-5), 9 (MNC02-680F-12), 10 (MNC02-689F-2-8) e 14 (MNC03-761F-1), que foram superiores às médias das testemunhas e dos genótipos. O grupo B foi formado pelos demais genótipos, que apresentaram médias inferiores a 1,74. A média das linhagens foi superior à média geral dos genótipos e das testemunhas. A média geral dos genótipos (1,70) foi inferior ao encontrado por Teixeira et al. (2006) e Silva e Neves (2011a),

mas, superior à obtida por Rocha et al. (2008; 2011b).

**Tabela 8.** Médias dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PG), obtidas a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Genótipos <sup>1</sup>	NDIF (dias)	ACAM (notas)	VC (notas)	COMPV (cm)	NGV	P100G (g)	IG (%)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )
1 – MNC01-649F-1-3	43,75a	1,64a	1,66b	21,03a	14,72a	19,39a	72,27a	1.045,74a
2 – MNC01-649F-2-1	43,65a	1,64a	1,69b	21,49a	14,30a	19,53a	74,09a	1.033,71a
3 – MNC01-649F-2-11	43,35a	1,54a	1,74a	21,28a	14,22a	19,30a	71,28a	980,00a
4 – MNC02-675F-5	42,95a	1,56a	1,71b	19,91b	14,96a	19,11a	75,20a	984,41a
5 – MNC02-675F-9-5	41,75b	1,33a	1,80a	19,72b	13,01b	19,17a	75,14a	1.029,55a
6 – MNC02-676F-1	43,15a	1,32a	1,82a	19,88b	13,45b	17,40a	74,29a	1.060,45a
7 – MNC02-677F-2	43,90a	1,40a	1,70b	22,92a	14,23a	20,19a	75,28a	925,85a
8 – MNC02-677F-5	44,25a	1,50a	1,81a	20,04b	12,93b	20,37a	75,73a	992,25a
9 – MNC02-680F-12	43,50a	1,32a	1,78a	19,54b	13,53b	17,29a	72,87a	939,39a
10 – MNC02-689F-2-8	42,45b	1,37a	1,74a	21,17a	14,37a	19,84a	76,39a	968,13a
11 – MNC02-701F-2	43,80a	1,60a	1,65b	21,26a	15,47a	19,61a	80,43a	1.167,54a
12 – MNC03-736F-2	42,95a	1,62a	1,59b	21,15a	15,07a	18,51a	77,44a	986,36a
13 – MNC03-736F-6	43,35a	1,52a	1,70b	21,61a	14,06a	21,45a	80,10a	985,23a
14 – MNC03-761F-1	40,90b	1,35a	1,85a	20,53b	13,13b	18,72a	72,82a	985,50a
Média das linhagens	43,14a	1,48a	1,74a	20,83a	14,11a	19,28a	75,24a	1.006,01a
15 - Pingo de Ouro-1-2	41,10b	1,66a	1,62b	20,35b	14,99a	20,98a	78,38a	1.106,02a
16 – BRS Xiquexique	41,55b	1,77a	1,62b	20,88a	15,13a	17,69a	80,20a	1.187,08a
17 – BRS Juruá	41,70b	1,52a	1,65b	19,04b	12,29b	17,67a	74,09a	684,91a
18 – BRS Aracê	41,10b	1,59a	1,65b	20,01b	13,76b	18,29a	76,28a	958,37a
19 - BR 17-Gurguéia	43,50a	1,80a	1,56b	18,02b	15,43a	12,77b	75,78a	995,65a
20 - BRS Marataoã	42,15b	1,60a	1,70b	20,01b	14,96a	19,47a	73,85a	1.032,30a
Média das testemunhas	41,82b	1,66a	1,64b	19,72b	14,43a	17,82a	76,44a	994,05a
Média geral dos genótipos	42,72a	1,53a	1,70b	20,49b	14,20a	18,84a	75,60a	1.002,42a

<sup>(1)</sup>Genótipos com médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Scott; Knott (1974) a 5% de probabilidade.

O caráter COMPV apresentou médias variando de 18,02 cm (19-BR 17-Gurguéia) a 22,92 cm (7-MNCO2-677F-2) (Tabela 8). Essa linhagem teve média superior às médias das testemunhas (19,72 cm) e genótipos (20,49 cm), porém, não diferiu da média das linhagens. Os genótipos foram separados em dois grupos. O grupo A, com média de comprimento de vagem mínimo de 20,88 cm, perfazendo um total de 45% dos genótipos, que foram superiores em relação às médias das testemunhas e dos genótipos. O grupo B compreendeu 55% dos genótipos com comprimento de vagem inferior a 20,88 cm. A média geral desse caráter foi de 20,49 cm, superior à obtida por Lopes et al. (2006a); Vilarinho et al. (2006); Teixeira et al. (2006); Rocha et al. (2008; 2011a), Santos et al. (2009a), Sampaio et al. (2009) e Silva e Neves (2011a) e similar à encontrada por Santos et al. (2009b), com média de 20,51 cm. Os genótipos do grupo A podem ser utilizados no melhoramento de genótipos de portes prostrado e semiprostrado para aumentar o tamanho da vagem, pois o pequeno produtor tem preferência por vagens grandes, além do que, segundo Lopes et al (2001), quanto maior a vagem maior será o NGV.

Quanto ao NGV, as médias dos genótipos variaram de 12,29 (17-BRS Juruá) a 15,47 (11-MNCO2-701F-2) e foram separadas em dois grupos. O grupo A, agregou os genótipos com NGV mínimo de 14,06 grãos por vagem e compreendeu 65% dos genótipos, com destaque em valor absoluto para a linhagem 11, que apresentou o maior NGV (15,74 grãos), no entanto, não diferiu dos demais genótipos. O grupo B reuniu os genótipos com médias inferiores a 14 grãos por vagem. As médias gerais dos genótipos, linhagens e testemunhas foram similares. A média geral dos genótipos (14,20) foi superior à obtida por Teixeira et al. (2006); Rocha et al. (2008), Santos et al. (2009a;b), Sampaio et al. (2009) e idêntica à encontrada por Silva e Neves (2011a), porém, inferior ao valor obtido por Lopes et al. (2006b), Vilarinho et al. (2006) e Rocha et al. (2011b).

O caráter P100G apresentou variação de 12,77 g (19-BR 17-Gurguéia) a 21,45 g (13-MNCO3-736F-6). A testemunha BR 17-Gurguéia também apresentou baixo P100G nos trabalhos conduzidos por Freire Filho et al. (2002); Rocha et al. (2008) e Silva e Neves (2011). Esse genótipo foi o único que integrou o grupo B, diferindo do restante dos genótipos (grupo A). A média das linhagens foi similar às média dos genótipos e das testemunhas. A média geral dos genótipos foi de 18,84 g, valor esse inferior ao encontrado por Lopes et al. (2006b), Santos et al. (2008), Rocha et al. (2008; 2011b), Santos et al. (2009a), Sampaio et al. (2009), e semelhante ao encontrado por Silva e Neves (2011a), mas superior ao obtido por Freire Filho et al. (2002); Teixeira et al. (2006) e Lima et al. (2009).

O IG variou de 71,28 na linhagem MNCO1-649F-2-11 a 80,43, na linhagem MNCO2-

701F-2. A média das linhagens foi similar às médias dos genótipos e das testemunhas. A média geral dos genótipos foi de 75,60%, resultado esse superior ao obtido por Teixeira et al. (2006) e idêntico ao encontrado por Silva e Neves (2011a), mas inferior ao encontrado por Rocha et al. (2011b).

