

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**ANA RAQUEL DE OLIVEIRA MANO**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE  
CULTIVARES DE FEIJÃO-DE-CORDA**

**FORTALEZA  
2009**

ANA RAQUEL DE OLIVEIRA MANO

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE  
CULTIVARES DE FEIJÃO-DE-CORDA

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Fitotecnia. Área de Concentração: Melhoramento Vegetal. Orientador: Prof. Ph D Fanuel Pereira da Silva.

FORTALEZA  
2009

M247 Mano, Ana Raquel de Oliveira  
Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão-de-  
corda / Ana Raquel de Oliveira Mano, 2009.  
145 f. ; il. color. enc.

Orientador: Prof. Ph. D Fanuel Pereira da Silva  
Co-orientador: Prof. Dr. João Licínio Nunes de Pinho  
Área de concentração: Melhoramento Vegetal  
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de  
Ciências Agrárias. Depto. de Fitotecnia, Fortaleza, 2009.

1. Interação genótipo x ambiente. 2. AMMI. 3. Produtividade. 4.  
Estabilidade. I. Silva, Fanuel Pereira da (orient.). II. Pinho, João  
Licínio Nunes de (co-orient.). III. Universidade Federal do Ceará –  
Pós - graduação em Agronomia/Fitotecnia. IV. Título.

CDD 632

ANA RAQUEL DE OLIVEIRA MANO

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE  
CULTIVARES DE FEIJÃO-DE-CORDA

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Fitotecnia. Área de Concentração: Melhoramento Vegetal. Orientador: Prof. Ph D Fanuel Pereira da Silva.

Aprovada em: 18/08/2009

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Fanuel Pereira da Silva, Ph.D (Orientado)  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. João Licínio Nunes de Pinho, D. Sc. (Co-orientado)  
Instituto Centec

---

Eng<sup>o</sup>. Agr. Maurisrael Moura da Rocha (Conselheiro)  
Embrapa Meio Norte

---

Prof. Cândida Erminia Campos de Magalhães Bertini (Conselheira)  
Universidade Federal do Ceará

---

Eng<sup>o</sup>. Agr. José Jaime Vasconcelos Cavalcante Ph. D. (Conselheiro)  
Embrapa Agroindústria Tropical

FORTALEZA  
2009

*Aos meus pais e  
ao meu marido Sebastião Júnior.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade e privilégio de ter me permitido chegar até aqui, e se for da vontade Dele ir mais longe.

Ao Prof. Ph D Fanuel Pereira da Silva, por me ter acolhido como sua orientanda, pela confiança, ensinamentos, paciência e amizade.

Ao Prof. D. Sc. João Licínio Nunes de Pinho, pela orientação, incentivos e amizade no decorrer do trabalho.

Ao pesquisador D. Sc. Francisco Rodrigues Freire Filho, pelos ensinamentos.

Ao pesquisador D. Sc. Maurisrael Moura da Rocha, pela participação na banca, orientações e presteza.

Ao pesquisador Ph D. José Jaime Vasconcelos Cavalcante pela participação na banca.

A Professora D. Sc. Cândida Hermínia Campos Magalhães Bertini, por sua confiança, incentivo e orientação.

À coordenação do Programa de Pós-graduação em Agronomia Área de Concentração Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, a CAPES que tornou possível a realização deste trabalho por meio da concessão da bolsa de estudos, Centec (Centro de Educação Tecnológica do Ceará) pelo apoio logístico e a Embrapa Meio-Norte por ter disponibilizado as sementes das cultivares utilizadas, bem como apoio dos seus profissionais envolvidos neste trabalho.

A equipe técnica da UEPE (Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão) do IFCE (Instituto Federal do Ceará) de Limoeiro do Norte, Maria da Conceição Holanda Nunes, Enilson, Rosana e demais funcionários. A equipe técnica da UEPE (Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão) do Centec de Barreira, José Inácio Lino de Almeida e José Fernandes de Almeida.

Um obrigada especial ao técnico agrícola da Ematerce de Crateús Edmundo Ferreira Rodrigues, pela valiosa ajuda durante a execução dos trabalhos. Ao vereador Sr. Francisco Adairton Ribeiro de Carvalho pela disponibilidade de sua propriedade, a fazenda Tapera, para instalação dos ensaios. E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Com um carinho todo especial ao meu marido, Sebastião de Assis Mano Júnior, aos meus pais (Raimundo Lauristo de Oliveira e Raimunda Inês de Oliveira), irmãos (Velma, Júnior e César), minha tia Lenira e meu amigo Vicente, pelo constante incentivo e ajuda.

A minha amiga, Andrea Alves, de hoje e sempre, por todos os momentos que passamos juntas.

Aos amigos do Laboratório de Análises de Sementes da UFC: Elizita, Tiago, Magno, Diego, Hayna, Nayara, Rodrigo, Wener, Wendiney, Paulinha, Batista, Elane, pela ajuda profissional constante e pelos inesquecíveis momentos de descontração.

*"Não importa tanto o tema da tese quanto a  
experiência de trabalho que ela comporta."*

(Umberto Eco)

## RESUMO

O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), é uma espécie cultivada de grande importância para a alimentação das populações rurais e urbanas das regiões tropicais e subtropicais do mundo. A produtividade dessa espécie varia muito, em virtude, principalmente, das variações climáticas e da utilização de materiais genéticos pouco produtivos ou com características indesejáveis. A produtividade de grãos é influenciada por efeitos genotípicos (G), efeitos ambientais (E) e das interações genótipo x ambiente (G x E), que levam ao comportamento diferencial dos genótipos nos diversos ambientes. A interação G x E pode ser caracterizada por estudos sobre adaptabilidade e estabilidade fenotípica por meio de diversas técnicas. Com base nisso, esta pesquisa objetivou verificar a magnitude da interação G x E, e a sua consequência na adaptabilidade e a estabilidade fenotípica da produtividade de grãos de quinze cultivares de feijão-de-corda, por meio de quatro metodologias (Eberhart e Russell, Cruz, Torres e Vencovsky, Lin e Binns e AMMI ou “Additive Main effects and Multiplicative Interaction”). Os experimentos foram conduzidos em cinco municípios (Alto Santo, Barreira, Crateús, Itapipoca e Limoeiro do Norte) do estado do Ceará, em cultivo de sequeiro nos anos 2006 e 2007. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com 15 tratamentos e quatro repetições. A parcela experimental teve dimensões de 3,0 m x 5,0 m, com quatro fileiras, espaçadas de 0,75 m entre, e 0,25 m dentro das fileiras. As duas fileiras centrais corresponderam à área útil. O desbaste foi feito aos 15 dias após plantio deixando-se em média duas plantas por cova. Os ambientes corresponderam à combinação de ano e local totalizando dez ambientes, dos quais foram utilizados oito para as análises estatísticas. O efeito de ambientes foi mais importante do que o efeito da interação genótipos x ambientes (G x E), e este mais importante do que o efeito de genótipos. A magnitude da interação G x E para a produtividade de grãos foi alta, indicando que este é um caractere instável. A regressão linear de Eberhart e Russell não classificou nenhum dos genótipos testados como de adaptação geral, nem estável nos ambientes avaliados. A regressão bissegmentada de Cruz, Torres e Vencovsky caracterizou os genótipos quanto à adaptabilidade em condições específicas de ambientes favoráveis, desfavoráveis ou de adaptação geral, mas todos instáveis. O método de Lin e Binns classificou simultaneamente os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade com apenas um parâmetro, ordenando os genótipos em sequência decrescente. O método AMMI possibilitou a explicação da maior parte interação G x E nos dois primeiros CPIs. Esse método classificou os genótipos e ambientes quanto a estabilidade de forma precisa em dois *biplots*. A correlação de Spearman indicou que alguns parâmetros das diferentes metodologias utilizadas estão diretamente associados não devendo ser utilizados simultaneamente, enquanto outros não associados podem ser usados em complementaridade. Os genótipos que reuniram mais adaptabilidade com estabilidade para produtividade de grãos foram: Inhuma, BR 17 – Gurguéia, BRS-Marataoã, Sempre Verde-CE, BRS-Paraguaçu e BRS-Rouxinol, pela combinação de vários parâmetros.

**Palavras-chave:** Interação genótipo x ambiente; AMMI; Produtividade; Estabilidade.



## ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), is very important crop for feeding the rural and urban populations of the tropical and subtropical areas of the world. The yield of that crop varies, mainly, because climate variations and of the use of low yield genetic materials with undesirable characteristics. Grains yield is influenced by the effects of environments (E), genotypes (G) and G × E interaction that into account the variability of the genotypes in the several environments. The interaction G x E can be characterized by studying the adaptability and stability phenotypic using several techniques. This research aimed to verify the magnitude of the interaction G x E, their effects or the adaptability and the phenotypic stability of the productivity of grains of fifteen cultivate of cowpea. Four methodologies were used for this study (Eberhart and Russel, Cruz, Torres and Vencovsky, Lin and Binns and AMMI or "Additive Main effect and Multiplicative Interaction "). The experiments were carried out in five countries ("Alto Santo, Barreira, Crateús, Itapipoca and Limoeiro do Norte") of the state of "Ceará", Brasil, under rainfall conditions during the years of 2006 and 2007. A complete randomized design with 15 treatments and four replication were used. Each experimental unit were 3,0 m x 5,0 m, with four rows spaced by 0,75 m containing 20 plants 0,25 m apart. The two central rows were harvested for futher analysis. The extra plants in each experimental unit were thinning 15 days after sowing, leaving two plants per rows. The Eberhart and Russell linear regression did not classified the cultivars tested for general adaptation and stability; it means that all cultivars were considered unstable by this methodology. The bissegmented regression methodology proposed by Cruz, Torres and Vencovsky allowed to classify the cultivars as adaptable for favorable, unfavorable environment and for general adaptation, but all of than were considered unstable. The method of Lin and Binns classified the cultivars simultaneously for adaptability and stability with just a parameter in decreased order of sequence. The AMMI method made possible the explain most of the G x E interaction in the first two IPCA. This method classified the cultivars and environment in relation to the stability in two biplots in a pricise way. The f Spearman's correlation indicated that some parameters used by the methodologies mentioned were associated and so they can not be used simultaneously. On the other hand, the one that were not associated be used as a complementarity. The list genotypes that showed highest adaptability and stability for grain yield were "Inhuma, BR 17 – Gurguéia, BRS-Marataoã, Sempre Verde-CE, BRS-Paraguaçu e BRS-Rouxinol" because they combined both parameters.

**Keywords:** Genotype by environments interaction; AMMI; Yield; Stability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1** - Linhas de regressão dos dois genótipos mais produtivos (Inhuma e BRS-Marataoã), da testemunha Epace 10 e do genótipo menos produtivo (Aparecido-UFC), sequencialmente, avaliadas em oito ambientes para produtividade de grãos, estimadas pelo método de Eberhart e Russell (1966).....81
- FIGURA 2** - *Biplot* AMMI1: produtividade de grãos (kg/ha) x primeiro componente principal da interação (CPI1), MT: média das testemunhas.....95
- FIGURA 3** - *Biplot* AMMI2: primeiro componente principal da interação (CPI1) x segundo componente principal da interação (CPI2).....100

## LISTA DE TABELAS

- 1** - Resumo da análise de variância individual, referente à produtividade de grãos (kg/ha), para feijão-de-corda nos ambientes em estudo no dos anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.....66
- 2** - Resumo da análise de variância conjunta nos dois anos agrícolas (2006/2007), referente à produtividade de grãos (kg/ha), nos ambientes em estudo. Ceará, 2006/07..... 69
- 3** - Resumo da análise de variância conjunta geral referente à produtividade de grãos (kg/ha), para feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007..... 71
- 4** - Médias de produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda avaliados nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.....73
- 5** - Teste de Dunnett, % da média de PG de cada genótipo individual sobre a média geral de PG dos genótipos (% PGI) e da testemunha (% PGt), dos genótipos de feijão-de-corda avaliados nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.....75
- 6** - Resumo da análise de variância conjunta geral referente à produtividade de grãos (kg/ha), para feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Eberhart e Russell. Ceará, 2006/2007..... 76
- 7** - Médias gerais e parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Eberhart e Russell. Ceará, 2006/2007.....79

<b>8</b> - Médias gerais e índices ambientais referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Eberhart e Russell. Ceará, 2006/2007.....	82
<b>9</b> - Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky. Ceará, 2006/2007.....	84
<b>10</b> - Médias gerais e nos ambientes favoráveis e desfavoráveis, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky. Ceará, 2006/2007.....	87
<b>11</b> - Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Lin e Binns. Ceará, 2006/2007.....	89
<b>12</b> - Estimativas dos parâmetros Pi gerais, favoráveis e desfavoráveis com suas respectivas classificações genotípicas, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Lin e Binns. Ceará, 2006/2007.....	90
<b>13</b> - Médias gerais, máximas, mínimas e índices ambientais, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Lin e Binns. Ceará, 2006/2007.....	91
<b>14</b> - Resumo da análise de variância, referente à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia AMMI. Ceará, 2006/2007.....	93

<b>15</b> - Médias e interações preditas pelo modelo AMMI2 ( $A_i\%$ ) para genótipos, ambientes e locais, referentes ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia AMMI. Ceará, 2006/2007.....	97
<b>16</b> - Classificações genóticas segundo diversas metodologias utilizadas na caracterização da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.....	102
<b>17</b> - Coeficientes de correlação de Spearman entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelos métodos de Eberhart e Russell, de Cruz, Torres e Vencovsky, Lin e Binns e AMMI, referentes ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.....	105

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
2.1 Feijão-de-corda.....	19
2.1.1 Feijão-de-corda no Brasil.....	22
2.2 Melhoramento de Feijão-de-corda.....	24
2.3 Interação Genótipo x Ambiente.....	27
2.3.1 Interação de genótipo com ambientes em feijão-de-corda.....	31
2.4 Adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	33
2.4.1 Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijão-de-corda.....	43
2.4.2 Comparação entre metodologias que avaliam a adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	46
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	50
3.1 Material genético.....	50
3.2 Ambientes de condução dos experimentos.....	50
3.3 Procedimentos experimentais.....	51
3.4 Caracteres avaliados.....	52
3.5 Análises estatísticas.....	52
3.5.1 Análises de variâncias.....	53
3.5.1.1 Análises individuais.....	53
3.5.1.2 Análises conjuntas.....	54
3.5.2 Análises das médias.....	55
3.5.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	56
3.5.4 Análise de correlações.....	65
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	63
4.1 Análises de variância individuais e conjuntas.....	66
4.2 Análises de médias.....	72
4.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	75
4.3.1 Método de Eberhart e Russell.....	76
4.3.2 Método de Cruz, Torres e Vencovsky.....	83
4.3.3 Método de Lin e Binns.....	88
4.3.4 Método AMMI.....	92
4.4 Comparações entre os diferentes métodos utilizados.....	102

4.5 Análise de correlações.....	105
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	110
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	111
<b>APÊNDICES</b> .....	133
<b>ANEXOS</b> .....	142

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], também conhecido como feijão-caupi, feijão-macaça ou feijão-maçacar, é cultura de grande importância socioeconômica e uma das principais fontes de alimento para as populações rural e urbana nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. A espécie tem grande variabilidade genética que a torna versátil, sendo usada para várias finalidades e em diversos sistemas de produção. Além de uma grande plasticidade, apresenta ciclo curto, baixa exigência hídrica, rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade, pois tem uma ótima capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, adaptando-se bem a diferentes condições ambientais (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Como uma excelente fonte de proteínas (23 a 25%, em média), o feijão-de-corda apresenta todos os aminoácidos essenciais, além de carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, possuindo ainda grande quantidade de fibras dietéticas, um baixo conteúdo de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não contém colesterol (ARAÚJO, 1997). Portanto, é uma boa opção para compor programas de políticas públicas focadas na melhoria da qualidade da alimentação em áreas carentes dos meios rural e urbano.

A literatura mais recente aponta a África como centro de origem do feijão-de-corda, proposição resultante do fato de se encontrarem naquele continente não só as formas selvagens da espécie *V. unguiculata*, como também a grande maioria das espécies do gênero *Vigna*. A introdução do feijão-de-corda no continente americano se deu a partir da Europa e do oeste da África e está relacionada à colonização espanhola e ao tráfico de escravos no século XVII. Outros autores admitem que a introdução a partir do oeste da África pode ter ocorrido já no século XVI (FREIRE FILHO, 1988).

O feijão-de-corda é uma das principais espécies anuais cultivadas dos trópicos e tem sua importância socioeconômica explicada pelos mais de 11 milhões de hectares plantados em todo o mundo. Os maiores produtores e consumidores mundiais de feijão-de-corda são a Nigéria, o Níger e o Brasil (SINGH; EHLERS; SHARMA; FREIRE FILHO, 2002). Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação), atualmente os países Burkina Faso e Myanmar também são incluídos como grandes produtores mundiais de feijão-de-corda, como pode-se observar



as estimativas de produção dos maiores produtores mundiais de feijão-de-corda no Anexo A.

Cultivado no Brasil desde o início da colonização, o feijão-de-corda predomina no sertão semi-árido da região Nordeste e em pequenas áreas na Amazônia. A área colhida, a produção e a produtividade do feijão-de-corda variam muito de ano para ano (Anexo B), em virtude, principalmente, das variações climáticas. Entre 1993 e 2001, a média anual da área colhida foi de 1.355.184 ha, a produção foi de 429.375 t e a produtividade de 317 kg/ha. Com base nesses dados, estima-se que naquele período, o feijão-de-corda tenha gerado, em média por ano, 1,36 milhões de empregos, produzindo alimentos para 23,06 milhões de pessoas, tendo sua produção valorizada em US\$ 242,6 milhões (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005). No período de 2004 a 2008, de acordo com o IBGE (2004-2008), a média anual da área colhida foi de 1.319.168 ha com produção de 482.324 toneladas, gerando mais de 1 milhão de empregos e produzindo um suprimento alimentar para mais de 26 milhões de pessoas como pode-se observar no Anexo C.

O feijão-de-corda representa a maior parte do total das áreas cultivadas com feijão na região Nordeste como pode ser observado no Anexo D. No Ceará, o feijão-de-corda participa com cerca de 98% da produção total de feijão prevista para o Estado, que registrou para 2009 uma área plantada de 593.966 hectares e uma produção esperada de 322.917 toneladas, maiores que as safras de 2007 e 2008 em 8,4% e 8,0%, respectivamente. Entretanto, percebe-se que aconteceu uma redução na produção no período de 2007/2008 para 2008/2009 provavelmente devido a escassez e/ou má distribuição de chuvas e de sementes com alto potencial produtivo o que provocou reduções consideráveis como se pode constatar pelos dados do IBGE (2008) no ANEXO E.

O cultivo do feijão-de-corda com mercado restrito até pouco tempo era realizado seguindo apenas padrões tradicionais. Nos últimos anos, as áreas cultivadas cresceram bastante adquirindo uma maior expressão econômica. A espécie é cultivada tanto por pequenos como médios e grandes produtores, que utilizam alta tecnologia, contribuindo para a expansão do mercado além das fronteiras das Regiões Norte e Nordeste (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Além das variações climáticas, a utilização de cultivares pouco produtivas, susceptíveis a doenças ou pragas, ou com características indesejáveis que poderiam ser melhoradas, como porte ou ciclo, têm contribuído bastante para uma oscilação na

produção total e certa depreciação comercial do feijão-de-corda. Atualmente, os principais objetivos dos programas de melhoramento de feijão-de-corda no Brasil se resumem no desenvolvimento de cultivares com alta qualidade de grão, altos potenciais produtivos e bem adaptados aos sistemas de cultivo de sequeiro e/ou irrigado (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

A maioria dos caracteres de interesse econômico, e, por conseguinte, de interesse especial para o melhorista apresenta variação quantitativa e geralmente apresenta distribuição contínua. A produção, entre outros, se enquadra naquela categoria de caracteres tendo sua expressão fenotípica não resultando apenas de efeitos genotípicos (G), mas também dos efeitos ambientais (E) e das interações genótipo x ambiente (G x E) (ROCHA, 1998).

A interação genótipo x ambiente é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferencial apresentado pelos genótipos quando submetidos a mais de um ambiente. A magnitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre o fenótipo e o genótipo inflacionando a variância genética e, por sua vez, os parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético com a seleção (ROCHA; VELLO, 1999).

Uma particularização da interação G x E evidenciada por genótipos e ambientes pode ser realizada por meio de estudos sobre adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Entende-se por adaptabilidade, a capacidade de um genótipo aproveitar vantajosamente as condições ambientais mantendo a alta produtividade, enquanto estabilidade se refere à manutenção da produtividade ou de sua previsibilidade de comportamento em diversos ambientes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica são importantes porque permitem particularizar os efeitos da interação G x E, identificando a contribuição relativa de cada um para a interação total. Existem atualmente inúmeras técnicas com bases genéticas e estatísticas diferentes que foram desenvolvidas com o intuito de melhorar a quantificação do padrão inerente à interação G x E. Estudos comparativos entre diversas metodologias são conduzidos com o objetivo de selecionar métodos que sejam mais práticos e mais eficazes para a seleção e recomendação de cultivares.

Avanços no cultivo do feijão-de-corda veem gerando necessidades em várias áreas de conhecimento dessa espécie. As pesquisas que estão sendo realizadas são direcionadas ao atendimento da maioria dessas necessidades. Visando ampliar a forma de uso do produto e atender as preferências do consumidor, novos tipos

comerciais tem sido lançados no mercado. Os progressos científicos e tecnológicos foram expressivos graças à concentração de esforços de instituições brasileiras e estrangeiras que buscam tanto a melhoria genética, como o aperfeiçoamento dos sistemas de produção do feijão-de-corda.

Esta pesquisa teve por objetivos: a) verificar a magnitude da interação genótipos x ambientes; b) analisar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-de-corda, quantificada por meio de quatro métodos (EBERHART; RUSSELL, 1966; CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989; LIN; BINNS, 1988; e AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interactions/ ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988)); c) correlacionar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade das metodologias utilizadas. As informações obtidas visam subsidiar como subsídio à recomendação de cultivares para o Estado do Ceará.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Feijão-de-corda

Steele e Mehra (1980) e Ng e Maréchal (1985) citam o oeste da África, mais precisamente a Nigéria, como o centro primário de diversidade da espécie. Padulosi e Ng (1997) relatam que, provavelmente, a região de Transvaal, na República da África do Sul, seja a região de especiação de *V. unguiculata* (L.) Walp.

Ainda persistem dúvidas sobre a região africana onde o feijão-de-corda foi domesticado. Segundo alguns autores, uma civilização avançada a oeste do Sudão e cabeceiras do Niger (1.600 km do Oceano Atlântico) domesticou espécies vegetais, entre elas o feijão-de-corda. A partir do NE da África, por volta de 2.300 anos a.C., o cultivo desta espécie alcançou o Sudoeste da Ásia e posteriormente, 300 anos a.C., a Europa (FREIRE FILHO, 1988). De acordo com Ng e Maréchal (1985) a espécie foi domesticada dentro dos sistemas agrícolas compostos pelo sorgo e milho.

O feijão-de-corda tem vários nomes vulgares, sendo conhecido como feijão-de-macáçar ou macaça e feijão-de-corda na região Nordeste do Brasil, feijão-da-colônia, feijão-de-praia e feijão-de-estrada, na região Norte e feijão-miúdo na região Sul do Brasil (FREIRE FILHO; RIBEIRO; SANTOS, 2000). É também chamado de feijão-catador e feijão-gurutuba em algumas regiões da Bahia e no norte de Minas Gerais, e de feijão-fradinho nos estados da Bahia e do Rio de Janeiro. É possível que o nome “Macaçar”, designação mais antiga dada ao feijão-de-corda no Brasil, esteja associado à cidade de Macacar, na Indonésia, hoje chamada de Ujung Pandang (BARRACLOUGH, 1995). A cidade de Macáçar era um importante entreposto comercial português na segunda metade do século 17, por isso os produtos provenientes desse entreposto eram identificados pela palavra “macáçar”, o que se acredita ter ocorrido também com o feijão-de-corda permanecendo com o mesmo nome até hoje (ALBANO, 1916; BOXER, 1981).

O feijão-de-corda é uma planta dicotiledônea, com cerca de 160 espécies pertencentes à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaselinae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção *Catiang*,

espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subesp. *Unguiculata* (MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; PADULOSI; NG, 1997; VERDCOURT, 1970). A espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp., além da subespécie *unguiculata*, tem três subespécies silvestres: *dekindtiana* (Harms) Verd., *tenuis* (E. Mey.) M. M. e S. e *stenophylla* (harvey) M. M. e S. (BAUDOIN; MARÉCHAL, 1985). Todo o feijão-de-corda cultivado, entretanto, pertence à subespécie *unguiculata*. Westphal, citado por Maréchal, Mascherpa e Stainier (1978) e Ng e Marechal (1985), dividiram a subespécie *unguiculata* em quatro cultigrupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis*. Padulosi e Ng (1997) relatam que desde que essa classificação foi adotada cessaram as discussões sobre ela. No Brasil, somente são cultivados os cultigrupo *Unguiculata*, compreendendo a quase totalidade das cultivares locais e melhoradas, e o *Sesquipedalis*, comumente conhecido como “feijão-de-metro”.

O número cromossômico do gênero *Vigna* é  $2n = 22$ , embora já tenham sido encontrados com menor frequência os números  $2n = 24$ ,  $2n = 20$ , entre outros. No caso da espécie *V. unguiculata*, após a determinação do número de cromossomos feita por diversos pesquisadores, prevalece o número básico  $x = 11$  (FORNI-MARTINS, 1988).

Ao contrário do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e de outras leguminosas, o feijão-de-corda adapta-se relativamente bem a uma ampla faixa de clima e de solo variando das areias quartzosas aos solos de textura pesada. Por apresentar elevada capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico, adapta-se bem a solos de baixa fertilidade nas mais diversas condições culturais (EHLERS; HALL, 1997).

A produção de feijão-de-corda no Brasil concentra-se entre 3° e 12° de latitude Sul e entre 35° e 43° de Longitude Oeste. Essa área tem temperaturas médias anuais elevadas, variando de 22 a 28 °C (TEIXEIRA; MAY; SANTANA, 1988). As isoietas variam de menos 600 mm a 1000 mm e o percentual de incidência de seca varia de 41 a 100% (SUDENE, 1981). A precipitação pluvial média anual para área dessa unidade é da ordem de 500 mm a 800 mm/ano (SILVA; OLIVEIRA, 1993). Ademais, a cultura é bem adaptada ao cerrado brasileiro e ainda é cultivado em pequenas áreas no Paraná e no Rio Grande do Sul (FAGERIA, 1989).

Em muitas áreas dos trópicos semiáridos, o feijão-de-corda fornece mais da metade da proteína vegetal na dieta humana (RACHIE, 1985). A área ocupada com feijão-de-corda no mundo está em torno de 12,5 milhões de ha, com 8 milhões (64% da

área mundial) nas partes oeste e central da África. A outra parte da área está localizada na América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste dos Estados Unidos e da Oceania. Entre todos os países, os principais produtores mundiais são Nigéria, Niger e Brasil (QUIN, 1997). A produtividade do feijão-de-corda, além de muito baixa, é bastante irregular. Isso reflete a diversidade dos sistemas de produção, na maioria das vezes inadequados, que são adotados nos mais diferentes locais do mundo onde ele é explorado.

Como características básicas do feijão-de-corda destacam-se: o ciclo, que pode ser dividido em superprecoce (maturidade alcançada até 60 dias após a semeadura), precoce (61 a 70 dias), médio (71 a 90), médio-precoce (71 a 80 dias), médio-tardio (81 a 90 dias) e tardio (até 91 dias); a arquitetura da planta, com quatro tipos de portes, sendo eles, ereto, semi-ereto, semiprostrado e prostrado; o tipo dos grãos, que foi dividido em três classes sendo esses, classe branco (subclasses branca, brancão e fradinho), classe preto e classe cores (subclasses mulato, canapu, sempre-verde, vinagre, corujinha, azulão, manteiga, verde e rajada) (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Os principais fatores que influenciam a produção do feijão-de-corda são a temperatura, a água e o fotoperíodo, além da utilização de técnicas de produção. O feijão-de-corda pode ser bem cultivado em faixas de temperatura que variam entre 20° e 35 °C (ARAÚJO *et al.*, 1984). A faixa ideal de temperatura para a germinação da cultura é de 23 a 32,5 °C, independentemente do genótipo. Já a faixa de temperatura para a formação de nódulos está entre 24 e 33 °C (CRAUFURD; ELLIS; SUMMERFIELD; MENIN, 1996). Afastando-se dessa faixa, a planta apresenta desenvolvimento insatisfatório e ocorrerá aumento da produção da parte vegetativa em detrimento da produção de grãos. Apesar de a espécie apresentar genótipos com comportamentos variados em relação ao comprimento do dia, pode ser cultivado em faixas de fotoperíodo que variam entre 8 a 14 horas (WATT *et al.*, 1988).

O cultivo do feijão-de-corda exige um mínimo de 300 mm de precipitação para que produza a contento, sem a necessidade de utilização da prática da irrigação. Da germinação ao final da formação de vagens e granação, a cultura requer uma quantidade de água em torno de 650 mm, regularmente distribuídas. As regiões cujas cotas pluviométricas oscilem entre 250 e 500 mm anuais são consideradas aptas para o cultivo dessa leguminosa (CARDOSO *et al.*, 1995).

O feijão-de-corda é conhecido como uma planta relativamente adaptada à seca. Trata-se de uma espécie que responde a diferentes níveis de estresse ao longo dos diversos estádios de seu desenvolvimento (SUMMERFIELD; PATE; ROBERTS, 1985). As fases mais críticas da cultura à escassez de umidade do solo são os períodos de germinação, floração e de enchimento das vagens. Vale ressaltar que a planta reage à deficiência hídrica do solo de acordo com a sua intensidade. Em níveis moderados de escassez de água, a planta reduz o seu ciclo tornando-se assim, mais precoce. Em grau severo, a deficiência hídrica retarda a atividade reprodutiva da cultura (TURK; HALL, 1980). Sabe-se, todavia, que o número de dias que a planta tolera um estresse de água varia de cultivar para cultivar, já que algumas são capazes de manter algum crescimento ou pelo menos de sobreviver sob condições de solos secos (QUIN, 1997).

No Brasil, poucos estudos de fisiologia do feijão-de-corda foram conduzidos com a finalidade de verificar a resposta dessa cultura aos fatores climáticos, no entanto pode-se destacar os trabalhos de Marques (2005), Gonçalves (1999) e Távora, Marques, Mendes Neto e Soares (1997). Apesar dessa cultura ser considerada relativamente adaptada à seca, o fator climático ainda constitui um dos grandes obstáculos ao aumento e estabilidade da produção do cultivo do feijão-de-corda nas áreas onde a mesma é disseminada. Assim, as pesquisas relacionadas à busca de genótipos que apresentem elevadas produtividades e estabilidade de produção devem ser associadas ao comportamento desses genótipos face ao estresse hídrico, pois, conforme Machado *et al.* (1996), a possibilidade de sucesso de um programa de melhoramento, visando desenvolver cultivares mais aptas às condições de deficiência hídrica, pode ser aumentada quando se conhecem as respostas fisiológicas das plantas à variação dos fatores ambientais.

### **2.1.1 Feijão-de-corda no Brasil**

Em 1568 já havia a indicação da presença de muitos tipos de feijão no Brasil (GANDAVO, 2001), fato que se confirmou em 1587, quando foi relatado que uma grande variedade de feijões e favas era cultivada no estado da Bahia, sendo os grãos e vagens utilizados na alimentação humana do mesmo modo como eram em

Portugal e na Espanha (SOUSA, 1974). Embora nenhuma citação indicasse as cultivares de feijão utilizadas é bastante provável que o feijão-de-corda estivesse entre elas.