A PG variou de 684,91 kg ha<sup>-1</sup> (17-BRS Juruá) a 1.187,08 kg ha<sup>-1</sup> (16-BRS Xiquexique). Em termos de genótipos, a cultivar BRS Xiquexique foi o que obteve maior média em valor absoluto (1.187,08 kg ha<sup>-1</sup>). A média das linhagens foi similar às médias dos genótipos e das testemunhas (P>0,05). Rocha et al. (2008) também encontraram a maior média de produtividade para a cultivar BRS Xiquexique dentre 20 genótipos de feijão-caupi avaliados na região semiárida piauiense. Quanto às linhagens, destacou-se em valor absoluto a 11-MNC02-701F-2, com 1.167,54 kg ha<sup>-1</sup>. A média geral das linhagens foi de 1.006,00 kg ha<sup>-1</sup>. Essa produtividade média é considerada alta, comparado à média nacional (369,00 kg ha<sup>-1</sup>) (FREIRE FILHO et al., 2011b) e do estado do Piauí (740,74 kg ha<sup>-1</sup>) (IBGE, 2011). Essa média foi superior às médias encontradas por Freire Filho et al. (2002), com média produtiva de 794 kg ha<sup>-1</sup>; Rocha et al. (2008; 2011b), com produtividade média, respectivamente de 857,14 kg ha<sup>-1</sup> e 860,65 kg ha<sup>-1</sup>; Santos et al. 2008, com produtividade média de 693,00 kg ha<sup>-1</sup>; Santos et al. (2009a;b), com produtividades médias de 617,00 kg ha<sup>-1</sup> e 803,00 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; Lima et al. (2009), com 703,55 kg ha<sup>-1</sup>; Correia et al. (2009), com média de 797,00 kg ha<sup>-1</sup>; Silva e Neves (2011a), com produtividade média de 851,59 kg ha<sup>-1</sup>, no entanto, similar ao encontrado por Vilarinho et al. (2006), com média produtiva de 1.091,00 kg ha<sup>-1</sup> e inferior à média obtida por Sampaio et al. (2009), com produtividade média de 1.289,60 kg ha<sup>-1</sup> e Nunes (2012), que obteve 1.564,24 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.4 Análises de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos

O resumo das análises de variância individuais referente ao grupo de genótipos em cada ambiente é apresentado na Tabela 9. Houve diferenças significativas entre genótipos para a PG na maioria dos ambientes, indicando que estes apresentaram variabilidade considerável dentro dos ambientes, favorecendo a prática da seleção.

Verificou-se, pelo critério de Hartley (1950), que a razão entre o maior (Balsas 2010) e o menor (São João do Piauí 2010) quadrado médio do resíduo foi superior a sete (Tabela 9), evidenciando que as variâncias residuais não eram homogêneas (PIMENTEL-GOMES, 2000). Para viabilizar a análise conjunta envolvendo todos os ambientes, optou-se por fazer um ajuste dos quadrados médios dos resíduos, pelo método proposto por Cochran (1957), realizado via programa Genes (CRUZ, 2006). Dessa forma, foi possível a realização da análise conjunta incluindo todos os ensaios.

As produtividades médias oscilaram de 354,46 kg ha<sup>-1</sup> (São João do Piauí 2011) a 1.976,71 kg ha<sup>-1</sup> (Balsas 2011), destacando-se os ambientes Balsas 2011, Balsas 2010 e São Raimundo das Mangabeiras 2011, como os mais favoráveis à expressão da produtividade de grãos (Tabela 9). 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 9.** Resumo das análises de variância individuais, referente ao caráter produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), obtida a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Ambientes	Quadrado Médio		Média geral (kg ha <sup>-1</sup> )	CV (%)
	Genótipos	Resíduo		
	19	57		
Balsas 2010	216.471,85 <sup>ns</sup>	148.866,93	1.657,37	23,28
Balsas 2011	249.295,42 <sup>**</sup>	74.961,93	1.976,71	13,85
Bom Jesus do Piauí 2010	134.358,28 <sup>**</sup>	32.894,02	636,38	28,50
Bom Jesus do Piauí 2011	179.542,00 <sup>**</sup>	25.903,25	859,69	18,72
S.R.das Mangabeiras 2010	294.175,44 <sup>**</sup>	39.284,96	767,41	25,83
S.R.das Mangabeiras 2011	426.068,87 <sup>**</sup>	104.441,75	1.113,25	29,03
C. Grande do Piauí 2011	37.369,20 <sup>ns</sup>	37.985,93	813,03	23,97
São João do Piauí 2011	30.753,88 <sup>**</sup>	11.257,43	354,46	29,93
Buriti 2010	30.342,81 <sup>ns</sup>	27.248,42	843,50	19,50

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup>, \* não significativo, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

De acordo com a classificação adotada por Pimentel-Gomes (2000), observa-se que os ambientes Balsas 2011, Bom Jesus 2011 e Buriti 2010 apresentaram CV médios, entre 10 a 20%, já os ambientes Balsas 2010, Campo Grande 2011, São Raimundo das Mangabeiras 2010, Bom Jesus 2010, São Raimundo das Mangabeiras 2011 e São João 2011, apresentaram CV considerados altos. Entretanto, a classificação de Pimentel-Gomes (2000) é muito abrangente, pelo fato de não considerar as peculiaridades da cultura em estudo, e especialmente, não realiza a diferenciação entre a natureza genética das característica avaliada.

No presente estudo foi encontrada uma amplitude de CV de 13,85 a 29,93%, confirmando dessa forma, a influência de fatores não previsíveis sobre a produtividade de grãos, provavelmente em função de que esse caráter não apresente herança simples, portanto, sendo muito influenciado pelas condições ambientais.

A amplitude de CV observada no trabalho é semelhante à encontrada por Mano (2009), que avaliou a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão-de-corda no estado do Ceará, com variação de 12,14 a 29,47%, e Nunes (2012), avaliando a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho, em cultivo de sequeiro, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, que encontrou uma amplitude de CV de 12,75 a 27,41%.

A análise de variância conjunta mostrou que os efeitos de genótipos, ambientes e interação genótipos x ambientes (GxA) foram significativos (Tabela 10). Resultados iguais foram obtidos por Freire Filho et al. (2002; 2003b), Vilarinho et al. (2006) e Rocha et al. (2007; 2011a), que também encontraram diferenças significativas para essas três fontes de variação em estudos envolvendo outros grupos de genótipos de feijão-caupi em ambientes da região Meio-Norte do Brasil.

O efeito marcante de genótipos indica a presença de variabilidade para a seleção. A significância do efeito de ambientes indica contraste entre ambientes, fato importante para tornar o processo de indicação de cultivares mais eficiente. A ocorrência de interação GxA, segundo Melo et al. (2007), mostra uma resposta diferencial dos genótipos frente às mudanças de ambiente.

Os efeitos de ambientes foram responsáveis pela maior parte da variação, seguidos da interação GxA e dos efeitos de genótipos. De acordo com Rocha et al. (2007), a variação observada nos ambientes, provavelmente é devido à forte interação entre anos e locais, ocasionada principalmente pela ocorrência de estresses abióticos, no caso do presente trabalho, provavelmente devido à ocorrência de irregularidades pluviométricas e à presença

de veranicos nos ambientes do semiárido, comuns na Região Nordeste. Segundo (ANNICCHIARICO, 1997), ambientes localizados em regiões tropicais apresentam maior tendência à ocorrência de estresses abióticos.

Maior variação para o efeito de ambientes também foi observada por Freire Filho et al. (2002; 2003a; 2003b; 2005b) e Rocha et al. (2007), que estudaram a adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos de genótipos de feijão-caupi, na Região Meio-Norte e Nordeste brasileiro; e por Akande (2007a), que estudou a interação GxA para a produtividade de grãos de nove variedades de feijão-caupi no sudoeste da África, e encontrou maior variação para ambientes (61,32%), no entanto, com menor magnitude do que neste estudo (85,31%). O efeito da interação GxA e dos genótipos encontrados por Akande (2007a) foi de 13,19% e 9,89%, respectivamente, sendo maior dos que as porcentagens encontradas para esses efeitos no presente trabalho (11,08% para o efeito da interação GxA e 3,61% para efeitos de genótipos) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância conjunta com a decomposição AMMI do efeito da interação GxA para o caráter produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) avaliado em 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado, em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

FV	GL	QM	%SQ <sub>T</sub> <sup>(1)</sup> ou SQ <sub>GA/CPII</sub> <sup>(2)</sup>	%SQ <sub>GA</sub>
Genótipos (G)	19	92.618,20**	3,61 <sup>(1)</sup>	-
Ambientes (A)	8	5.202.639,02**	85,31 <sup>(1)</sup>	-
G x A	101	53.503,62**	11,08 <sup>(1)</sup>	-
CPII	26	85.989,59**	41,36 <sup>(2)</sup>	41,36
Resíduo <sub>AMMI</sub>	126	25.153,36 <sup>ns</sup>	-	58,64
Erro médio/r <sup>(3)</sup>	325	22.047,80		
CV (%)			18,81	

<sup>(1)</sup>Porcentagem da soma de quadrados de tratamentos. <sup>(2)</sup>Porcentagem da SQ da interação G x A captada pelo CPII (componente principal da interação). <sup>(3)</sup>Número de repetições. <sup>ns</sup>não significativo, \*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F<sub>R</sub>.

Embora a interação GxA tenha sido decomposta em oito componentes principais da interação (CPI), apenas o primeiro eixo (CPI1) teve seu resíduo não significativo pelo teste F<sub>R</sub> de Cornelius et al. (1992) (P<0,01) (Tabela 10), indicando que o modelo a ser adotado era o modelo AMMI1. Segundo Chaves (2001), o modelo mais adequado é aquele que associa significância para os eixos (CPI) com não significância para o resíduo (ruído), com uma porção não muito elevada de graus de liberdade.

Resultado diferente quanto à seleção do modelo AMMI foi obtida por Freire Filho et al. (2003a; 2003b; 2005b) e Rocha et al. (2007; 2011a;b), onde o teste F<sub>R</sub> selecionou dois CPIs (CPI1 e CPI2), sendo selecionado o modelo AMMI2; no entanto, semelhante ao

verificado por Asio et al. (2005), Ojo et al. (2006), Akande (2007) e Morello et al. (2008) em que o modelo selecionado também foi o AMMI1.

Uma observação importante é com relação à contribuição relativa de cada componente principal, na variação total entre os genótipos nos diferentes ambientes. O CPI1 explicou 41,36% da soma de quadrados da interação GxA ( $SQ_{GA}$ ) (Tabela 11). Isto significa que todo o padrão adjacente à interação GxA concentra-se no primeiro eixo. Conforme Gauch (1988), os primeiros eixos AMMI captam maior porcentagem de “padrão” e, com subsequente acumulação de dimensões (componentes), ocorre diminuição na porcentagem de “padrão” e um acréscimo de “ruídos”. De acordo com Rocha (2002), essa acumulação nos eixos subsequentes contribui para diminuir a acurácia das estimativas de interações e a segurança na identificação de genótipos adaptados. Com isso, apesar da seleção de um só componente, com pequena porção da  $SQ_{GxA}$  original, espera-se estar captando maior porcentagem do “padrão”. Como 41,36% da  $SQ_{GxA}$  corresponde ao padrão adjacente à interação GxA e de importância agronômica, 58,64% da  $SQ_{GxA}$  representa o ruído, ou seja, a variação aleatória resultante da influência de fatores microambientais e sem importância agronômica. Assim, a resposta dos genótipos será estimada com base no modelo AMMI1 e a interpretação gráfica da adaptabilidade e estabilidade será realizada considerando-se apenas o CPI1, via *biplot* AMMI1.

**Tabela 11.** Resumo da análise de componentes principais da interação (CPI) estimada a partir da avaliação da produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado, em nove ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

CPI	Autovalor	Proporção/CPI	% Acumulada
1	2.235.729,5161	0,4136	41,36
2	1.379.565,4315	0,2552	66,89
3	62.5048,2493	0,1156	78,45
4	393.489,7446	0,0728	85,73
5	373.376,4932	0,0691	92,64
6	211.477,3707	0,0391	96,55
7	102.180,4329	0,0189	98,44
8	84.185,8397	0,0156	100,00

Quanto aos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, observados pela dispersão na horizontal do *biplot* AMMI1 (Figura 2), apesar de os genótipos variarem, essa variação foi menor, relativamente aos efeitos de ambientes e da interação GxA, sendo esta observada na vertical do *biplot* AMMI1. Isto 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 GxA, também foi bastante disperso. Esse resultado diferiu do resultado obtido por Rocha et al. (2011a), que ao estudarem um grupo de genótipos no semiárido piauiense, encontraram uma grande variação não só para o efeito de ambientes, mas também para o efeito de genótipos.

Combinando-se as estimativas dos efeitos principais com a estimativa da interação GxA revelada pelo modelo AMMI1, pôde-se ainda avaliar as respostas dos genótipos nos ambientes de maneira mais precisa, considerando apenas o padrão da interação GxA captada pelo CPII (Tabela 12). A cultivar BRS Xiquexique apresentou a maior produtividade de grãos ( $1.187,09 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Três genótipos apresentaram médias na faixa de  $1.100$  a  $1.200 \text{ kg ha}^{-1}$ , cinco apresentaram médias na faixa de  $1.000$  a  $1.100 \text{ kg ha}^{-1}$ , 11 (55%) na faixa de  $900$  a  $1.000 \text{ kg ha}^{-1}$  e um genótipo na faixa de  $600$  a  $700 \text{ kg ha}^{-1}$ . Em relação aos ambientes, as médias preditas variaram de  $354,46 \text{ kg ha}^{-1}$ , em Campo Grande do Piauí, PI 2011, a  $1.976,72 \text{ kg ha}^{-1}$ , em Balsas, MA 2011.