Corrêa (1952) menciona que o feijão-de-corda foi introduzido no Brasil pelos primeiros colonizadores, devendo referir-se aos portugueses. Krutman, Vital e Bastos (1968) relatam que o feijão-de-corda foi introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses. Freire Filho *et al.* (1981) apresentaram várias evidências de que o feijão-de-corda foi introduzido na América Latina, no século XVI, pelos colonizadores espanhóis e portugueses, primeiramente nas colônias espanholas e, em seguida, no Brasil, provavelmente no estado da Bahia. A partir da Bahia, o feijão-de-corda foi levado pelos colonizadores para outras áreas da região Nordeste e para outras regiões do País.

Na América do Sul, como nos demais continentes, o feijão-de-corda é consumido em vários tipos grãos no que concerne a sua forma, cor e tamanho. O maior produtor de feijão-de-corda da América do Sul é o Brasil e o Nordeste brasileiro destaca-se na produção nacional. No Brasil, o sistema de cultivo predominante é o consorciado. Além da alimentação humana, principalmente na forma de grãos secos, o feijão-de-corda também é utilizado para alimentação animal, adubação verde e como cobertura morta.

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil o feijão-de-corda, ao lado do feijão *Phaseolus* (feijão mulatinho ou tipo carioca), constitui-se no alimento básico para a população, exercendo a função social de suprir as necessidades alimentares das camadas mais carentes, principalmente em relação às proteínas (TEIXEIRA; MAY; SANTANA, 1988).

O feijão-de-corda possui qualidades de sobrevivência em condições climáticas adversas, sendo cultivado em todas as regiões do País, principalmente em regiões com baixa latitude, onde outras culturas demoram a se adaptar. O cultivo do feijão-de-corda é realizado predominantemente em condições de agricultura de sequeiro. Este sistema de cultivo consegue produzir, em anos secos, mais que outras espécies vegetais como o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) e o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), consideradas espécies resistentes a seca (TURK; HALL, 1980). No Ceará, em condições de irrigação no Vale do Jaguaribe, a cultivar Epace-11 apresentou uma produtividade média superior a 1.900 kg/ha no período de 1986 a 1991 (EPACE, 1990).



Apesar de todas essas dificuldades enfrentadas pelo cultivo dessa espécie, comuns a agricultura de subsistência nordestina, a partir da década de 90, vários produtores de feijão-de-corda veem utilizando tecnologias mais apropriadas ao desenvolvimento da cultura, principalmente no que concerne as cultivares melhoradas. Como resultado, verifica-se um grande incremento na produção de feijão e a expansão das fronteiras agrícolas, principalmente no Ceará, que hoje detém cerca de 20% da produção da Região Nordeste.

No entanto, os produtores de feijão-de-corda, como os demais agricultores nordestinos, principalmente aqueles que se dedicam às culturas de subsistência, continua em dependência de fatores climáticos e da política governamental dirigida ao setor agrícola. Mas, deve ser observada a importante participação da pesquisa na geração de novas tecnologias para o desenvolvimento da cultura do feijão-de-corda exercida pelas empresas de pesquisas EPACE (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) nessas duas últimas décadas. O aumento da produtividade nesses últimos anos se deve tanto à exploração da cultura nas áreas irrigadas como, principalmente, à utilização de cultivares mais produtivas e adaptadas às condições edafo-climáticas do Estado, além de resistentes às doenças, como as viroses.

## **2.2 Melhoramento genético de feijão-de-corda**

O International Institute of Tropical Agriculture (Instituto Internacional de Agricultura Tropical - IITA) continua a liderar as pesquisas com feijão-de-corda em todo mundo. Entretanto, recentemente os programas de melhoramento de feijão-de-corda das Universidades da Califórnia e Riverside (EUA) e da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) no Brasil, teem sido fortalecidos e expandidos. Pesquisas significativas sob vários aspectos do melhoramento de feijão-de-corda teem sido também realizadas em Burkina Faso, Índia, Mali, Nigéria e Senegal, e por contingente de outros países.

Dentre os objetivos dos programas de melhoramento de feijão-de-corda em todo o mundo estão: a) obtenção de um método de melhoramento ideal (MEHTA; ZAVERI, 1997; SINGH, 2000); b) obtenção de híbridos interespecíficos (TYAGI; CHAWALA, 1999); c) obtenção de novos genótipos por meio de mutações (ADU-DAPAAH; SINGH; FATOKUN, 1999); d) resistência a doenças (LATUNDE-DADA *et al.*, 1999); e) obtenção de genótipos com resistência à nematóides (EHLERS; MATTHEWS; HALL; ROBERTS, 2000); f) obtenção de genótipos com resistência à vírus (SINGH; D' HUGHES, 1999; ROCHA *et al.*, 1996); g) obtenção de genótipos com resistência à insetos (SINGH, 1999b; SHADE; MURDOCK; KITCH, 1999); h) obtenção de genótipos com tolerância à seca, calor e frio (SINGH, 1999a; ISMAIL; HALL; CLOSE, 1997); i) obtenção de genótipos com elevada capacidade de fixação de N<sub>2</sub> e uso eficiente do fósforo (KOLAWALE; TIAN; SINGH, 2000); j) aumento da qualidade nutricional (SINGH, 1999c); k) desenvolvimento e liberação de variedades de feijão-de-corda (FERY; DUKES, 1995, 1996; FERY, 1998, 1999, 2000; FREIRE FILHO *et al.*, 1998; EHLERS; HALL; PATEL; ROBERTS; MATTHEWS, 2000).

Os programas de melhoramento genético com o feijão-de-corda no Brasil tiveram início em 1963 e eram sediados geralmente no Nordeste envolvendo diferentes instituições públicas (institutos de pesquisa, universidades, organismos de desenvolvimento e extensão rural). Esses programas de melhoramento constaram, principalmente, da introdução de cultivares tanto do exterior (USA, na maioria das vezes) bem como de instituições do próprio País. As melhores introduções eram identificadas em comparação com os cultivares locais em ensaios de competição de rendimento. Destacaram-se desses trabalhos as cultivares Pitiúba (CCA – Centro de Ciências Agrárias/UFC – Universidade Federal do Ceará) e Seridó (IPEANE – Instituto de Pesquisa Agropecuária do Nordeste/PE) no Nordeste e V-69 (IPEAN-Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte) no Norte (ARAÚJO, 1988).

A partir de 1975 teve início no Brasil um acordo envolvendo o IITA (International Institute of Tropical Agriculture) localizado na Nigéria e diversas instituições nacionais entre elas o CCA/UFC (Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará), quando foram introduzidos e avaliados diversos materiais provenientes daquele Instituto.

A criação do CNPAF (Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão) da EMBRAPA, na década de setenta, que passou a coordenar os trabalhos com feijão-de-

corda no Brasil, permitiu um incremento das pesquisas com melhoramento genético de feijão-de-corda. Em 1991 a coordenação do programa de melhoramento de feijão-de-corda foi transferida do CNPAF para o Centro de Pesquisa Agropecuário do Meio-Norte – CPAMN, nessa época denominada de Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual – UEPAE localizada em Teresina – Piauí, o que manteve a mesma estratégia de trabalho.

Na região Nordeste, participam diretamente do programa de melhoramento de feijão-de-corda a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará – EPACE, até a sua extinção em 1997, a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, a Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba – EMEPA, a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola – EBDA, o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros – CPATC e o CENTEC - Centro de Ensino Tecnológico do Ceará. Na região Norte, participam do programa de melhoramento, o Centro de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental – CPATU, o Centro de Pesquisa Agroflorestal do Amapá – CPAF – Amapá e a Universidade do Estado do Tocantins – UNITINS. Além dessas Instituições, o programa mantém um trabalho de colaboração com o Laboratório de Virologia do Departamento de Fitotecnia e o Laboratório de Lectinas do Departamento de Bioquímica da Universidade Federal do Ceará, com o Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco e com o setor de Virologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

As instituições de pesquisa, por meio do sistema cooperativo de pesquisa agropecuária, estabeleceram os principais objetivos para o melhoramento genético do feijão-de-corda no Brasil, com base nos fatores limitantes à sua produção, tais como baixo potencial produtivo das cultivares, susceptibilidade dessas cultivares às doenças e pragas e a não adaptação dos cultivares locais aos sistemas de cultivo utilizados (aspectos relacionados com o consórcio). Atualmente o melhoramento de feijão-de-corda tem basicamente os seguintes objetivos: a) aumento da produtividade e melhoria da qualidade visual, culinária e nutricional dos grãos; b) aumento da adaptabilidade, estabilidade e tolerância a estresses hídricos; c) desenvolvimento de cultivares com arquitetura moderna para o cultivo mecanizado e adequadas à agricultura familiar; d) incorporação da resistência múltipla as doenças; e) aumento da resistência a insetos. Em longo prazo: a) desenvolvimento de cultivares com grãos de cor verde persistente a

secagem para enlatamento e congelamento; b) desenvolvimento de cultivares com características para processamento industrial, para produção de farinha e sopa précozida (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Segundo a literatura, depois das adversidades climáticas (seca), as doenças são um dos principais fatores limitantes à produção da espécie no País. Outra dificuldade enfrentada pelos programas de melhoramento tem sido a marcante diferença entre o tamanho e cor dos grãos preferidos pelos consumidores e os padrões de tamanho e cor das sementes das cultivares ou linhagens superiores importadas e que são fontes de genes desejáveis para esses programas (ARAÚJO, 1988).

No Nordeste, embora se reconheça à necessidade de melhorar o feijão-de-corda para várias características, os programas tem se concentrado, principalmente, na resistência às doenças, particularmente causadas por vírus, e na produtividade (FREIRE FILHO *et al.*, 1981; MIRANDA *et al.*, 1999). Constata-se, também, que os caracteres “arquitetura da planta, precocidade e qualidade de grão” veem crescendo em importância pelos seguintes motivos; a) necessidade de plantas mais eretas que possibilitem a mecanização da colheita; b) aumento dos plantios em áreas irrigadas; c) exigência do mercado que prefere grãos com melhor aparência, com mais uniformidade de cor, tamanho e forma. Há preferência por grãos de cor marrom-clara, grãos do tipo sempre-verde e grãos de cocção rápida, caldo denso e com bom aspecto após o cozimento, além de agradável odor e sabor (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

### **2.3 Interações genótipos x ambientes**

O fenótipo de um indivíduo é determinado pelo genótipo e pelo ambiente. Esses dois efeitos nem sempre são aditivos o que indica que a interação genótipo x ambiente (G x E) está presente. A interação resulta no desempenho inconsistente dos genótipos através dos ambientes. A interação G x E significativa causa mudanças no ordenamento relativo dos genótipos ao longo dos diversos ambientes (FALCONER, 1952; FERNANDEZ, 1991).

A interação G x E é um processo natural que faz parte da evolução das espécies e seus efeitos permitem o aparecimento de genótipos estáveis e aptos a um

ambiente específico, ou de comportamento geral aptos a vários ambientes (EBERHART; RUSSELL, 1966).

A interação pode dificultar a seleção do genótipo com melhor desempenho e estabilidade, causando redução no progresso por seleção para qualquer ambiente e dificultando a recomendação de cultivares (HILL, 1975; YAU, 1995).

A essência do progresso genético no melhoramento está no quanto o fenótipo de um indivíduo expressa o seu genótipo, e essa tarefa tem sido uma das maiores dificuldades enfrentadas pelo melhorista de plantas. Isso ocorre porque para a maioria das características, especialmente para aquelas de baixa herdabilidade, o valor genotípico de um indivíduo é afetado por efeitos ambientais e/ou outros efeitos de confundimento (LAVORANTI, 2003).

O processo da interação é de extrema importância nos programas de melhoramento porque, a partir do seu entendimento, é possível executar uma seleção de genótipos com adaptação ampla ou específica, escolher locais de seleção, identificar o nível de estresse nos locais escolhidos para as fases finais da seleção, e determinar o número ideal de ambientes e de genótipos a serem avaliados em cada fase de seleção (FOX; CROSSA; RAMOGOSA, 1997).

Estudos sobre interação G x E tem proporcionado informações sobre como eliminar as tendências de superestimação das variâncias genéticas, sendo que essa leva a discrepâncias entre as respostas esperadas e obtidas com a seleção, adaptação de cultivares, avaliação de genótipos e estabilidade de produção. A presença da interação G x E provoca um aumento do desvio padrão fenotípico, reduz a herdabilidade ao longo de ambientes e, conseqüentemente, diminui ganhos genéticos potenciais (ALLARD, 1971). Por essa razão, torna-se importante o conhecimento preciso das estimativas da interação G x E, bem como sua utilização na determinação da estabilidade fenotípica dos diferentes genótipos.

Quando se trabalha com muitos genótipos e ambientes, a interação G x E pode ser decomposta em um número muito grande de situações. Entretanto, alguns pontos devem ser considerados, pois, apenas uma pequena proporção do número possível de interações é importante. A estimativa da magnitude da interação pode ser feita a partir de uma pequena amostra e existe uma única situação em que um genótipo é melhor em todos os ambientes (ALLARD; BRADSHAW, 1964).

A interação G x E pode ser classificada em interação simples e complexa. A interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade genética entre

genótipos dentro dos ambientes, e a interação complexa reflete a ausência de correlação linear entre genótipos de um ambiente para outro, ou seja, haverá genótipos com desempenho superior em um ambiente, mas não em outro, tornando mais difícil a seleção e, ou, recomendação desses genótipos (CRUZ; REGAZZI; CANEIRO, 2004).

A interação simples ou a ausência de interação são menos importantes para os melhoristas, pois não alteram a classificação dos genótipos nos ambientes, mas permite definição de estratégias de seleção. Porém, a interação complexa é mais importante, pois ela altera o ordenamento dos genótipos nos ambientes, dificultando a seleção e recomendação desses materiais. Esses fatores interferem na classificação relativa dos genótipos, influenciando sua avaliação e fazendo com que as interpretações das estimativas fenotípicas não possam ser estendidas a outras regiões (CROSSA, 1990; RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

O método mais comumente utilizado para avaliação da interação G x E é a análise de variância (ANAVA), por meio da análise conjunta dos experimentos. A estrutura dessa análise permite a estimação da interação G x E que estaria confundida com a variância devido a genótipos na análise individual (por ambientes) (LAVORANTI, 2000).

A ANAVA detecta interações G x E estatisticamente significativas quando o nível de expressão (contribuições) dos genes que regulam determinado caráter difere entre os ambientes testados. Essa contribuição dos genes para a expressão de um caráter é considerada a base biológica das interações G x E (BASFORD; COOPER, 1998). Fatores fisiológicos e bioquímicos de cada genótipo cultivado também tem sido atribuídos como possíveis causas das interações G x E (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

O conhecimento da magnitude das interações G x E por meio da ANAVA é requerido para se obter estimativas eficientes dos efeitos genotípicos e se determinar o número de lotes e locais para incluir em futuros ensaios. Em programas de melhoramento a ANAVA pode ser utilizada para se estimar a heritabilidade e prever o ganho de um caráter sob seleção. A significância dessas interações deve ser interpretada como uma indicação de que existem genótipos adaptados especificamente a determinados ambientes, e outros que são menos influenciados pelas variações ambientais (adaptação geral) (CROSSA, 1990).

Os primeiros relatos de exploração da interação G x E significativa foram realizados por Yates e Cochran (1938). Esses autores desdobraram essa fonte de

variação para cada genótipo, determinando uma regressão linear da produtividade em relação à média de todos eles em cada ambiente.