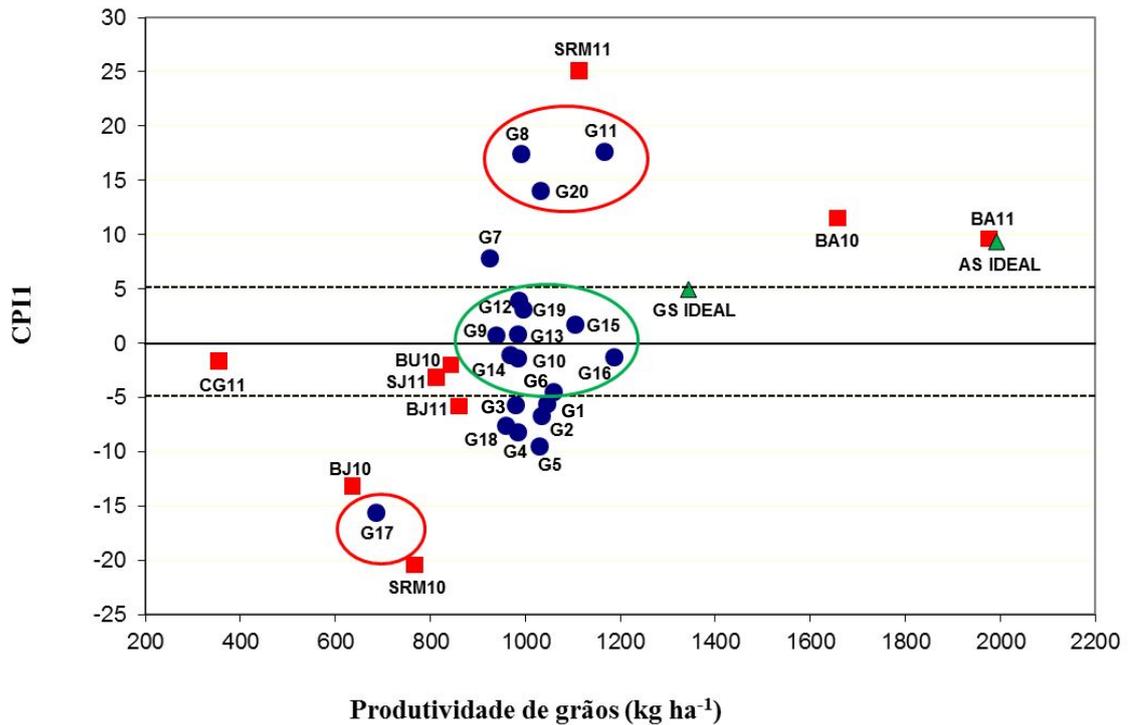
As médias dos genótipos e ambientes e os escores da interação GxA captada pelo CPII foram plotados em gráfico, denominado *biplot* AMMI1 (Figura 2)

Os genótipos mais estáveis, (circulados em verde), ou seja, aqueles com escores mais baixos no eixo da interação GxA, entre  $-5$  e  $5$  (linha horizontal central do *biplot* AMMI1) 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 2).

Os genótipos mais instáveis foram: 11 (MNC02-701F-2), 8 (MNC02-677F-5), 17 (BRS Juruá) e 20 (BRS Marataoã), respectivamente, circulados em vermelho. Ambos apresentaram os escores mais altos para a interação GxA.

Os ambientes mais estáveis foram CG11, BU10 e SJ11, respectivamente, pois interagiram menos com os fatores ambientais, sendo o primeiro associado com baixa produtividade e os outros dois, com média produtividade.

O ambiente BA11 foi o que mais se aproximou do ambiente suplementar (AS). Logo 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  $1.976,72 \text{ kg ha}^{-1}$ , a maior dentre os ambientes avaliados. Em seguida, destacou-se o ambiente BA10, que obteve produtividade média de  $1.657,38 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esse resultado evidencia que o local Balsas apresentou interação positiva com os fatores ambientais, inclusive com o fator imprevisível de ano agrícola.



**Figura 2.** Biplot AMMI1 para dados de produtividade de grãos de 20 genótipos (círculos em azul) de feijão-caupi de porte semiprostrado, avaliados em nove ambientes (quadrados em vermelho) da Região Meio-Norte do Brasil. (BA10: Balsas 2010; BA11: Balsas 2011; BJ10: Bom Jesus 2010; BJ11: Bom Jesus 2011; SR10: São Raimundo das Mangabeiras 2010; SR11: São Raimundo das Mangabeiras 2011; SJ11: São João do Piauí 2011; CG11: Campo Grande do Piauí 2011; BU10: Buriti 2010), no período de 2010 a 2011. GS: genótipo suplementar e AS: ambiente suplementar (triângulos em verde).

Os genótipos avaliados foram menos responsivos ao ambiente CG11, sendo este o ambiente que apresentou a menor média de produtividade ( $354,46 \text{ kg ha}^{-1}$ ). O ambiente SRM10 apresentou instabilidade associada com média produtividade, enquanto que SRM11, instabilidade associada com alta produtividade. Esse resultado assemelha-se com o obtido por Rocha et al. (2007), que estudaram a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi na Região Nordeste, e também verificaram que o local São Raimundo das Mangabeiras teve alta interação com o ano agrícola 2002, resultando em um dos ambientes mais instáveis, dentre os avaliados por estes autores.

Em relação a adaptações específicas entre genótipos e ambientes, a cultivar BRS Juruá apresentou adaptabilidade específica aos ambientes BJ10 e SRM10, que são ambientes instáveis, cujos, estão associados à média produtividade. As linhagens 8 (MNC02-677F-5), 11 (MNC02-701F-2), e a cultivar 20 (BRS Marataoã) apresentaram as maiores médias no ambiente SRM11 e adaptabilidade específica, sendo este ambiente, considerado também como instável e associado a média produtividade.

A cultivar BRS Xiquexique foi o genótipo que obteve a produtividade de grãos mais elevada (1.187,09 kg ha<sup>-1</sup>), seguida da linhagem 11 (MNC02-701F-2), com 1.167,54 kg ha<sup>-1</sup>. Rocha et al. (2008), conduzindo um estudo com genótipos de feijão-caupi na região semiárida piauiense, encontraram também a maior média produtiva para a cultivar BRS Xiquexique, dentre todos os genótipos avaliados.

Verificou-se ainda, que os genótipos mais produtivos (16, 11 e 15), não foram os mais estáveis (9, 13, 14 e 10). No entanto, a linhagem 13 (MNC03-736F-6) que não estava entre as mais produtivas no conjunto de genótipos avaliados (985,24 kg ha<sup>-1</sup>), foi a segunda mais previsível.

O genótipo MNC02-701F-2 mostrou-se bastante produtivo no local Balsas, MA, entretanto, é o genótipo mais instável. Nos ambientes BA10 e BA11 este genótipo foi responsável pelas maiores produtividades dentre o grupo de genótipos avaliados, com 2.025,49 kg ha<sup>-1</sup> e 2.311,35 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

As distâncias quadráticas entre as projeções de cada genótipo e ambiente avaliados e o genótipo e ambiente suplementar (GS e AS), sobre o primeiro componente principal da interação GxA (CPI1) são apresentadas na Tabela 13. Pode-se observar que o genótipo 12 (MNC03-736F-2) é o que apresenta menor distância do GS. Nota-se ainda que, embora visualmente os genótipos 15 (Pingo de ouro-1-2) e/ou 16 (BRS Xiquexique) (Figura 2) apresentem alta estabilidade e alta produtividade pela análise AMMI tradicional, por situarem-se na linha de estabilidade, o genótipo 12 apresenta distância quadrática de GS menor e está na mesma altura de GS, sendo este, por essa abordagem, o ponto referencial ou testemunha de estabilidade e adaptabilidade ideal. O genótipo mais distante do GS foi o 17 (BRS Juruá), indicando que este apresenta baixa adaptabilidade e estabilidade aos ambientes da região Meio-Norte do Brasil.