As variações ambientais que podem contribuir para interação são classificadas em previsíveis e não previsíveis. No primeiro caso estão incluídos os fatores permanentes dos ambientes, como solo e clima, e aqueles em que o homem atua de forma direta, como época de plantio, tipo de adubação, métodos de colheita, etc. No segundo estão aquelas que ocorrem com as flutuações climáticas inconsistentes, como precipitações, umidades relativas do ar, ou menos comuns, como geada e granizo, além da ocorrência de pragas e doenças (ALLARD; BRADSHAW, 1964).

O ambiente para o melhoramento genético pode ser definido como uma série de condições sob as quais as plantas crescem, podendo envolver locais, anos, épocas, regiões, práticas culturais ou de manejo, ou a combinação de todos esses fatores (ROMAGOSA; FOX, 1993). Para estudos de estabilidade fenotípica, a combinação “local x ano” representando um ambiente é uma das mais utilizadas (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988).

Os ambientes podem ser classificados em dois grupos denominados de micro e macroambientes. Os microambientes estão relacionados a fatores externos (erros estocásticos ou aleatórios) ou internos (acidentes) de um organismo, geralmente, não controláveis (WU; MALLEY, 1998). Os macroambientes podem ser controláveis (p.ex. níveis de fertilidade do solo) e não-controláveis (p.ex. locais, anos agrícolas, e estações ou épocas do ano), que apresentam como principais componentes temperatura, pluviosidade e a luminosidade (KEARSEY; POONI, 1998).

A presença da interação G x E significativa pode ser devida a outros fatores e não necessariamente a diferença na adaptabilidade dos materiais genéticos. Nesse contexto, menciona-se entre outros fatores a falta de ajuste do conjunto de dados ao modelo estatístico adotado (CHAVES; VENCOSKY; GERALDI, 1989).

Genótipos adaptados a ambientes específicos devem ser identificados como opção para amenizar os efeitos da interação G x E significativa. Devido à infinidade de ambientes encontrados nos países de clima tropical, se torna onerosa e dificulta as etapas de produção de sementes e manutenção dos inúmeros genótipos necessários. Assim, o que se propõe é a identificação de genótipos com maior adaptabilidade fenotípica, por serem aplicados nas mais variadas situações, requerendo estudos sobre o desempenho genotípico, com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Para esse tipo de estudo existem atualmente inúmeras metodologias utilizadas.

A identificação dos ambientes nos quais a seleção deve ocorrer é um problema enfrentado por melhoristas, pois existe a dúvida sobre que tipo de ambientes, favoráveis ou desfavoráveis, fornecem uma maior discriminação entre os ambientes e que permitem maiores manifestações da variabilidade genotípica.

Para Furtado *et al.* (1990), os ambientes favoráveis são os mais adequados. Entretanto, para Hinson e Hanson (1962) e Lin e Wu (1974) ambientes favoráveis não correspondem às condições reais das lavouras comerciais, e por isso a seleção deve ser realizada em ambientes o mais semelhante possível da realidade dos agricultores, ou seja, em ambientes menos favoráveis. Dessa forma, em termos práticos, é desejável estimar a interação G x E para apontar os ambientes em que são intensificados os efeitos genotípicos de interesse.

A interação pode ser usada vantajosamente quando se procura maximizar ou capitalizar os ganhos genéticos dos materiais em um ambiente específico (interação complexa). Assim, deve-se manejar essa interação G x E de forma que as herdabilidades para a produtividade sejam aumentadas. Esse enfoque passa a ter importância superior quando se trata de uma cultura ainda em desenvolvimento na compreensão dos benefícios do conhecimento da interação G x E, como é o caso do feijão-de-corda no Brasil, particularmente no Ceará.

### **2.3.1 Interações de genótipos com ambientes em feijão-de-corda**

O desenvolvimento normal de uma planta depende de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar a intensidade da radiação solar (relacionado diretamente com a fotossíntese e, esta com o crescimento da planta), o fotoperíodo, a pluviosidade, a temperatura, a disponibilidade de água e os tratos culturais. Esses fatores abióticos podem influenciar diferentemente entre os locais e anos de cultivo, contribuindo para as interações G x E (CÂMARA, 1998).

Dos fatores bióticos que contribuem em maior ou menor escala para a interação G x E, doenças e pragas se destacam por influenciar o comportamento diferencial dos genótipos de feijão-de-corda entre os ambientes. Efeitos de diversas



doenças causadas por vírus sobre diferentes genótipos de feijão-de-corda foram, e ainda são estudados por muitos autores (BARRETO *et al.*, 1988; PAIVA *et al.*, 1988; CARDOSO *et al.*, 1988; CARDOSO *et al.*, 1990; FREIRE FILHO *et al.*, 1994) no intuito de selecionar materiais resistentes. Vários estudos também foram e são realizados com relação ao efeito de pragas sobre genótipos de feijão-de-corda nos diferentes ambientes (CHAGAS, 1993; CAJAZEIRAS, 2000).

A interação G x E em feijão-de-corda tem sido estudada pelos melhoristas envolvendo vários tipos de fatores ambientais, tais como os envolvendo genótipos x locais x anos (BARRETO; QUINDERÉ; SÁ; SANTOS, 1996; FREIRE FILHO *et al.*, 2003, 2005) e genótipos x locais x anos x sistema de produção [sequeiro e irrigado (SANTOS; ARAÚJO; MENEZES, 2000; ANDRADE *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2006) ou solteiro e consorciado (CARDOSO *et al.*, 1993, 1994; CARDOSO; MELO; ANDRADE JÚNIOR, 1997; SAGRILO *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2005; MELO; CARDOSO; NEVES, 2006; PADI, 2007)].

A variabilidade genética em feijão-de-corda tem sido constatada quanto a sua eficiência nos sistemas de cultivo associados. Algumas cultivares se adaptam indistintamente ao consórcio com outras culturas. Por exemplo, a cultivar EPACE 6, já foi mencionada por Beltrão *et al.* (1986) para consórcio com algodão herbáceo; por Barreto e Quinderé (1993) para associação com milho e por Barreto, Quinderé e Quental (1996) para cana-de-açúcar.

A análise da interação genótipo x locais (G x L) objetiva, principalmente, avaliar o comportamento dos genótipos frente aos fatores previsíveis micro (dentro de locais) e macroambientais (entre locais) no espaço. Lopes, Cravo e Sampaio (2006) encontraram interações genótipo x locais altamente significativas durante avaliação de genótipos de feijão-de-corda realizada no estado do Pará envolvendo diversos ambientes. Entretanto, a existência da interação genótipo x ambiente indica a necessidade do desenvolvimento de cultivares específicas de feijão-de-corda para determinadas regiões e condições de cultivo.

O efeito de anos é caracterizado como um fator imprevisível. A avaliação das interações genótipos x anos (G x A) é de extrema importância, pois fornece informações sobre a previsibilidade do comportamento dos genótipos frente aos fatores ambientais, no tempo. Sampaio *et al.* (2006) avaliando o efeito das interações ano x genótipo, identificaram linhagens do tipo semi-ereto que apresentaram produtividades

médias mais estáveis que as do tipo ereto de um ano para o outro. Nesse sentido, Vencovsky e Torres (1988) afirmam que para o produtor é melhor que uma cultivar seja estável ao longo dos anos.

## **2.4 Adaptabilidade e estabilidade fenotípica**

Apesar de ser de extrema importância para o melhoramento, uma simples análise da interação  $G \times E$  não proporciona informações precisas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, pelas quais se torna possível a identificação de genótipos de comportamento previsível que sejam responsivos a melhoria das variações ambientais em condições amplas ou específicas. As análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica são complementares a análise de variância individual e conjunta dos experimentos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Segundo Vencovsky e Barriga (1992), as propriedades adaptação e a estabilidade, embora sejam características relacionadas, não devem ser considerados como um só. Nesse sentido, vários métodos foram propostos para medir tais parâmetros, sendo que suas diferenças provêm dos diversos conceitos empregados e dos diferentes procedimentos estatísticos utilizados para suas determinações.

Finlay e Wilkinson (1963) definiram estabilidade média de uma forma dinâmica para caracterizar uma variedade. Nesse caso, a produção varia de acordo com a capacidade dos ambientes em proporcionar altas ou baixas produtividades.

A estabilidade, segundo Allard e Bradshaw (1964) é vista de um modo geral sob os aspectos da homeostase populacional e individual. O primeiro compreende o caso em que diferentes genótipos são adaptados a diferentes faixas de variação ambiental. O segundo é visto como uma consequência de uma reação estabilizadora dos indivíduos "per se", de modo que cada membro da população adapta-se a diversos ambientes. Desta maneira, populações de base genética estreita são mais dependentes da homeostase individual para conservar seus caracteres, porém, em populações de ampla base genética, os tipos de homeostase estão presentes. Desse modo, um genótipo estável

para os autores é aquele que apresenta potencial para ajustar o seu estado genotípico e fenotípico às flutuações ambientais.

Para Eberhart e Russell (1966), adaptabilidade designa à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente os estímulos do ambiente.

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

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

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

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

Alliprandini (1992) definiu estabilidade com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e dos desvios da regressão ( $S^2d_i$ ), e adaptabilidade como consequência do desempenho do genótipo em relação à média dos genótipos avaliados e da responsividade medida pelo coeficiente de regressão ( $b_i$ ).

Yue *et al.* (1997) consideram estabilidade como sendo a consistência no ordenamento relativo de determinadas cultivares num dado grupo de ambientes.

Na literatura existem muitos conceitos de estabilidade, todavia, os autores tem utilizado as terminologias de Finlay e Wilkinson (1963) e de Eberhart e Russell (1966) ou variações das mesmas. Alguns autores apresentam certa concordância entre si, ou seja, genótipo estável é aquele que, quando cultivado em vários ambientes, apresenta pouca oscilação para o caráter avaliado.

Os parâmetros que determinam à estabilidade são específicos para os materiais genéticos avaliados, bem como para os ambientes analisados, sendo errôneo inferir esses resultados para outros materiais e ambientes (YATES; COCHRAN, 1938).

Dentre os métodos propostos para estudar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica os seguintes procedimentos: a) com base na variância da interação G x E (MAGARI; KANG, 1997; PLAISTED; PETERSON, 1959; SHUKLA, 1972; TAI, 1971; WRICRE, 1965; WRICKE; WEBER, 1986); b) baseados em regressão linear simples (EBERHART; RUSSELL, 1966; FINLAY; WILKINSON, 1963; PERKINS; JINKS, 1968; YATES; COCHRAN, 1938); c) na regressão múltipla (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989); SILVA; BARRETO, 1986; STORCK; VENCOVSKY, 1994; VERMA; CHARAL; MURTY, 1978); d) na regressão quadrática (BRASIL; CHAVES, 1994); e) modelos não-lineares (CHAVES; VENCOVSKY; GERALDI, 1989; TOLER; BURROWS, 1998; SILVA, 1998; ROSSE; VENCOVSKY, 2000); f) não-paramétricos (ordem de classificação genotípica, LIN; BINNS (1988), HUEHN (1996)); g) métodos multivariados, ACP - análise de componentes principais (CROSSA, 1990); h) análise de agrupamento (HANSON, 1994); i) análise fatorial de correspondências (HILL, 1975); j) análise de coordenadas principais (WESTCOTT, 1987); k) método AMMI (Aditive Main Multiplicative Interaction) que integra a análise comum de variância (método univariado) com a análise de componentes principais (método multivariado) sugerido por Gauch e Zobel (1996) e proposto por Mandel (1971). As diferenças entre os métodos citados originam-se nos diferentes conceitos e procedimentos biométricos utilizados para medir a interação (G x E).

Plaisted e Peterson (1959) verificaram que, quando são testados genótipos em vários locais, uma proporção da variância é devida a  $G \times E$ , e cada genótipo contribui com uma determinada fração para essa variância. O parâmetro de estabilidade é obtido pela média aritmética dos componentes de variância da interação  $G \times E$ , que envolve um genótipo particular, sendo mais estável aquele que contribuir menos para a interação.

Wricke (1965) usou a análise de variância para calcular a contribuição individual dos genótipos para a interação. O autor denominou essa estatística de "ecoalência", que consiste na decomposição da  $SQ_{G \times E}$  nas partes devidas a genótipos isolados.

Os métodos com base na ANAVA permitem o cálculo da variância mínima apresentada pelos genótipos e expressa apenas a estabilidade fenotípica, ou seja, não há nenhuma estimativa da adaptabilidade dos genótipos nem do direcionamento de suas respostas aos diferentes tipos de ambientes. Essa é a principal desvantagem desses métodos, pois, em geral, os genótipos que apresentam um comportamento regular, entre os ambientes, são pouco produtivos (LAVORANTI; DIAS; VENCOVSKY, 2002).

Yates e Cochran (1938) foram os primeiros autores a usarem a regressão linear em estudos de estabilidade fenotípica. Esses autores sugeriram a decomposição da interação genótipos  $\times$  ambientes, determinaram para cada variedade uma regressão linear da produtividade em relação à média da produtividade de todas as variedades em cada ambiente.

Finlay e Wilkinson (1963) foram os primeiros pesquisadores a trabalhar com índice ambiental, sendo esse parâmetro a média de rendimento de todos os genótipos em cada ambiente. Esses autores sugeriram ainda que a variável produtividade fosse submetida a transformação logarítmica, com a finalidade de aumentar a linearidade na regressão, e proporcionar maior homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos. Dessa forma é possível obter ambientes favoráveis e desfavoráveis para os índices positivos e negativos, respectivamente. Por esse método, um genótipo ideal é aquele que apresenta produtividade média elevada, coeficiente de regressão igual a um, e desvio de regressão próxima de zero, ou seja, seria um genótipo responsivo a melhoria das condições ambientais e de comportamento altamente previsível.

Eberhart e Russell (1966) propuseram um método com base na análise de regressão linear simples onde o índice ambiental (efeito do ambiente) é a variável

independente, e a produtividade média de cada genótipo em cada ambiente representa a variável dependente. Os autores também sugeriram a não transformação dos dados e a estimação dos desvios da regressão, sendo esses indicativos do grau de confiabilidade da resposta linear estimada, o que caracteriza a previsibilidade do genótipo. Os parâmetros coeficiente de regressão ( $\beta_i$ ) e a produtividade média estimam a adaptabilidade do genótipo e a variância dos desvios da regressão ( $S^2 di$ ) mede a sua estabilidade.

A maioria dos melhoristas utiliza-se da análise de regressão para estudar a estabilidade fenotípica por ser uma técnica matematicamente simples e biologicamente interpretável (ROMAGOSA; FOX, 1993). Entretanto, uma das principais limitações do uso dessa análise para esse tipo de estudo está na dependência que existe entre a variável que quantifica o índice ambiental ( $I_j$ ) e a produtividade média do cultivar ( $Y_{ij}$ ), pois o primeiro é obtido em função do segundo, violando um dos princípios da análise de regressão que é a independência entre as variáveis dependentes e independentes. Porém, a independência não será problema se o experimento possuir um número razoável de genótipos e amplitude de ambientes com quadrado médio significativamente maior que o quadrado médio do erro, pois nos experimentos com pequeno número de ambientes e genótipos com desempenhos muito diferentes, a adaptação desses genótipos poderá ser devido ao desempenho desses nos ambientes extremos, o que na verdade mascararia os resultados (CROSSA, 1990).

A obtenção de parâmetros por meio da análise de regressão linear apresenta outros inconvenientes tais como: a) não ser informativa quando a linearidade falha; b) ser altamente dependente do grupo de genótipos e ambientes incluídos na análise; c) tender a simplificar padrões de resposta diferentes, por explicar a variação da interação G x E em apenas uma dimensão (coeficiente de regressão) quando na realidade ela pode ser altamente complexa (CROSSA, 1990).

Verma, Chahal e Murty (1978) propuseram uma técnica alternativa de regressão, que consiste no ajuste de duas regressões lineares separadamente. Os autores argumentaram que existem genótipos apropriados para ambientes pobres (desfavoráveis) e ricos (favoráveis). O ajustamento de dois ou mais segmentos de reta explicaram melhor a resposta dos genótipos cujos desvios de regressão linear simples se mostraram elevados. O genótipo mais estável apresentou rendimento elevado e

constante em ambientes considerados desfavoráveis, mas com capacidade para responder à ambientes favoráveis, isto é, a melhoria do ambiente.

Silva e Barreto (1986) propuseram ajustamento para cada genótipo, obtido de uma única equação de regressão constituída de dois segmentos de reta com a sua união no ponto correspondente ao valor zero do índice de ambiente.

Uma alteração na metodologia elaborada por Silva e Barreto (1986) foi proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989). Os autores implantaram um modelo de regressão descontínuo com estimativas não correlacionadas dos coeficientes de regressão com o objetivo de facilitar a estimação dos parâmetros e melhorar a precisão das estimativas. Nesse modelo, as linhas da regressão são impedidas de se tocarem no ponto onde o índice ambiental é nulo, o que permite a independência dos dois segmentos de reta, ou seja, a descontinuidade. Assim, caso ocorra correlação entre os coeficientes de regressão, ela é decorrente apenas das propriedades dos materiais genéticos (CARNEIRO, 1998).

Uma medida adicional acrescentada por Pinthus (1973) foi o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que pode substituir  $S^2 d_i$  ou auxiliá-lo, fornecendo uma medida da variação observada explicada pela regressão. Porém, um dos inconvenientes que surge com relação ao emprego desse parâmetro, como medida de previsibilidade dos genótipos, é que ele depende da magnitude do coeficiente de regressão ( $\beta_{li}$ ), o que provoca certa tendenciosidade nas conclusões. O desvio da regressão apresenta uma menor associação com o coeficiente de regressão, devendo ser, por isso, preferível para inferir sobre a previsibilidade dos genótipos (DUARTE; ZIMMERMANN, 1995).

Lin e Binns (1988) definiram como medida de estabilidade o quadrado médio da distância entre a média de cada cultivar e a resposta média máxima dos genótipos para todos os locais. Essa metodologia é classificada como uma estatística não-paramétrica e alia estabilidade com adaptabilidade no mesmo parâmetro.

Nas análises não-paramétricas há tendência de expressar em um ou poucos parâmetros o desempenho e o comportamento de um genótipo em termos de rendimento, capacidade de resposta às variações ambientais e suas flutuações. Esse tipo de metodologia apresenta algumas vantagens como: a) a tendenciosidade causada por pontos completamente fora da equação de regressão ajustada é reduzida ou, às vezes, eliminada; b) não é necessário assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos; c) os parâmetros estimados que apresentem classificações são de

fácil uso e interpretação; d) a adição ou retirada de um ou poucos genótipos não é causa de grandes variações nas estimativas. A metodologia é adequada em aplicações (seleção em programas de melhoramento) em que a posição relativa ou classificação dos genótipos é importante (LAVORANTI, 2003).

As metodologias univariadas, apesar de bastante difundidas na literatura, apresentam pelo menos um problema de abordagem biológica ou estatística fazendo com que suas interpretações sejam vistas com ressalvas, pois dados de experimentos envolvendo estudos de G x E com origem em multiambientes devem ser abordados com técnicas estatísticas de análise multivariada para que detecte os efeitos interativos de fatores (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988).

Os dados obtidos de experimentos realizados em multiambientes apresentam três aspectos fundamentais que são: a) o padrão estrutural; b) ruídos não estruturais; c) as relações entre genótipos, ambientes e interação G x E. O padrão implica que um número de genótipos responde a determinados ambientes de forma sistemática, significativa e interpretável; o ruído sugere que as respostas são imprevisíveis e não interpretáveis, sendo parte integrante da variabilidade estranha contida nos dados, e as relações entre genótipos, ambientes e interação G x E contém padrão e ruído que devem ser separados e explicados por análises multivariadas adequadas (CROSSA, 1990).

As análises multivariadas apresentam três objetivos principais: a) eliminar os ruídos presentes nos dados; b) sumarizar os dados; c) revelar a estrutura dos mesmos (JOHNSON; WICHERN, 1998). Nesse tipo de abordagem, não se parte da premissa de que os desvios de atividade, decorrentes do ajuste dos efeitos principais, sejam inteiramente resultantes da interação G x E, pois esses desvios podem conter ruídos e o descarte desses permitirá caracterizar melhor os fatores genéticos e ambientais realmente envolvidos nas interações dos genótipos com ambientes (DUARTE, 2001).

Os procedimentos multivariados podem ser divididos em dois grupos: o primeiro reuni as técnicas de ordenação, como a análise de componentes principais (ACP), análise de coordenadas principais e análise de fatores, e o segundo as técnicas de classificação, com análise de agrupamento e análise discriminante. O método AMMI, bem como as metodologias multivariadas citadas anteriormente, foram elaboradas com o objetivo de minimizar possíveis erros de estimação e garantir uma maior precisão e eficiência da análise de interação G x E (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988; DE CAUWER; ORTIZ, 1998; CROSSA, 1990; GAUCH; ZOBEL, 1996).



A ACP é a mais freqüentemente usada e possibilita a transformação dos dados a partir de um grupo de eixos de coordenadas em outro grupo, que preserve o máximo possível à configuração original do grupo de pontos e concentre a maior parte da estrutura dos dados no(s) primeiro(s) eixo(s) da análise. Admite-se que as variáveis originais definem um espaço Euclidiano na qual a similaridade entre itens é medida como distância Euclidiana (FLORES; MORENO; MARTINEZ; CUBERO, 1998).

Uma metodologia multivariada que vem ganhando espaço em utilização é a análise AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction), proposta inicialmente por Mandel (1971). Ela consiste de um modelo linear (efeitos aditivos) e bi-linear (efeito multiplicativo) que integra a ANOVA para efeitos aditivos principais (genótipos e ambientes) com a ACP para o efeito multiplicativo da interação G x E (GAUCH; ZOBEL, 1996). Esse método permite selecionar modelos que expliquem o padrão relacionado à interação ( $SQ_{G \times E}$  Padrão), descartando os ruídos presentes nos dados e sem interesse agrônômico ( $SQ_{G \times E}$  Ruídos). O número de eixos ou componentes da ACP retidos para a maioria das aplicações é o menor possível (dois ou três no máximo), com o qual se pretende reduzir a dimensão do sistema e fornecer uma descrição mais parcimoniosa à cerca da estrutura da interação (SHAFII; PRICE, 1998).

A análise AMMI pode auxiliar tanto na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados, como na realização do zoneamento agrônômico com a finalidade de recomendação regionalizada e seleção de locais de teste (GAUCH; ZOBEL, 1996). O método ainda permite a obtenção de estimativas mais precisas das respostas genotípicas e possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística por meio da representação em *biplot*. Esse tipo de representação gráfica apresenta simultaneamente linhas e colunas, referentes a uma matriz de dados, que pode indicar a existência de agrupamentos entre as observações e mostrar variâncias e correlações entre as variáveis (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988).

O método AMMI vem ganhando grande aplicabilidade nos últimos anos na análise de dados de experimentos, principalmente, em estudos da interação G x E. Vários trabalhos podem ser citados de diversos pesquisadores da área agrônômica que estudaram a interação G x E utilizando essa metodologia (GAUCH, 1988; GAUCH; ZOBEL, 1988; ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988; CROSSA, 1990; GAUCH 1990, 1992; CROSSA *et al.*, 1991; PIEPHO, 1995; GAUCH; ZOBEL, 1996; DE CAUWER; ORTIZ, 1998; DUARTE; VENCOVSKY, 1999; LAVORANTI, 2000; LAVORANTI *et al.*, 2001a; 2001b; THILLAINATHAN; FERNANDEZ, 2001; VARGAS *et al.*, 2001;

YAN *et al.*, 2001; LAVORANTI *et al.*, 2002; ROCHA, 2002; LAVORANTI, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2003). No entanto, alguns pontos negativos relacionados à metodologia AMMI devem ser relatados, tais como: a) dificuldade na interpretação da interação quando há baixa explicação do primeiro componente principal; b) dificuldade para quantificar os escores como baixos, considerando estáveis os genótipos e/ou ambientes; c) não apresenta o padrão de resposta do genótipo.

As técnicas multivariadas são estatisticamente muito complexas e a falta de disponibilidade de programas computacionais tem limitado bastante seu uso (FLORES; MORENO; MARTINEZ; CUBERO, 1998). Tais técnicas ganharão maior aceitação a partir do momento que os programas sejam mais informativos e de fácil uso, bem como sejam capazes de manejar experimentos com dados perdidos. Algumas mudanças podem ser evidenciadas nos trabalhos apresentados por Duarte e Vencovsky (1999) e Thillainathan e Fernandez (2001), utilizando o sistema SAS (SAS INSTITUTE, 2002) e o programa “Estabilidade” (Universidade Federal de Lavras, 2000), nos quais a análise AMMI é apresentada de forma detalhada.

Variáveis ambientais associadas com parâmetros de estabilidade para avaliar com maiores detalhes a interação G x E são utilizadas em alguns métodos. Isso é feito com os objetivos de estudar suas relações com o desempenho genotípico e entender as verdadeiras causas da interação G x E. As respostas fisiológicas diferenciais de genótipos a fatores edafoclimáticos, especialmente aqueles relacionados à eficiência nutricional e tolerância a estresses são relevantes para a interação G x E (BAKER, 1988). Informações sobre variáveis ambientais ou genotípicas, tais como dados meteorológicos ou características de solo quando disponíveis, podem ser correlacionadas ou regredidas sobre escores ambientais ou genotípicos estimados pelo modelo AMMI (VARGAS *et al.*, 2001).

Yan *et al.* (2001) propuseram um método para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica baseado na análise gráfica denominada de *biplot* GGE (efeitos principais de genótipos e da interação G x E). O *biplot* GGE é construído plotando-se os dois primeiros componentes principais de uma ACP e utilizando modelos de regressão de locais (SREG). O objetivo principal é identificar genótipos superiores para recomendação aos produtores e locais que melhor representem ambientes específicos ou mega-ambientes.

A interação G x E deve ser entendida em suas bases genéticas e ambientais, sendo de fundamental importância no melhoramento de plantas. Chaves (2001) comenta

que há a necessidade de se intensificar os estudos sobre a influência de genes específicos (genes que conferem resistência a fatores de estresse bióticos e abióticos) sobre a manifestação da interação G x E em caracteres complexos como a produtividade.

Alguns autores sugerem que o mapeamento de locos que controlam caracteres quantitativos (QTLs) e sua interação com o ambiente (interação Q x E) pode ajudar na elucidação das verdadeiras causas e na natureza da interação G x E relacionada a determinado grupo de genótipos e ambientes. Kang (1998) comenta que a identificação de QTLs mais estáveis em diferentes ambientes poderia ser utilizada em um esquema de seleção assistida para estabilidade fenotípica. Crossa *et al.* (1999) propõem modelos de regressão fatorial e parcial de mínimos quadrados para análises que envolvem marcadores moleculares e covariáveis ambientais objetivando estudar a interação Q x E relacionada à interação G x E.

Oliveira *et al.* (2004) também utilizaram o método de Annicchiarico (1992) para estudo da estabilidade fenotípica de híbridos comerciais de milho para silagem no Sul do Brasil e conseguiram identificar genótipos estáveis e adaptados.

Atroch, Soares e Ramalho (2000) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro em vários locais no estado de Minas Gerais utilizando as metodologias de Annicchiarico (1992), Lin e Binns (1988) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e verificaram que os materiais diferiram quanto à estabilidade da produtividade de grãos, com destaque para a cultivar Canastra e a linhagem CNA 6975-2. Por outro lado, as cultivares Maravilha e Confiança e a linhagem CNA 7911 mostraram-se instáveis.

O uso da metodologia AMMI no estudo da interação G x E, bem como dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade nas diversas culturas é encontrado em muitas partes do mundo. Entre esses estão o trigo (KAYA; PALTA; TANER, 2002; TARAKANOVAS; RUZGAS, 2006; MOHAMMADI *et al.*, 2007), o algodão (CAMPBELL; JONES, 2005), a linhaça (ADUGNA; LABUSCHAGNE, 2002), o trevo-branco (TARAKANOVAS; SPRAINAITIS, 2005), etc. A metodologia AMMI também foi utilizada na avaliação de cruzamentos dialélicos em trigo por Ortiz *et al.* (2001).

No Brasil há relatos do uso da metodologia AMMI em estudos com soja (MAIA *et al.*, 2006; MORAES *et al.*, 2003; OLIVEIRA; DUARTE; PINHEIRO, 2003; ROCHA, 2002; ROCHA; VELLO; LOPES; MAIA, 2004; ROCHA; VELLO, 1999),

milho (ARIAS, 1996; GONÇALVES, 1997), batata (PEREIRA; COSTA, 1998), feijão comum (BORGES *et al.*, 2000), eucalipto (LAVORANTI; DIAS; VENCOVSKY; 2002) e feijão-de-corda (FREIRE FILHO *et al.*, 2001; 2002; 2003; 2005; AKANDE, 2007; ROCHA *et al.*, 2006b; ROCHA *et al.*, 2007).

Nos trabalhos de Pereira e Costa (1998) com batata, o CPII (componente principal da interação 1) explicou 44% da  $SQ_{G \times E}$ . Nos trabalhos com feijão comum o CPII explicou 43 % (BORGES *et al.*, 2000). Enquanto, no trabalho com soja, o CPII explicou de 23 a 39 % (OLIVEIRA; DUARTE; PINHEIRO, 2003).

#### **2.4.1 Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijão-de-corda**

O feijão-de-corda é cultivado na maioria dos municípios do estado do Ceará em ambientes cujos fatores relacionados à clima solo e apresentam considerável variação. Como o serviço estadual de produção e distribuição de sementes não está estruturado de modo a atender demandas regionais específicas, comumente se procede à distribuição de um mesmo cultivar para as diferentes regiões produtoras dessa cultura (BARRETO, 1999). Tais condicionantes implicam que os materiais destinados ao plantio comercial no estado do Ceará devem ser portadores de um caráter básico, com ampla adaptabilidade, ou seja, materiais que apresentam a melhor média de rendimento agrônomico quando avaliados em um grande número de locais e diferentes situações de cultivo. Dentro deste cenário foram norteados os principais lançamentos e recomendações de cultivares realizados pela EPACE (Empresa de Pesquisa do Ceará), desde o 1<sup>a</sup> cultivar a EPACE 1 (em 1982 – ainda plantada em alguns municípios), a BR 1-Poty (em 1984), a EPACE 10 (em 1990 – até hoje a mais utilizada), até o último material proposto (BARRETO; QUINDERÉ; SÁ; SANTOS, 1996b) a EPACE V-96 (em 1996), que, submetido aos mais distintos ambientes alcançou um rendimento médio de 1.200 kg/ha, agregando estabilidade fenotípica quanto ao rendimento agrônomico (BARRETO, 1999).

As metodologias mais usadas para estudo da adaptabilidade e estabilidade de genótipos em feijão-de-corda são as baseadas em regressão linear. Entre essas, os métodos propostos por Yates e Cochran (1938), Finlay e Wilkinson (1963) (ALVES *et*

*al.*, 1982) e Eberhart e Russell (1966) (ABREU *et al.*, 2006; FERNANDES *et al.*, 1990; 1993; FREIRE FILHO; RIBEIRO, 1996a; 1996b; MIRANDA, *et al.*, 1992; SANTOS; ARAÚJO; MENEZES, 2000) são bastante utilizados. Em todos esses trabalhos, os autores identificaram genótipos com adaptação ampla (estáveis) e com adaptação específica a ambientes favoráveis (produtividade média alta) e desfavoráveis (produtividade média baixa).