Com relação aos ambientes, o 2 (Balsas 2011) foi o mais próximo do AS (Tabela 13). Por outro lado, o ambiente 5 (São Raimundo das Mangabeiras 2010) foi o mais distante. Isso é um indicativo que o local Balsas seja o mais adequado para a seleção simultânea para adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos, dentre os locais de testes.

A inclusão do GS na análise AMMI foi útil em auxiliar na identificação de materiais superiores no conjunto de dados avaliados, corroborando com o resultado obtido por Gonçalves et al. (2009; 2010), que aplicaram essa mesma metodologia em um estudo de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-comum.

**Tabela 12.** Médias previstas para o caráter produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) pelo modelo AMMI, considerando apenas o primeiro eixo (CPI1), obtidos a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, em nove ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, no período de 2010 – 2011.

Genótipo	Ambiente <sup>(1)</sup>									Média geral
	BA10	BA11	BJ10	BJ11	SRM10	SRM11	SJ11	CG11	BU10	
1 – MNC01-649F-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 – MNC01-649F-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 – MNC01-649F-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 – MNC02-675F-5	1.544,73	1.879,67	726,31	889,26	917,02	889,42	821,08	350,19	842,05	984,41
5 – MNC02-675F-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 – MNC02-676F-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 – MNC02-677F-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 – MNC02-677F-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 – MNC02-680F-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 – MNC02-689F-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 – MNC02-701F-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 – MNC03-736F-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 – MNC03-736F-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 – MNC03-761F-1	1.624,37	1.946,36	637,82	850,87	778,99	1.061,35	800,54	339,88	829,40	985,51
Médias das linhagens	1.665,58	1.984,16	634,71	860,96	762,83	1.126,88	815,35	357,38	846,28	1.006,01
15 – Pingo de ouro-1-2 <sup>(2)</sup>	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 <sup>(2)</sup>	1.827,39	2.149,14	837,75	1.051,72	978,02	1.266,06	1.001,72	541,25	1.030,73	1.187,09
17 – BRS Juruá <sup>(2)</sup>	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 <sup>(2)</sup>	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 <sup>(2)</sup>	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 <sup>(2)</sup>	1.849,28	2.141,90	481,37	808,05	510,19	1.495,58	798,23	360,77	844,99	1.032,26
Médias das testemunhas	1.638,24	1.959,36	640,29	856,74	778,11	1.081,47	807,62	347,66	837,02	994,05
Média Geral	1.657,38	1.976,72	636,39	859,69	767,41	1.113,26	813,03	354,46	843,50	

<sup>(1)</sup>BA10: Balsas, MA 2010; BA11: Balsas, MA 2011; BJ10: Bom Jesus, PI 2010; BJ11: Bom Jesus, PI 2011; SRM10: São Raimundo das Mangabeiras, MA 2010; SRM11: São Raimundo das Mangabeiras, MA 2011; SJ11: São João do Piauí, PI 2011; CG11: Campo Grande do Piauí, PI 2011; BU10: Buriti, MA 2010. <sup>(2)</sup>Testemunha.

**Tabela 13.** Produtividade média, escores dos genótipos (G<sub>1</sub>-G<sub>20</sub>), ambientes (A<sub>1</sub>-A<sub>9</sub>), genótipo suplementar (G<sub>S</sub>), ambiente suplementar (A<sub>S</sub>), e as distâncias quadráticas (d<sup>2</sup>is) entre cada genótipo e ambiente avaliado quando projetada sobre o *biplot* AMMI1.

Genótipo/Ambiente	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	Escore CPI1	d <sup>2</sup> is AMMI1
G1 – MNC01-649F-1-3	1.045,75	-5,62	111,94
G2 – MNC01-649F-2-1	1.033,72	-6,72	136,42
G3 – MNC01-649F-2-11	980,00	-5,70	113,64
G4 – MNC02-675F-5	984,41	-8,21	173,45
G5 – MNC02-675F-9-5	1.029,55	-9,51	209,38
G6 – MNC02-676F-1	1.060,46	-4,47	88,92
G7 – MNC02-677F-2	925,86	7,86	8,41
G8 – MNC02-677F-5	992,25	17,40	154,75
G9 – MNC02-680F-12	939,39	0,71	18,06
G10 – MNC02-689F-2-8	968,14	-1,11	36,84
G11 – MNC02-701F-2	1.167,54	17,60	159,77
G12 – MNC03-736F-2	986,36	3,95	1,02
G13 – MNC03-736F-6	985,24	0,80	17,31
G14 – MNC03-761F-1	985,51	-1,39	40,32
G15 – Pingo de ouro-1-2 <sup>(2)</sup>	1.106,03	1,71	10,56
G16 – BRS Xiquexique <sup>(2)</sup>	1.187,09	-1,27	38,81
G17 – BRS Juruá <sup>(2)</sup>	684,92	-15,62	423,54
G18 – BRS Aracê <sup>(2)</sup>	958,38	-7,60	157,75
G19 – BR 17-Gurguéia <sup>(2)</sup>	995,66	3,13	3,35
G20 - BRS Marataoã <sup>(2)</sup>	1.032,26	14,05	82,63
A1 – Balsas 2010	1.657,38	11,53	4,80
A2 – Balsas 2011	1.976,72	9,63	0,08
A3 – Bom Jesus 2010	636,39	-13,15	505,80
A4 – Bom Jesus 2011	859,69	-5,80	229,22
A5 – S.R.das Mangabeiras 2010	767,41	-20,42	885,66
A6 – S.R.das Mangabeiras 2011	1.113,26	25,08	247,75
A7 – São João do Piauí 2011	813,03	-3,17	156,50
A8 – Campo Grande do Piauí 2011	354,46	-1,67	121,22
A9 – Buriti 2010	843,50	-2,02	129,05
GS - Genótipo Suplementar	1.343,40	4,96	---
AS - Ambiente Suplementar	1.992,00	9,34	---

## 5. CONCLUSÕES

O efeito de ambientes é mais importante do que o efeito da interação genótipos x ambientes, e este, mais importante do que o efeito de genótipos.

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

O local Balsas-MA é o mais adequado para a seleção de genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade.

Não houve concordância entre o procedimento AMMI tradicional e o AMMI com genótipo e ambiente suplementares.

A interpretação gráfica em *biplot* com a inclusão do genótipo e ambiente suplementares na análise AMMI, permitiu identificar com mais precisão, genótipos superiores em adaptabilidade e estabilidade e ambientes mais adequados para a seleção simultânea desses dois atributos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. B.; TORRES, F. E.; SAGRILO, E.; QUEIROZ, L. S.; MORAES, S. C. F. C.; DAMASCENO, J. E.; BERTONCELLO, V.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto em Mato Grosso do Sul. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

ADEWALE, B. D; OKONJI, C.; OYEKANMI, A. A.; AKINTOBI, D. A. C.; AREMU, C. O. Genotype variability and stability of some grain yield components of cowpea. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5 p.874-880, 2010.

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 & Environmental Science**. v. 2, p. 163-168, 2007a.

AKANDE, S. R. Biplot analysis of genotype by environment interaction of cowpea grain yield in the forest and southern guinea savanna agro-ecologies of Nigeria. **Journal of Food, Agricultural & Environmental Science**, v. 5, p.464-467, 2007b.

AKANDE, S. R.; BALOGUN, M. O. Multi-location evaluation of cowpea grain yield and other reproductive characters in the forest and southern guinea savanna agro-ecologies of Nigeria. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 8, n. 7, p.526-533, 2009.