Os métodos baseados em regressão bissegmentada mais usados no Brasil são os propostos por Silva e Barreto (1986) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989). No caso, do feijão-de-corda, ainda são poucos os relatos de uso dessas metodologias, como é o caso dos estudos conduzidos por Carvalho *et al.* (2006a), para estudar adaptabilidade e a estabilidade de linhagens avançadas de feijão-de-corda do grupo prostrado no biênio 2004-2005, em diferentes áreas dos estados de Sergipe e Alagoas para fins de recomendação. Os autores identificaram apenas genótipos com comportamento diferenciado nos ambientes desfavoráveis, porém genótipos com adaptabilidade ampla são mais interessantes para os diferentes sistemas de produção em execução na região.

Carvalho *et al.* (2006b) avaliaram linhagens avançadas de feijão-de-corda de porte ereto e encontraram a linhagem EVx 91-2E-2 e a cultivar BRS-Guariba com melhor desempenho em ambientes favoráveis. Carvalho *et al.*, (2006c) estudaram a adaptabilidade e a estabilidade de linhagens avançadas de feijão-de-corda do grupo prostrado, no biênio 2004-2005, nos estados de Alagoas e Sergipe e identificaram as linhagens MNC99-541F-5, Evx 63-10E, MNC00-553, D-8-1-2-2 e MNC99-537F-4 e a cultivar Patativa, evidenciando adaptabilidade ampla e se constituindo em excelentes alternativas para a agricultura regional. Enquanto, Carvalho *et al.* (2006d) investigaram a adaptabilidade e a estabilidade de linhagens avançadas de feijão-de-corda do grupo prostrado e concluíram que os genótipos avaliados comportam-se diferentemente nas condições desfavoráveis. Os autores utilizaram o método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) no estudo dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade.

O método da “ecoavalição” proposto por Wricke (1965) foi utilizado por Rocha *et al.* (2006a) na avaliação da estabilidade e adaptabilidade de 14 genótipos de feijão-de-corda para produção de feijão-verde. Os autores encontraram que o cultivar BRS-Guariba reunia boa adaptabilidade com alta estabilidade para a produtividade de grãos verdes.

Para avaliar um conjunto de linhagens de feijão-de-corda de porte prostrado para estabilidade de produção e adaptadas às condições de cultivo do estado de Roraima, Vilarinho *et al.* (2006) utilizaram a metodologia posposta por Annicchiarico (1992). Os autores encontraram que a linhagem 23, dentre as avaliadas, era a mais indicada para ser utilizada comercialmente ou para ser empregada em programas de melhoramento voltados para obtenção de cultivares para o estado de Roraima.

No trabalho de Rocha (2002) com soja, a exemplo do que ocorreu no trabalho de Freire Filho, Ribeiro, Rocha e Lopes (2003) com feijão-de-corda, a variação explicada pelos dois primeiros eixos foi baixa, mas a maioria desta foi explicada pelo padrão (poucos eixos significativos pelo teste  $F$  e muitos eixos – resíduo – não-significativos pelo teste  $F_R$ ). A não-significância do resíduo indica que a variação contida nos demais eixos (CPI3 ao CPI8) é desprezível e contém apenas ruído (variação aleatória não relacionada com o fenômeno da interação), que pode diminuir a eficiência da interpretação da estabilidade dos genótipos e ambientes na análise gráfica. Assim, a interpretação gráfica, considerando apenas a variação contida nos dois primeiros eixos da ACP, é suficiente para avaliar a estabilidade dos genótipos e ambientes (ROCHA, 2002).

Freire Filho, Ribeiro, Rocha e Lopes (2005) estudaram a adaptabilidade e estabilidade na produtividade em feijão-de-corda e encontraram que 72% do padrão contido na  $SQ_{G \times E}$  foi explicada pelos dois primeiros eixos. A interpretação gráfica desses resultados foi feita utilizando apenas os *biplots* com os modelos AMMI1 e AMMI2.

Akande (2007) estudou a interação genótipo x ambiente para a produtividade de grãos de oito cultivares de feijão-de-corda no sudoeste africano e encontrou maior variação para ambientes (61,32%). Entretanto, Rocha *et al.* (2007) encontrou 91,87% da  $SQ_{G \times E}$  explicada dentro do padrão pelo CPI1. Rocha *et al.* (2004) quantificou em 41, 10 e 29% para ambientes, genótipos e interação G x E, respectivamente. Rocha *et al.* (2006b) encontrou que o CPI1 explicou 33,37%, o CPI2 21,74% e o CPI3 66,24%, portanto, os três eixos explicaram 66,24%, e que todo o padrão adjacente a ela se concentrou nos três primeiros eixos.

#### 2.4.2 Comparação entre metodologias que avaliam a adaptabilidade e estabilidade fenotípica

A forma mais comum para comparar as metodologias é por meio da correlação entre seus parâmetros que medem a adaptabilidade e estabilidade fenotípica. As correlações mais usadas são as de Spearman e Pearson. Essa abordagem tem como principal objetivo verificar similaridades ou divergências quanto ao ordenamento dos genótipos com os ambientes. Outro tipo de comparação tem sido quanto que metodologia explicada em termos proporcionais da interação G x E. Uma terceira abordagem é em relação à capacidade de melhor caracterizar ou reunir informações dos genótipos e ambientes quanto à adaptabilidade e estabilidade.

Zobel, Madison e Gauch (1988) compararam a análise de variância (ANAVA), a regressão linear (RL), a análise de componentes principais (ACP) e a análise AMMI utilizando dados de produtividade de grãos (PG) em genótipos de soja avaliados em vários ambientes. Em seus resultados, os autores concluíram que a ANAVA foi ineficiente para detectar significância para a interação. A ACP falhou em identificar e separar os efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, e a RL descrevem apenas para uma pequena porção da soma de quadrados da interação (7,9%). Por outro lado, a análise AMMI exibiu uma alta significância para o componente da interação que apresenta claro significado agrônômico (o CPII explicou 71% da  $SQ_{G \times E}$ ). Assim, os autores concluíram que ANAVA, ACP e RL podem ser considerados como subcasos de um modelo mais completo como o modelo AMMI.

Em um estudo com trigo, Yau (1995) comparou a RL e o modelo AMMI e também evidenciou que o modelo AMMI explica mais a interação G x E do que a RL (37% contra 11%, respectivamente, da  $SQ_{G \times E}$ ).

Dashiel *et al.* (1994) realizaram um estudo comparativo envolvendo metodologias que apresentam parâmetros que combinam simultaneamente PG (produção de grãos) e estabilidade em soja. Foram comparados a PG, o coeficiente de regressão ( $\beta_i$ ) e a variância dos desvios da regressão ( $S^2 di$ ) de Eberhart e Russell (1966), a variância de “ranking” ( $Si^3$ ) de Huehn (1996), a medida de superioridade máxima (Pi) de Lin e Binns (1988) e a soma de ranque de Kang (1988). A PG foi correlacionada positivamente com  $\beta_i$  ( $r = 0,50$ ) e negativamente com Pi ( $r = - 0,84$ ) e a soma de ranque ( $r = 0,58$ ). O  $\beta_i$  foi negativamente correlacionado com Pi ( $r = - 0,47$ ),

enquanto o  $S^2 di$  foi positivamente correlacionada com  $Si^3$  ( $r = 0,72$ ) e a soma de ranque ( $r = 0,62$ ). Os parâmetros  $P_i$  e a soma de ranque apresentaram a mais alta correlação ( $r = 0,80$ ). Os autores concluíram que dada a magnitude de correlação entre  $P_i$  e  $P_i$ , o  $P_i$  é o melhor parâmetro para selecionar simultaneamente genótipos com produtividade e estabilidade fenotípica elevadas.

A repetibilidade de alguns parâmetros relacionados à adaptabilidade e estabilidade em soja foram estimados e comparados por Sneller *et al.* (1997). Os autores compararam as seguintes estatísticas: derivadas da análise AMMI, o coeficiente de regressão ( $\beta_i$ ), os desvios da regressão ( $S^2 di$ ), o parâmetro de Shukla ( $Si^2$ ) e a estatística não-paramétrica de Huehn ( $S^{(1)}$ ). As estatísticas derivadas da análise AMMI produziram informações sobre a estabilidade das cultivares similares àquelas fornecidas pelo  $S^2 di$  e  $Si^2$ . A repetibilidade da classificação dos genótipos por  $S^2 di$ ,  $Si^2$  e  $S^{(1)}$  e a maioria das estatísticas derivadas de AMMI foram baixas, indicando que essas estatísticas não seriam úteis para melhorar ou desenvolver seleção para estabilidade. A repetibilidade do  $\beta_i$  e de uma das estatísticas AMMI foi moderada, particularmente quando estimadas em ambientes envolvendo dois anos.

Aremu, Ariyo e Adewale (2007) compararam os seguintes parâmetros de estabilidade: produtividade (kg/ha), coeficiente ( $b_i$ ) e desvio de regressão ( $S^2 di$ ) de Eberhart e Russell (1966), ecovalência de Wricke (1965),  $P_i$  de Lin e Binns (1988),  $Si^3$  de Huehn (1979) e a soma de ranque de Kang e Pham (1991), concluindo que a correlação positiva entre o coeficiente de regressão e a produção de grãos de feijão-decorda indicou que os genótipos foram responsivos aos diferentes ambientes. A soma de quadrados dos desvios também registrou correlação negativa com a produção explicando a possibilidade de seleção de genótipos baseada no desempenho consistente. A correlação positiva entre  $Si^3$  de Huehn (1979),  $P_i$  e a soma de ranque indica que o  $Si^3$  e o  $P_i$  como parâmetros de seleção podem ser permutados para se conseguir sucesso na seleção de genótipos altamente produtivos. A magnitude do coeficiente de correlação entre a produção e a soma de ranque nesse estudo coloca a soma de ranque como a técnica preferida quando a seleção para alta produção é uma recompensa que é obtida em associação quando se estar selecionando para outros caracteres.

O trabalho de Dashiel *et al.* (1994) avaliou a estatística  $P_i$  como a melhor técnica na seleção de genótipos altamente produtivos. Entretanto, quando a adaptação a locais específicos é o foco, o valor das técnicas com coeficientes de regressão pode ser



usado ao lado de outras técnicas de seleção para se evitar a duplicação de resultados emanados pelo uso das técnicas com base na regressão.

A comparação entre parâmetros que avaliam a adaptabilidade e a estabilidade foi realizada por meio da correlação de Spearman ( $r_s$ ) entre o ordenamento de linhagens de soja para a produtividade de óleo, de acordo com os seguintes parâmetros: média ( $m_i$ ), coeficiente de regressão de Eberhart e Russell (1966) ( $\beta_i$ ), ecovalência de Wricke (1965) ( $\omega_{Wi}$ ), ecovalência AMMI ( $\omega_{Ai}$ ), variância dos desvios da regressão ( $\sigma^2 di$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os autores concluíram que a seleção simultânea para adaptabilidade e estabilidade da produção de óleo em soja é difícil e requer a associação entre um parâmetro de estabilidade e outro de adaptabilidade (ROCHA *et al.*, 2006c).

Silva e Duarte (2006) avaliaram genótipos de soja no estado de Goiás safra 2002/2003, quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelos seguintes métodos: Tradicional (OLIVEIRA, 1976), Plaisted e Peterson (1959), Finlay e Wilkinson (1963), Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Verma, Chahal e Murty (1978), AMMI (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988), Lin e Binns (1988), Huehn (1990), Toler (1990) e Annicchiarico (1992). A associação entre os métodos foi avaliada pela correlação de Spearman. Os autores concluíram que os métodos de Plaisted e Peterson (1959) e Wricke (1965) apresentam grande concordância entre si, o que não indica seu uso concomitante. Os métodos de Annicchiarico e Lin e Binns mostraram forte associação entre si e produziram classificações genotípicas similares quanto à estabilidade fenotípica. Portanto, o uso simultâneo dos dois não é recomendado. Entretanto, o uso de um deles em combinação com o de Eberhart e Russell (1966) pode agregar informação à análise de estabilidade. A associação relativamente fraca ( $r_s = 0,52$ ) entre os métodos de Eberhart e Russell (1966) e AMMI, aliada à complementaridade de suas informações permite indicar o seu uso combinado em estudos de estabilidade e adaptabilidade fenotípica.

Murakami, Cardoso, Cruz e Bizão (2004) avaliaram a capacidade de discriminação genotípica das metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) em híbridos de milho para a produção de grãos entre outros caracteres agronômicos. Os autores concluíram que: a metodologia de Lin e Binns (1988) foi mais discriminante do que a de Eberhart e Russell (1966), por isso mais eficiente e indicada para estudo de estabilidade fenotípica.

Farias *et al.* (1997) compararam os parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) e Eberhart e Russell (1966) para rendimento de algodão em caroço por meio da correlação de Spearman. Segundo os autores, as duas metodologias avaliadas forneceram as mesmas informações com relação à superioridade dos materiais, destacando-se as cultivares CNPA 85-241 e CNPA 6H que apresentaram alta adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Pela facilidade de cálculo e de interpretação e por não apresentar restrições à sua utilização o método de Lin e Binns (1988) é bastante promissor.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material vegetal**

Foram utilizadas quinze cultivares de feijão-de-corda procedentes do Banco Ativo de germoplasma (BAG) do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa – Meio Norte, localizado em Teresina, no Piauí. Esses materiais fazem parte do Ensaio Avançado de Porte Prostrado (EAP), constantes do projeto “Desenvolvimento de cultivares e sistemas de produção para o agronegócio de feijão-caupi no Brasil – Código 02.02.4.13.00, que tem por objetivo identificar, de forma conclusiva para lançamento no mercado, as cultivares mais produtivas, com boa adaptação, boa produtividade, aceitação comercial e resistentes ou tolerantes às principais pragas e doenças. As variáveis relativas a origem, cor e peso de 100 grãos dessas cultivares encontram-se no Apêndice A.

#### **3.2 Ambientes de condução dos experimentos**

Os experimentos foram instalados nos anos agrícolas de 2006 e 2007, nos municípios de Alto Santo, Barreira, Crateús, Itapipoca e Limoeiro do Norte, todos localizados no estado do Ceará na região Nordeste do Brasil. A caracterização espacial dos municípios encontra-se no Anexo B, realizada com base nos agropólos de desenvolvimento agrícola, segundo Secretaria de Agricultura do Estado.

No Apêndice C são apresentadas as informações referentes as precipitações pluviais verificadas durante a fase de condução dos experimentos com base nos dados da FUNCEME. No Apêndice D são mostradas as análises dos solos relativos às áreas experimentais utilizadas nos cinco locais, e no Apêndice E as recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará.

O preparo do solo foi similar para todos os experimentos e consistiu de um roço e duas gradagens. Não foi realizada adubação conforme recomendação da Embrapa

Meio-Norte para a condução dos ensaios. Os experimentos foram conduzidos em condições de sequeiro. Controles de pragas (principalmente lagartas) e de plantas daninhas, quando necessários, foram feitos com aplicações de inseticida (Ortene, 25 g/20 l e Furadan 30 g/20 l) e capinas manuais, respectivamente.

### **3.3 Procedimentos experimentais**

As sementeiras ocorreram na época normal de cultivo para o período de chuvas no estado do Ceará (cultivo de sequeiro), nas seguintes datas: 10/03/2006 e 02/03/2007 (Alto Santo), 22/02/2006 e 27/02/2007 (Barreira), 22/03/2006 e 12/03/2007 (Crateús), 08/03/2006 e 20/03/2007 (Itapipoca) e 02/03/2006 e 01/03/2007 (Limoeiro do Norte).

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quinze tratamentos e 4 repetições. A parcela experimental foi similar em todos os experimentos e teve dimensões de 3,0 m x 5,0 m com área de 15,0 m<sup>2</sup>, sendo representada por quatro fileiras de 5 metros de comprimento, espaçadas de 0,75 m entre, e 0,25 m dentro das fileiras, ou seja, entre as covas, o que resultou em 20 covas/fileira, tendo sido colocado 3-4 sementes/cova. A área útil para a tomada de dados compreendeu as duas fileiras centrais de cada parcela, totalizando 7,5 m<sup>2</sup>. O esquema de campo é apresentado no Apêndice E. O desbaste foi feito aos 15 dias após plantio, com compensação das falhas, deixando-se em média duas plantas por cova.