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

ALVES, J. F.; SANTOS, J. H. R. dos; PAIVA, J. B.; OLIVEIRA, F. J. de; TEÓFILO, E. M. Estabilidade fenotípica e adaptação de cultivares de feijão-de-corda, *Vigna sinensis* (L.) Savi., **Ciência Agronômica**, v.13, n.1/2, p.53-59, 1982.

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

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; V. Q. RIBEIRO; RAMOS, S. R. R. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de vagem roxa e grãos brancos para feijão-verde. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

ALI, Y.; ASLAM, Z.; HUSSAIN, F.; SHAKUR, A. Genotype and environmental interaction in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) for yield and disease resistance. **International Journal of Environmental Science & Technology**, v. 1, n. 2 p. 119- 123, 2004.

ANNICCHIARICO, P. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment

interactions for cereals in Italy. **Euphytica**, v. 94, p. 53-62, 1997.

AREMU C. O.; ARIYO O. J.; ADEWALE B. D. Assessment of selection techniques in genotype x environment interaction in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) walp). **African Journal of Agricultural Research**, v. 2, p.352-355, 2007.

AREMU C. O.; ADEBAYO, M. A.; ADENJI, O. T. Seasonal performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) in humid tropics using GGE biplot analysis. **World Journal of Biological Research**, v. 1, p.8-13, 2008.

ASIO, M. T.; OSIRU, D. S. O.; ADIPALA, E. Multilocation evaluation of selected local and improved cowpea lines in Uganda. **African Crop Science Journal**, v. 13, n. 4 p.239-247, 2005.

ASIWE, J. A. N.; AJEIGBE, H. Field evaluation of IITA improved cowpea (*Vigna unguiculata* L.) lines for yield potential and stability in different environments and locations. In: World cowpea research conference, 5, 2010, Senegal: **Resumo...** Senegal, p. 67-68. Disponível em: <[http://cowpea2010.iita.org/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a93584d3-2226-4ff6-8e4b-920309df0b77&groupId=19070](http://cowpea2010.iita.org/c/document_library/get_file?uuid=a93584d3-2226-4ff6-8e4b-920309df0b77&groupId=19070)>. Acesso em abril de 2012.

BARRACLOUGH, G. **Atlas da história do Mundo da Folha de São Paulo/Times**. 4. Ed. rev. São Paulo: Folha da manhã, 1995. p. 154-157.

BECKER, H. C. Correlations among some statistical measure of phenotypic stability. **Euphytica**, v. 30, p. 835-840, 1981.

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

BENVINDO, R. N.; SILVA, JOSÉ A. L.; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, ANTONIO L. G.; OLIVEIRA, JOSÉ T. S.; BEZERRA, A. A. C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n.1, p. 23-28, 2010.

BEZERRA, A. A. de C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna Unguiculata* (L) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto**. 1997. 105 p. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

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

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

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 47, p. 89-102, 2000.

BRASIL, E. M. **Comparação de métodos no estudo da interação de genótipos com**

**ambientes em milho (*Zea mays* L.).** 1990. 181 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiânia - UFG, Goiânia.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 mar. 2008. Seção 1, p. 11-14.

BRIAN, C. Interprétation statistique des essais deux voies: décomposition factorielle des résidus et étude de la structure des interactions. **Annales a'Amwlioration des plantes**, v. 28, p. 395-409, 1978.

CARBONELL, S. A. M.; AZEVEDO FILHO J. A. A.; DIAS L. A. S.; GARCIA A. A. F.; MORAIS L.K. Common bean cultivars and lines interactions with environments. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 2, p. 169-177, 2004.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento.** 1998. 155 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, H. W. L. de; BRITO NETO, J.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M., RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, A. R. dos S.; RIBEIRO, S. S. Estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006a.

CARVALHO, H. W. L. de; BRITO NETO, J.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, A. R. dos S.; RIBEIRO, S. S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de porte ereto de feijão-caupi no biênio 2004-2005. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio- Norte, 2006b.

CARVALHO, H. W. L. de; BRITO NETO, J.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M., RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, A. R. dos S.; RIBEIRO, S. S.; NOGUEIRA, L. C. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte prostrado em Sergipe e Alagoas. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte, 2006c.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas.** Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 675-712.

CHAVES, L. J.; DUARTE, J. B. Uso do gráfico Biplot AMMI com representação de genótipo suplementar para recomendação de cultivares em soja. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 1.; 2004. Goiânia. **Anais...** (CD), Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2004.

COCHRAN, W. G.; COX, G. **Experimental designs.** 2.ed, John Wiley; Sons, 1957. 611 p.

CORREIA, A. M.; CECCON, G.; OLIVEIRA, L. V. A.; ROCHA, M. M. de. Avaliação de genótipos de porte prostrado e semiprostrado em Aquidauana, MS. In: CONAC -

CONGRESSO NACIONAL DE EIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

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, n. 1-2, p. 161-172, 1992.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 390 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, v. 2, 2006.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa, MG: Editora UFV. 2006. 382p.

DAMASCENO-SILVA, K. J. D. **Estatística da produção de feijão-caupi**. Grupo cultivar. 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/estatistica.pdf>>. Acesso em março de 2011.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Correlation among yield stability parameters in common bean. **Crop Science**, v. 35, n. 3, p. 905-912, 1995.

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

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

EGBE, O. M.; ALIBO, S. E.; NWUEZE, I. Evaluation of some extra-early- and early-maturing cowpea varieties for intercropping with maize in southern Guinea Savanna of Nigeria. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 1, n. 5, p.845-858, 2010.

EHLERS, J. D.; FOSTER, K. W. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Field Crops Research**, v. 53, p. 187-204, 1997.

FAO. **FAOSTAT**. Crops. Cowpeas, dry. 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em 10 de março de 2011.

FEIJÃO, oferta e demandas brasileiras. In: **AGRIANUAL 2009**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2009. p. 317.

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

FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SOUZA, N. A.; CHAGAS, M. C. M. Adaptabilidade ambiental e incidência de viroses em cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 33-37, 1993.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3.ed. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas - EDUFAL, 2000. 422 p.

FERREIRA, P. V. **Melhoramento de Plantas: estimacão de parâmetros genéticos**. 1. ed. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas - EDUFAL, 2006. v. 3. 90 p.

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

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, p.742-754, 1963.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de caupi de porte enramador. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4., 1996, Teresina. **Resumos...** Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1996. p. 97-98. (EMBRAPA-CPAMN. Documentos, 18), 1996.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. F. Melhoramento genético de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) na região Nordeste. In: **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos de genótipos de caupi de porte semi-ereto. **Revista Científica Rural**, v. 6, n. 2, p. 31-39, 2001.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte enramador. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 49, n. 234, p. 383-393, 2002.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; LOPES, Â. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi prostrado utilizando o modelo AMMI. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2003, Porto Seguro. Melhoramento e qualidade de vida. **Anais...** Porto Seguro: SBMP, 2003a. p.1-6.

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

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

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, n. 1, p. 24-30,

2005b.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; NOGUEIRA, M. do S. da R. Feijão-caupi: melhoramento genético, resultados e perspectivas. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2009, Fortaleza. O melhoramento genético no contexto atual: **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: SBMP - Regional Ceará, 2009. p. 25-59.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011a. 21 p. 1 CD-ROM.

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

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

GABRIEL, K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**. v. 58, p. 453-467, 1971.