A colheita foi realizada quando a maior parte das vagens da parcela apresentava-se madura, sendo realizadas duas ou mais colheitas para máximo aproveitamento. O restante da secagem das vagens foi realizada ao sol e 3 a 5 dias foram suficientes para reduzir a umidade. Após secagem, as vagens de cada parcela foram trilhadas, os grãos limpos manualmente e em seguida inicia-se a coleta dos dados.

### 3.4 Carácter avaliado

Embora os caracteres peso de 100 grãos, comprimento da vagem, número de grãos por vagem e produtividade tenham sido avaliados em todos os experimentos, apenas a produtividade de grãos (kg/ha) foi analisada no presente trabalho.

### 3.5 Análises estatísticas

Com o objetivo de verificar a existência de dados discrepantes realizou-se com os dados para a produtividade de grãos a análise de seus resíduos. Essa análise envolve os resíduos padronizados e o valor ajustado (predito pelo modelo) para cada observação. O resíduo padronizado ( $d_{ij}$ ) é calculado por meio da seguinte expressão:

$$d_{ij} = e_{ij} / \sqrt{QMRes}$$

Onde:  $e_{ij}$ : resíduo resultante do ajuste do modelo escolhido, dado por:  $e_{ij} = [Y_{ij}(\text{observado}) - Y_{ij}(\text{ajustado})] = m + t_i + b_j$

QMRes: quadrado médio do resíduo obtido na análise de variância para o referido modelo.

A análise dos resíduos permite detectar os dados discrepantes e a falta de homogeneidade de variâncias auxiliando no ajustamento dos erros e na aditividade do modelo matemático. Após a detecção dos dados discrepantes, que foram retirados, realizou-se novamente a análise de resíduos, agora substituindo-se as observações discrepantes pelos seus correspondentes valores ajustados. Após, foram realizadas as análises subsequentes. A análise de resíduos foi realizada por meio do programa estatístico SAS (SAS, 2002).

### 3.5.1 Análises de variâncias

Objetivando verificar a existência de diferenças entre conjuntos experimentais, realizaram-se análises individuais de variância, seguidas de análise conjunta para os cinco locais (conjunta por ano) e conjunta geral (incluindo as avaliações nos cinco locais e dois anos). Para isso, utilizou-se os esquemas de análises de variância mostrados nos Apêndices F, G e H, respectivamente, para as análises individuais, conjunta/ano e conjunta geral.

#### 3.5.1.1 Análises individuais

Com a finalidade de se conhecer o comportamento dos genótipos em cada ambiente realizaram-se análises de variância individuais. O modelo matemático adotado para a análise individual de variância seguiu o modelo da equação 1:

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

Em que:

$Y_{ij}$  : valor observado do genótipo “i” na repetição “j”

$\mu$  : média geral;

$g_i$  : efeito do genótipo;

$\beta_j$  : representa o efeito do bloco;

$\xi_{ij}$  : erro aleatório (causa de variação desconhecida e não controlada)

associado ao tratamento i na repetição j.

O teste de homogeneidade de variâncias de Hartley (1950) foi realizado antes de se proceder às análises conjuntas por ano. Esse teste obedece ao critério de

relação máxima igual a 7 para o quociente entre o maior e menor quadrados médios do erro (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

### 3.5.1.2 Análises conjuntas

Realizou-se uma análise conjunta de variância para os genótipos reunindo os cinco locais, dentro de cada ano, tendo como principal objetivo determinar possíveis interações de genótipos com locais. O modelo matemático utilizado seguiu o modelo da equação 2:

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

Em que:

$Y_{ijk}$ : valor observado do tratamento genético “i” no ambiente “j” na repetição “k”;

$\mu$ : média geral;

$g_i$ : 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 da repetição “k” dentro do ambiente “j”;

$\xi_{ijk}$ : erro experimental associado à parcela  $ijk$ .

Por último, foi realizada uma análise de variância conjunta envolvendo o efeito de anos, tendo como principal objetivo determinar possíveis interações de genótipos com locais e anos. O modelo matemático utilizado seguiu o modelo apresentado na equação 3:

$$Y_{ijlm} = \mu + G_i + A_m + L_l + (B/A) / L_{(j/m)l} + GA_{im} + GL_{il} + AL_{ml} + GAL_{iml} + \xi_{ijlm} \quad (3)$$

Em que:

$Y_{ijlm}$  : observação do genótipo “i”, na repetição “j”, no local “l”, no ano “m”;

$\mu$  : média geral do caráter;

$g_i$  : efeito fixo do genótipo “i”;

$L_l$  : efeito fixo do local “l”;

$A_m$  : efeito aleatório do ano “m”;

$(B/A)/L_{(j/m)/l}$  : efeito aleatório do bloco “j” dentro do ano “m” dentro do

local “l”;

$GA_{im}$  : efeito aleatório da interação entre o genótipo “i” e o ano “m”;

$GL_{il}$  : efeito fixo da interação entre o genótipo “i” e o local “l”;

$AL_{ml}$  : efeito aleatório da interação entre o local “l” e o ano “m”;

$GAL_{iml}$  : efeito aleatório da interação entre o genótipo “i”, o local “l” e o ano

“m”;

$\xi_{ijlm}$  : erro aleatório experimental médio associado à parcela “ijlm”,

admitindo ser independente e com distribuição normal de média zero e variância  $s^2$ .

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa GENES (Aplicativo computacional em estatística aplicado à genética, 1998, versão 2006.4.1) (CRUZ, 2001) e SAS (SAS, 2000).

### 3.5.2 Análises das médias

Foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias de cada genótipo dentro de cada ambiente por ano, entre os anos agrícolas e no geral (comparando todos os ambientes). O teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, foi usado para comparação das médias gerais de cada genótipo com a testemunha considerada, ou seja, o genótipo Epace 10.



### 3.5.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica

Para a análise da adaptabilidade e de estabilidade fenotípica dos genótipos, considerou-se como ambiente, a combinação de ano e local. Assim, pela combinação dos cinco locais (Alto Santo, Barreira, Crateús, Itapipoca e Limoeiro do Norte) com os dois anos agrícolas (2006/2007), foram obtidos 10 ambientes, quais sejam: Alto Santo/2006 (AS06), Barreira/2006 (BA06), Crateús/2006 (CR06), Itapipoca/2006 (IT06), Limoeiro/2006 (LN06), Alto Santo/2007 (AS07), Barreira/2007 (BA07), Crateús/2007 (CR07), Itapipoca/2007 (IT07) e Limoeiro/2007 (LN07), dos quais oito foram utilizados para as análises estatísticas, sendo excluídos CR07 e IT07, devido a discrepância dos dados. A análise foi realizada com as médias de cada ambiente.

Utilizou-se quatro metodologias para avaliar a adaptabilidade e estabilidade das cultivares: a) Eberhart e Russell (1966); b) Cruz, Torres e Vencovsky (1989); c) Lin e Binns (1988); d) AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988).

O método de Eberhart e Russell (1966) baseia-se na análise de regressão linear simples. O esquema da análise de variância é apresentado no Apêndice I. O modelo matemático seguiu o esquema da equação 4:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Em que:

$Y_{ij}$  : a média do genótipo “i” no ambiente “j”;

$\mu_i$  : a média do genótipo “i” em todos os ambientes;

$\beta_i$  : o coeficiente de regressão linear, que descreve a resposta do genótipo “i”

a todos os ambientes;

$I_j$  : o índice ambiental;

$\delta_{ij}$  : o desvio da regressão do genótipo “i” no ambiente “j”;

$\varepsilon_{ij}$  : o erro associado à média.

O parâmetro de adaptabilidade ( $b_i$ ) foi estimado de acordo com a equação 5:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n Y_{ij} I_j}{\sum_{j=1}^n I_j^2} \quad (5)$$

Em que:

$Y_{ij}$  : média do genótipo “i” no ambiente “j”;

$I_j$  : índice ambiental, seguiu a equação 6:

$$I_j = \left[ \left( Y_j / p \right) - \left( Y / pn \right) \right] \quad (6)$$

Em que:

$Y_j$  : média de todos os genótipos no ambiente “j”;

$Y$  : média geral;

$n$  : número de genótipos;

$p$  : número de ambientes.

Segundo Eberhart e Russell (1966), os genótipos podem ser classificados quanto à adaptabilidade em três grupos: a) adaptabilidade geral com  $b_i = 1$  que apresenta média acima da média geral é o tipo desejável em ambientes com muitas variações imprevisíveis; b) adaptabilidade específica a ambientes favoráveis com  $b_i > 1$  que agrupa os genótipos com alto desempenho em ambientes favoráveis; c) adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis com  $b_i < 1$  que agrupa os genótipos que se destacam em ambientes desfavoráveis.

As estimativas para  $b_i$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0: b_i = 1$  e hipótese alternativa  $H_1: b_i \neq 1$ , utilizando-se a estatística t que seguiu a equação 7:

$$t = [(b_i - 1) / (\sqrt{QMD_i / SQI_j})] \quad (7)$$

O parâmetro de estabilidade ( $s^2 d_i$ ) foi estimado de acordo com a equação 8:

$$s^2 d_i = [(QMD_i / QMR / r)] \quad (8)$$

Em que:

$QMD_i$ : é o quadrado médio dos desvios de regressão do genótipo “i”;

$QMR$ : é o quadrado médio do resíduo;

$r$ : é o número de repetições.

As estimativas para  $s^2 d_i$  foram testadas segundo a hipótese  $s^2 d_i H_0: = 0$  e  $H_1: s^2 d_i \neq 0$ , utilizando-se o teste F que seguiu a equação 9:

$$F = (QMD_i / QMR) \quad (9)$$

Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2004), podem ocorrer genótipos com produtividades médias superiores que apresentem  $\delta_{ij}^2$  estatisticamente diferente de zero e pode ser necessária a seleção de alguns genótipos do grupo em que a estabilidade é baixa. Nesses casos, uma medida auxiliar de comparação entre genótipos é o coeficiente de determinação  $R^2_i$  que segue a equação 10:

$$R^2_i = [(SQRLin\text{ear})_i / SQ(A / G_i)] \times 100 \quad (10)$$

Em que:

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

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

Para os referidos autores, os genótipos podem ser classificados quanto à estabilidade em genótipos de alta estabilidade ( $s^2d_i = 0$ ) e genótipos de baixa estabilidade ( $s^2d_i \neq 0$ ). Dentro dessa concepção, uma cultivar ideal (EBERHART; RUSSELL, 1966) apresenta média alta para o caráter em estudo ( $m_i$ ) alto,  $b_i = 1$  (adaptação ampla) e  $s^2d_i = 0$  (estabilidade).

A metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) é uma metodologia operacionalmente mais simples e com propriedades estatísticas mais adequadas aos propósitos do melhoramento, pois, baseia-se na análise de regressão bissegmentada, considerando como parâmetros de adaptabilidade a média ( $\beta_0$ ) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) e desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelos desvios de regressão ( $\delta^2_\delta$ ) de cada genótipo e pelo valor do coeficiente de determinação, em função das variações ambientais. O modelo segue a equação 11:

$$Y = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \xi_{ij} \quad (11)$$

Em que:

$Y_{ij}$ ,  $\beta_{0i}$ ,  $I_j$  e  $\xi_{ij}$  são as variáveis definidas anteriormente, e

$$T(I_j) \begin{cases} = 0, se I_j \leq 0 \\ = I_j - I_+, se I_j \geq 0 \end{cases}$$

Sendo que  $I_+$  é a média dos índices  $I_j$  positivos.

As estimativas para  $(\beta_{1i})$  e  $(\beta_{1i} + \beta_{2i})$  foram testadas segundo a hipótese  $H_0$ :  $(\beta_{1i}), (\beta_{1i} + \beta_{2i}) = 1$  e 0, sendo a hipótese alternativa  $H_1$ :  $(\beta_{1i}), (\beta_{1i} + \beta_{2i}) \neq 1$  e 0, utilizando a estatística t, dada pela equação 7.

O desvio de regressão ( $\sigma^2_\delta$ ) de cada genótipo e o coeficiente de determinação seguiram as respectivas equações, 12 e 13:

$$\sigma^2_\delta = \frac{QMD_1 - QMR}{r} \quad (12)$$

$$R^2 = \frac{100 \times SQRe\ g_1}{SQ(A/G_1)} \quad (13)$$

Para Cruz, Torres e Vencovsky (1989), o genótipo preconizado como ideal teria média alta,  $\beta_{1i} < 1$ ,  $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$  e  $\sigma^2_\delta = 0$ .

O parâmetro  $P_i$  de Lin e Binns (1988) é descrito como o quadrado médio da distância entre a resposta de um determinado genótipo em relação à resposta do genótipo que apresenta maior desempenho. O modelo matemático seguiu a equação 14:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - Y_{M(j)})^2}{2e} \quad (14)$$

Em que:

$P_i$ : estimativa do parâmetro de adaptabilidade e estabilidade do genótipo “i”;

$Y_{ij}$ : produtividade do genótipo “i” no ambiente “j”;

$Y_{M(j)}$ : resposta máxima observada entre todos as cultivares no ambiente “j”;

$e$ : número de ambientes.

Para se entender como a estatística  $P_i$  alia adaptabilidade e estabilidade, deve-se considerar que, nos métodos que avaliam o desempenho dos cultivares mediante a análise de regressão, o índice ambiental é a diferença entre a média dos

genótipos em cada local e a média geral representa a variável dependente. Assim, o coeficiente de regressão da média dos genótipos avaliados em cada local em função dos índices ambientais é igual à unidade, visto que o índice ambiental é a própria variável dependente (média dos genótipos em cada local) subtraída de uma constante, que no caso é a média geral. Partindo-se desse pressuposto, conclui-se que a regressão do valor máximo, ou resposta máxima de cada local em função dos índices ambientais, também apresentará coeficiente de regressão igual, ou muito próximo, à unidade.

Para a análise AMMI foram necessárias duas etapas sequenciais. Na primeira, calcula-se os efeitos principais, a parte aditiva (média geral, efeitos de genótipos e ambientes) que foi ajustada por meio da análise de variância (ANAVA), resultando em um resíduo de não aditividade (interação G x E). Na segunda etapa, calcula-se os efeitos da interação (parte multiplicativa do modelo) que foi analisada pela Análise de Componentes Principais (ACP). O esquema da análise de variância é apresentado no Apêndice J. O modelo geral seguiu aquele apresentado por Duarte e Vencovsky (1999), segundo a equação 15:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \xi_{ij} \quad (15)$$

Em que:

$\mu$  : a média geral;

$g_i$  : o efeito principal do genótipo “i”;

$e_j$  : o efeito principal do ambiente “j”;

$\xi_{ij}$  : erro experimental médio.

A interação G x E foi modelada de acordo com a equação 16:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} \quad (16)$$

Em que:

$\lambda_n$  : é o autovalor do n-ésimo componente principal da interação (CPI) retido no modelo AMMI;

$v_{in}$  : é o autovetor do i-ésimo genótipo no n-ésimo CPI;

$\alpha_{jk}$  : é o autovetor do j-ésimo ambiente no n-ésimo CPI;

$\rho_{ij}$  : o resíduo da interação G x E ou resíduo AMMI;

n: o número de CPI's retidos no modelo;

A análise tem por objetivo resumir grande parte da interação G x E em apenas uns poucos eixos ( $SQ_{G \times E}$  Padrão), utilizando assim, poucos graus de liberdade, resultando num modelo reduzido, que descarta um resíduo adicional ( $SQ_{G \times E}$  Ruídos). Os sistemas mais populares para atribuição dos graus de liberdade a um modelo AMMI são os sistemas de Gollob (1968) e Mandel (1971) (GAUCH; ZOBEL, 1996). Testes alternativos a esses tem sido sugeridos, como é o caso dos testes  $F_{GHI}$  e  $F_{GH2}$  (CORNELIUS, 1993), o teste  $F_R$  (CORNELIUS; SEYEDSADR; CROSSA, 1992) e a razão de sinal para o ruído (GAUCH, 1992).