GAUCH, H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics**, v. 44, p. 705-715, 1988.

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs**. Amsterdam: Elsevier, 1992. 172 p.

GAUCH, H. G; ZOBEL, R. W. AMMI Analysis of yield trials. In: KANG, M. S. GAUCH, H. G. Genotype-by-environment interaction. Florida: **CRC Boca Raton**, 1996. p. 85-122.

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

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; PERINA, E. F.; CARBONELL, S. A. M. Estabilidade fenotípica em feijoeiro estimado por análise AMMI com genótipo suplementar. **Bragantia**, v. 68, p. 863-871, 2009.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; MORAIS, L. K.; PERINA, E. F.; FARIAS, F. L.; CARBONELL, S. A. M. Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n.4, p. 922-931, 2010.

HARTLEY, H. O. The use of range in analysis of variance. **Biometrika**, v. 37, p. 271-280, 1950.

HETZEL, S. Com preço alto, área do feijão deve crescer. In: **AGRIANUAL 2009**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2009. p. 312-313.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em dezembro de 2011.

IBGE. **Mapa de solos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>>. Acesso em janeiro de 2012.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) - 1997-2006**.

ISHIYAKU, M. F.; ALIYU, H.; ZARIA, A. A. Multi-environment evaluation of some elite lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in North West Nigeria. In: WORLD COWPEA RESEARCH CONFERENCE, 5, 2010, Senegal: **Resumos...** Senegal, p. 31.

KEMPTON, R. A. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. **The Journal of Agricultural Science**, v. 103, p 123-135, 1984.

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

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem "Bootstrap" no modelo AMMI**. 2003. 166 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LIMA, J. M. P.; FERNANDES, J. B.; SOBRINHO, E. E. Comportamento de linhagens e cultivares de feijão-caupi de porte prostrado no Estado do Rio Grande do Norte. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

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

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.

LOPES, A. C. A.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. Q. B.; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. M. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 03, p. 515-520, 2001.

LOPES, A. M.; CRAVO, M. S.; SAMPAIO, L. S. Efeito da interação genótipo x ambiente no rendimento de grãos de feijão-caupi de porte ereto no estado do Pará. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006a.

LOPES, E. M. L.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMES, R. L. F.; MATOS FILHO, C. H. A. Caracterização morfo-agronômica de cultivares locais de feijão-caupi do grupo Canapu. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006b. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

MACHADO, C. F.; TEIXEIRA, N. J. P., FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M. R.; GOMES R. L. F. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p.114-123, 2008.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; LAVORANTI, O. J.; DIAS, C. T. S.; VENCOSKY, R.; ROCHA, M. M.; NUNES, G. H. S. AMMI-bootstrap no estudo da interação genótipos por ambientes em soja. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 24, n. 3, p. 7-24, 2006.

MANO, A. R. O.; PINHO, J. L. N.; SILVA, F. P.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Adaptabilidade e estabilidade de produção em genótipos de feijão-caupi. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009a.

MANO, A. R. O. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão de corda**. 2009b. 152 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MARÉCHAL, R.; MASCHERPA, J. M.; STAINIER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, n. 28, p. 1-273, 1978.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C.; CABRERA DIAZ, J. L.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 715-723, 2007.

MIRANDA, P.; CORREIA, E. de B.; BRITO, P. R. F. de. Capacidade produtiva das cultivares de caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. II – Produção de grãos e estabilidade das cultivares da coleção. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 3, n.1, p.61-69, 1979a.

MIRANDA, P.; CORREIA, E. de B.; CALDAS, G. C.; REIS, O. V. dos; FARIAS, I.; PEREIRA, J. T. Capacidade produtiva das cultivares de caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. I – Produção de grãos secos e vagem verde. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 3, n.1, p.51-59, 1979b.

MIRANDA, P.; COSTA, A. F. da; OLIVEIRA, L. R.; TAVARES, J. A.; PIMENTEL, M. L.; LINS, G. M. L. Comportamento de cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., nos sistemas solteiros e consorciados. I Tipo ramador. **Ciência Agronômica**. v. 23, n.1/2, p.9-19, 1992.

MORA, A. L. **Interação com espaçamentos e locais em clones de Eucalyptus spp no norte do Estado da Bahia**. 1986. 101f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – ESALQ/USP, Piracicaba.

MORAKINYO, J. A.; AJIBADE, S. R. Effect of seasons and genotype x season interaction of vegetative and yield parameters of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Nigerian Journal of Science**, v. 32, p. 21-25, 1998.

MORELLO, C. L.; DUARTE, J. B.; SILVA FILHO, J. L.; SUASSUNA, N. D. Interação genótipo x ambiente em linhagens de algodoeiro desenvolvidas para condições de cerrado.

**Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, v. 12, p. 89-95, 2008.

MORI, E. S.; DOS SANTOS, P. E. T. 1989. **Programa Cooperativo Interação Genótipos × Ambientes**. IPEF Série Técnica, Piracicaba v. 6, n. 21: 1-33 p. (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Biblioteca, ESALQ/USP, Piracicaba.

NAMORATO, H.; MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; OLIVEIRA, L. R.; DELIMA, R. O.; MANTOVANI, E. E. Comparing biplot multivariate analyses with Eberhart and Russel method for genotype x environment interaction. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 299-307, 2009.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

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

NJOKU, D. N.; MUONEKE, C. O. Effect of cowpea planting density on growth, yield and productivity of component crops in cowpea/cassava intercropping system. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 106-113, 2008.

NTARE, B. R.; AKEN'OVA, M. Yield stability in segregating populations of cowpea. **Crop Science**, v. 5, p.208-211, 1985.

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. 106 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – 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.

OLADEJO, A. S.; AKINWALE, R. O.; OBISESAN, I. O. Interrelationships between grain yield and other physiological traits of cowpea cultivars. **African Crop Science Journal**, v. 19, p. 189-200, 2011.

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

OLIVEIRA, A. B.; CIA, E.; CUNHA, H. F.; ALMEIDA, W. P.; FUZZATO, M. G.; KONDO, J. I.; SABINO, N. P.; RUANO, O.; COUTO, M. A. Interação de genótipos com ambientes em produtividade do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...** 2005.

OLIVEIRA, J. T. S. **Seleção de genótipos tradicionais e melhorados de feijão-caupi adaptados a região semi-árida piauiense**. 2008. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

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

PADI, F. K. Relationship between stress tolerance and grain yield stability in cowpea. **Journal of Agricultural Science**, v. 142, p.431–443, 2004.

PADI, F. K. Genotype x environment interaction and yield stability in a cowpea-based cropping system. **Euphytica**, v. 158, p. 11-25, 2007.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12. Trabalhos selecionados do Second World Cowpea Research Conference, 1995, Accra, Ghana.

PIEPHO, H. P. Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 89, p. 647-654. 1994.

PIEPHO, H. P. Robustness of statistical test for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trial. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 90, n. 3-4, p. 438-443, 1995.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14<sup>a</sup> ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477p.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, v. 6, p. 381-385, 1959.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4<sup>a</sup> Edição. Ed. UFLA, Lavras. 2008. 359 p.

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

ROBERTSON, A. Experimental design in the evaluation of genetic parameters. **Biometrics**, v. 15, p. 219-226, 1959.

ROCHA, M. M. **Interação genótipos x locais em linhagens experimentais de soja com diferentes ciclos de maturação**. Piracicaba, 1998. 98 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. Piracicaba, 2002. 184 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROCHA, M. M. CAMPELO, J. E. G.; FREIRE FILHO, F. R. RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. C. A. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi de tegumento branco. **Revista Científica Rural**, v. 8, n. 1, p. 135-141, 2003.

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

ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; FREIRE FILHO, F. R.; CÂMARA, J. A. S.; RIBEIRO V. Q.; OLIVEIRA, J. A. (2008). **Purificação genética e seleção de genótipos de feijão-caupi para a região semi-árida piauiense**. Embrapa Meio-Norte, Teresina. 28p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 84).

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F. da; SILVA, R. G.; PINHO, J. L. N.; ALCÂNTARA, J. P. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado na região Nordeste do Brasil. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009a.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. M.; VILARINHO, A. A.; GONÇALVES, J. R. P.; CAVALCANTE, E. S.; VIERA JÚNIOR, J. R. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte ereto na região Norte do Brasil. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009b.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. M.; VILARINHO, A. A.; GONÇALVES, J. R. P.; CAVALCANTE, E. S.; VIERA JÚNIOR, J. R. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado na região Norte do Brasil. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009c.

ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; BARROS, F. R.; RODRIGUES, E. V. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi ao Semiárido Piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, 2011, Búzios. **Resumos...** Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011a. 4 p. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, K. J. D.; 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**. Embrapa Meio-Norte, Teresina. 2011. (Embrapa

Meio-Norte). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2011b.

RODRIGUES, E. V.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; V. Q. RIBEIRO; ASSUNÇÃO FILHO, J. R. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi para produção de feijão-verde em Teresina-PI. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

SAMPAIO, L. S.; CRAVO, M.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q. Avaliação de linhagens de feijão-caupi em Igarapé Açu-PA. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. Produtividade e morfologia de genótipos de caupi em diferentes densidades populacionais nos sistema irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1977- 1984, 2000a.

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

SANTOS, C. A. F.; BARROS, G. A. A.; SANTOS, I. C. CN; FERRAZ, M. G. S. Comportamento agrônomico e qualidade culinária de feijão-caupi no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, pp. 404-408, 2008.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, C. H.; SANTOS, M. C. C.A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião cariri paraibano. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 214-222, 2009a.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L. M. P.; OLIVEIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. E. C. Novas variedades de caupi para a microrregião do Brejo Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 3, n. 3, p. 07-12, 2009b.

SARVAMANGALA, C.; UMA, M. S.; BIRADAR, S.; SALIMATH, P. M. Stability analysis for yield and yield components over seasons in cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 1392-1395, 2010.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT** software: changes and enhancements through. Cary, 2002. 1116 p. Release 6.12.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SHIRINGANI, R. P. **Effects of planting date and location on phenology, yield and yield components among selected cowpea varieties**. 2007. 73 p. Dissertation (Msc/Agriculture) - Faculty of Science and Agriculture University of Limpopo, School of agricultural and environmental Sciences, South Africa.

SHIRINGANI, R. P.; SHIMELIS, H. Yield response and stability among cowpea genotypes at three planting dates and test environments. **African Journal of Agricultural Research**, v.

6, p. 3259-3263, 2011.

SILVA, G. A. P. **Estabilidade fenotípica do feijoeiro em ensaios regionais de produtividade**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.

SILVA, J. G. C.; BARRETO, J. N. Aplicação da regressão linear segmentada em estudos de interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1, 1985, Campinas. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 49-50.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 702-713, 2011a.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, p. 29-36, 2011b.

SILVA, M. A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 109-117, 2008.

SMARTT, J. **Grain legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 333 p, 1990.

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

SINGH, I.; BADAYA S. N.; TIKKA, S. B. S. Combining ability for yield over environments in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Indian Journal Crop Science**, v. 1, p. 205-206, 2006.

SINGH, B. B. Recent progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 752, p. 69-76, 2007. Edition of the Proceedings of the International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes, Hyderabad, India, Sep. 2007. Disponível em: <[http://www.actahort.org/books/752/752\\_7.htm](http://www.actahort.org/books/752/752_7.htm)>. Acesso em fevereiro de 2012.

SING, B. B. Genética e melhoramento do feijão-caupi – Uma perspectiva histórica. In: IV Reunião de Biofortificação no Brasil, 2011, Teresina. **Resumos...** Teresina: IV Reunião de Biofortificação no Brasil, 2011.

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

TAI, G. C. C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, v. 11, p. 184-190, 1971.

TEIXEIRA, N. J. P.; MACHADO, C. de F.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. DE

M.; GOMES, R. L. F. Produção, componentes de produção e suas inter-relações em genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.]. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

TORRES, R. A. A. **Estudo do controle genético da estabilidade fenotípica de cultivares de milho** (*Zea mays* L.). 1988. 133 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) - ESALQ/USP, Piracicaba.

TORRES, F. E. et al. Estimativas de parâmetros genéticos em linhagens de porte prostrado avaliadas em Aquidauana, MS. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006, Teresina. **Anais eletrônicos...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/congressos/conac2006>>. Acesso em abril de 2012.

TORRES FILHO, J; BEZERRA NETO, F; HOLANDA, J. S. de; TORRES, J. F. Adaptabilidade ambiental e estabilidade produtiva de quinze cultivares de caupi na Serra do Mel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 5, p. 485-490, 1987.

VALADARES, R. N.; MOURA, M. C. C. L.; SILVA, A. F. A.; SILVA, L. S.; VASCONCELOS, M. C. C. A.; SILVA, R. G. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de porte ereto/semi-ereto nas mesorregiões leste e sul maranhense. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 7, n. 2, p.21-27, 2011.

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

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VERDCOURT, B. **Studies in the leguminosae: papilionoideae** for the 'Flora of tropical East Africa. Kew Bulletin, London, v. 24, p. 507-569, 1970.

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

VILARINHO, A. A.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; VILARINHO, L. B. O. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto em Roraima: safras 2004 e 2005. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer, **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, v. 52, p. 127-138. 1965.

WU, R. L.; MALLEY, D. M. O. Nonlinear genotypic response to macro and microenvironments. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 96, n. 5, p.669-675, 1998.

YAN, W. GGEbiplot - a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal**, v. 93, p.1111-1118, 2001.

YATES, F. S.; COCHRAN, W. G. The analysis of groups of experiments. **Journal of Agricultural Science**, v. 28, p.556-580, 1938.

YOUSAF, A.; SARWAR, G. Genotypic x Environmental Interaction of Cowpea Genotypes. **International Journal of Environmental Research**, v. 2, n. 2, p-125-132, 2008.

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

## APÊNDICES

**APÊNDICE A** – Detalhe de algumas etapas de condução dos experimentos de campo nos ambientes de estudo na Região Meio-Norte do Brasil.



Plantio em Balsas, MA 2011



Plantio em S. R. das Mangabeiras, MA 2011



Aplicação de herbicida em Bom Jesus, PI 2011



Ensaio em Bom Jesus, PI 2011



Ensaio em S. R. das Mangabeiras, MA 2011



Coleta de vagens em Balsas, MA 2011

**APÊNDICE B** – Detalhe de algumas etapas na avaliação da produção e seus componentes no setor de caupi da Embrapa Meio-Norte.



Medição do comprimento de vagens



Pesagem de vagens



Separação dos grãos



Contagem dos grãos



Pesagem dos grãos



Anotação dos dados