A atribuição dos graus de liberdade relacionada a cada membro da família AMMI é vista com ressalvas e merece um estudo mais detalhado. Comparações entre diferentes testes para a seleção do modelo AMMI tem sido pouco relatadas na literatura. Piepho (1995) investigou a qualidade de alguns testes alternativos para selecionar um modelo AMMI e observou que o teste  $F$  aplicado de acordo com o critério de Gollob (1968) é bastante liberal em selecionar mais termos multiplicativos do que o verdadeiro modelo contempla. Todavia, o teste  $F_R$  de Cornelius, Seyedsadr e Crossa (1992) mostrou-se como o mais robusto e indicado. Lavoranti *et al.* (2001b) utilizaram o teste  $F_R$  como critério para a seleção de modelos AMMI em um estudo envolvendo progênies de eucalipto. Os autores encontraram que o uso do mesmo possibilitou uma interpretação adequada dos dados com a escolha do modelo AMMI ideal. Segundo Annicchiarico (1997), a preferência do tipo de teste deve depender do número de genótipos, locais e anos dos testes.

Como um dos procedimentos mais usuais para a definição do número de eixos a serem retidos, o teste  $F_R$  de Cornelius, Seyedsadr e Crossa (1992) consiste em determinar os graus de liberdade associados à parcela da  $SQ_{G \times E}$  relacionada a cada

membro da família de modelos AMMI ( $AMMI_0, AMMI_1, \dots, AMMI_n$ ). Obtém-se, então, o quadrado médio (QM) correspondente a cada modelo. Em seguida, é obtido um teste  $F$  avaliando a significância de cada componente em relação ao QM Erro Médio. Dessa forma, o ponto de parada que determina a seleção do modelo, baseia-se na significância do teste  $F$  para os sucessivos termos da interação.

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 ACPI (CPI1), foi construído o *biplot* AMMI1, que utiliza o eixo das abscissas para representar os efeitos principais (médias de genótipos e de ambientes) e o das ordenadas para expressar os escores de genótipos e ambientes referentes ao CPI1. A interpretação de um *biplot* quanto à interação G x E é feita observando-se a magnitude e o sinal dos escores de genótipos e ambientes para o(s) eixo(s) que representam a interação. 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 (CPI1). Logo, os pontos situados na faixa horizontal em torno de zero em relação ao CPI1 correspondem aos genótipos e ambientes mais estáveis. Num *biplot* AMMI2, genótipos e ambientes estáveis são aqueles cujos pontos situam-se próximo à origem, ou seja, com escores praticamente nulos para os dois eixos da interação (CPI1 e CPI2) (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. Tem-se observado, em alguns trabalhos, que nem sempre essa relação se mostra perfeitamente interpretável graficamente. Assim, para maior segurança, confirmou-se tal relação adaptativa pelo uso de tabelas auxiliares que mostram as médias previstas pelo modelo AMMI selecionado para cada combinação de genótipo e ambiente. Em ambientes estáveis, o ordenamento dos genótipos deve ser mais consistente. Esse tipo de análise gráfica fornece informações sobre a estabilidade de genótipos e de ambientes, além de permitir a realização de zoneamentos ecológicos com a seleção de locais chaves para futuros testes (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

Quando os ambientes representam um mesmo local em diferentes anos, valores baixos para o(s) eixo(s) de interação indicam que a classificação de genótipos de



um ano para outro, neste local, é pouco variável, resultando numa classificação mais consistente. Uma maior repetibilidade da classificação, ao longo dos anos, está associada a uma maior confiabilidade na seleção de genótipos (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Com o propósito de complementar as interpretações da análise AMMI, foi feito o cálculo do parâmetro  $A_i$  que seguiu a equação 17:

$$A_i = \sum_{j=1}^n (GXE_{AMMI})^2_{ij} \quad (17)$$

Em que:

$A_i$  : a interação predita para o genótipo “i” pelo modelo AMMI

selecionado;

A interação G x E<sub>AMMI</sub> foi estimada de acordo com a equação 18:

$$(GXE_{AMMI})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..} \quad (18)$$

Em que:

$Y_{ij}$  : a média do genótipo “i” no ambiente “j” predita pelo modelo AMMI

selecionado;

$\bar{Y}_{i.}$  : a média do genótipo “i” predita pelo modelo AMMI selecionado;

$\bar{Y}_{.j}$  : a média do ambiente “j” predita pelo modelo AMMI selecionado;

$\bar{Y}_{..}$  : a média geral predita pelo modelo AMMI selecionado.

O somatório dos  $A_i$  corresponde à soma de quadrados da interação G x E predita pelo modelo AMMI selecionado. Dessa forma, é possível calcular, para cada linhagem, a porcentagem da interação G x E predita pelo modelo AMMI ( $A_i$  %) que seguiu a equação 19:

$$A_i \% = (A_i / \sum A_i) \times 100 \quad (19)$$

Os coeficientes de determinação foram calculados para verificar: a) a influência relativa das fontes de variação (genótipo (G), ambientes (E) e interação G x E) sobre a variação total entre tratamentos (equação 20); b) a proporção da interação G x E explicada pela regressão linear de Eberhart e Russell (1966) (equação 21); c) a proporção determinada pelos CPIs da análise AMMI em relação à interação G x E (equação 22), como se segue:

$$R^2 = [(SQ_{G'E'GXE'}) / SQ_T] \times 100 \quad (20)$$

Em que:

$SQ_g$  : a soma de quadrados de genótipos;

$SQ_e$  : a soma de quadrados de ambientes;

$SQ_{GXE}$  : a soma de quadrados da interação G x E;

$SQ_T$  : a soma de quadrados de tratamentos.

$$R^2 = [(SQ_{GXELinear}) / SQ_{(A/G)}] \times 100 \quad (21)$$

Em que:

$SQ_{GXELinear}$  : a soma de quadrados da interação Gx E linear;

$SQ_{(A/G)}$  : soma de quadrados de ambientes dentro de genótipo;

$$R^2 = [SQ_{CPI} / SQ_{GXE}] \times 100 \quad (22)$$

Em que:

$SQ_{CPm}$  : soma de quadrados do componente principal da interação n;

$SQ_{GXE}$  : soma de quadrados da interação G x E.

A análise AMMI foi realizada utilizando-se os procedimentos GLM e IML do programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2002), de acordo com o sugerido por Duarte e Vencovsky (1999). Para as metodologias de Eberhart e Russell (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e Lin e Binns (1988), utilizou-se o programa GENES (Aplicativo computacional em estatística aplicado à genética, 1998, versão 2006.4.1) (CRUZ, 2001).

### 3.5.4 Análise de correlações

A comparação entre parâmetros fornecidos pelas quatro metodologias foi realizada por meio da correlação de Spearman. Os seguintes parâmetros foram adotados: média ( $m_i$ ), ( $\beta_{1i}$ ) para ambientes desfavoráveis, ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) para ambientes favoráveis, coeficiente de regressão ( $b_i$ ), variância dos desvios da regressão ( $\delta_{ij}^2$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o parâmetro  $P_i$  e a interação predita pelo modelo AMMI selecionado ( $A_i$ ). O coeficiente de correlação de Spearman seguiu a equação 23 apresentada por Miranda (1999):

$$rs = 1 - \left( \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \right) \quad (23)$$

Em que: n – número de genótipos avaliados;

$d_i^2$  - diferença entre o ordenamento dos genótipos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivo do feijão-de-corda é realizado predominantemente sob condições de sequeiro e, nessas condições, a evolução dos ensaios transcorreu normalmente nos cinco locais e nos dois anos agrícolas, conforme as condições edafoclimáticas a que as plantas foram submetidas. Uma visão geral dos ensaios nos ambientes BA07 e LN07 pode ser observada nos Apêndices K e L.

### 4.1 Análises de variância individuais e conjuntas

A análise exploratória dos dados por meio da análise gráfica dos resíduos detectou a presença de dados discrepantes para alguns dos ensaios. Neste caso houve a substituição desses dados por seus respectivos valores preditos para garantir à homogeneidade de variâncias e a normalidade dos resíduos, o que os deixou adequados às análises subsequentes.

As análises de variâncias individuais são apresentadas na Tabela 1. Percebe-se que houve diferença significativa para a produtividade de grãos entre os genótipos em todos os ambientes (local e ano).

**Tabela 1** – Resumo da análise de variância individual, referente à produtividade de grãos (kg/ha), para feijão-de-corda nos ambientes em estudo no dos anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.

Fontes de variação	GL	Blocos	Tratamentos	Resíduo	Média geral (kg/ha)	CV (%)
		(B)	(T)	(R)		
		3	14	42		
Ambiente AS06		885321,83**	393307,19**	40904,42	1038,26	19,48
Ambiente BA06		74675,99**	315865,38**	12894,81	824,56	13,77
Ambiente CR06		351192,86**	247851,88**	12835,10	932,8	12,14
Ambiente IT06		329391,20**	200237,71**	16165,21	547,16	23,24
Ambiente LN06		163302,98 <sup>ns</sup>	346300,14**	64041,07	1324,3	19,11
Ambiente AS07		673696,3**	563615,61**	79871,64	958,89	29,47
Ambiente BA07		88886,34*	57672,51*	23441,53	600,25	25,51
Ambiente LN07		114680,27**	80246,63**	20835,62	504,88	28,59

\*\*,\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As produtividades médias oscilaram de 1.324,3 kg/ha (LN06) a 504,88 kg/ha (LN07), destacando-se os ambientes LN06, AS06, AS07 e CR06, como os mais favoráveis à expressão da produtividade de grãos por terem apresentado as maiores médias (Tabela 1). As produtividades médias alcançadas nesses ambientes reafirmaram as condições ambientais propícias dessas áreas tidas como tradicionais para o cultivo de feijão-de-corda no Ceará.

Um dos fatores que provavelmente influenciou o comportamento diferencial dos genótipos ao longo dos ambientes testados foi o fator abiótico precipitação, que no período de 2006 e 2007, os locais utilizados para o estudo apresentaram, respectivamente, médias pluviométricas de 839,12 mm e de 519,8 mm, donde se conclui que em 2006 as chuvas superaram a média histórica de 718,4 mm do estado do Ceará (Apêndice B). Já em 2007 essa média ficou abaixo desse valor de referência, o que caracteriza um ano de seca. Além disso, anos com baixa precipitação pluvial também evidenciam uma má distribuição das chuvas, reduzindo, portanto, a água disponível para as plantas nos seus diferentes estádios fenológicos, comprometendo, assim, o desenvolvimento e a produção das culturas.

Os dados de produção de Crateús e de Itapipoca, no ano de 2007, não constaram das análises estatísticas porque não atenderam as exigências mínimas relativas ao modelo adotado. Nos ensaios instalados nesses dois municípios as produtividades foram bem inferiores às obtidas nos demais locais estudados naquele ano. Em Crateús devido à baixa precipitação pluvial registrada (412 mm, ainda mal distribuída, no transcorrer do ciclo da cultura), apesar do feijão-de-corda ser tida como uma espécie vegetal relativamente bem adaptada à seca. Já em Itapipoca, embora a precipitação e a distribuição das chuvas tenham ocorrido dentro da normalidade exigida para a cultura, a produção foi bem abaixo do esperado, pois apesar do bom desenvolvimento vegetativo apresentado pelos diversos genótipos avaliados, a produtividade dos mesmos foi muito aquém dos seus potenciais esperados para as condições a que foram submetidos.

Sabe-se que as plantas vasculares extraem a água do solo por meio de seus sistemas radiculares e a lançam à atmosfera pelos seus estômatos, num processo denominado transpiração. O grau de abertura dos estômatos, que determina a transpiração e a absorção de CO<sub>2</sub>, é dependente de vários fatores do meio ambiente como a disponibilidade de água no solo, que regula o potencial hídrico das plantas, e da umidade relativa do ar, essa também ligada à temperatura ambiente. À medida que a

temperatura se eleva, observa-se uma redução da umidade relativa do ar e um consequente aumento no déficit de pressão de vapor da atmosfera que normalmente varia ao longo de uma jornada.

A amplitude média diária da temperatura para o Ceará é de 22 a 33° C. Os locais de realização do estudo têm características espaciais praticamente semelhantes, com temperaturas médias variando de 20,9 a 31,2° C, estando, assim, dentro dos limites recomendados para a maioria das espécies vegetais cultivadas nos trópicos, dentre elas o feijão-de-corda. Por conseguinte, esse fator provavelmente não influenciou significativamente no desenvolvimento e na produção das plantas. Vale lembrar que a temperatura está relacionada a outros fatores do ambiente, como a umidade relativa do ar e a intensidade luminosa.

A luz solar constitui a fonte de energia para a conversão fotoquímica do CO<sub>2</sub> atmosférico em carbono orgânico. Como a maioria das espécies vegetais em metabolismo C<sub>3</sub>, o feijão-de-corda entra em processo de fotoinibição a partir de 800  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de fluxo de fótons (PINHO *et al.*, 2005). Quanto ao fotoperíodo, o estado do Ceará registra uma média anual de 11 horas. A maioria das cultivares dessa espécie é neutra ao fotoperíodo. A resposta ao fotoperiodismo no feijão-de-corda está bastante relacionada com a temperatura, ou seja, quando a temperatura está acima de um valor mínimo noturno, a resposta da planta ao comprimento do dia é dominante, e quando está abaixo, a resposta da planta à temperatura não é dominante (WATT *et al.*, 1988). A variação anual do número de horas de duração do dia no Ceará é de 10,5 a 12,1 horas de sol. Como os locais avaliados encontram-se praticamente numa mesma latitude, com exceção do município de Barreira com latitude um pouco superior, e a quantidade de luz dos locais condiz com a exigida pelo feijão-de-corda, pode-se especular que provavelmente o fotoperíodo não apresentou variações significativas, entre e dentro dos anos agrícolas estudados, não influenciando, portanto, na fenologia da cultura.

Entre os fatores bióticos relevantes, que ocorreram no período de condução dos experimentos, foram registradas a lagarta (*Spodoptera latifascia* Walker) em todos os locais nos dois anos agrícolas (2006/2007), a cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri* Ross e Moore) em Limoeiro do Norte, Barreira e Itapipoca no ano de 2007 e a mosca-branca (*Bemisia tabaci* Genn.) em Limoeiro do Norte no ano de 2007. Todos os ataques verificaram-se em baixas populações de pragas e esporadicamente, portanto sem danos agrônômicos e econômicos à cultura.

Com relação aos coeficientes de variação (CV), os ambientes apresentaram os seguintes intervalos: 10 – 20 % (AS06, BA06, CR06 e LN06) e 20-30 % (IT06, AS07, BA07 e LN07). Pode-se perceber uma oscilação dos coeficientes de variação de 12,14 a 29,47 % confirmando a influência de causas não aleatórias sobre a produtividade de grãos, talvez em função desse caractere não apresentar herança simples sendo, portanto, bastante influenciado pelo ambiente.

Segundo Pimentel-Gomes (2000), o coeficiente de variação dá uma idéia da precisão experimental. Tendo-se por base os coeficientes encontrados nos ensaios de campo pode-se classificar em baixos, quando inferiores a 10 %, médios quando variarem de 10-20 %, altos quando variarem de 20-30 % e muito altos quando forem superiores a 30 %. Partindo dessa classificação, pode-se verificar que os ambientes AS06, BA06, CR06 e LN06 apresentaram CV médios; os ambientes IT06, AS07, BA/07 e LN/07 exibiram CV considerados altos. No entanto, essa classificação recebe críticas de alguns pesquisadores, por ser muito abrangente, por não levar em consideração particularidades da cultura estudada, e, principalmente, não fazer distinção entre a natureza da característica avaliada.

A avaliação dos dois anos agrícolas, 2006 e 2007, em conjunto permitiu gerar os dados da Tabela 2. Nesta análise, os efeitos de blocos dentro de ambientes, anos agrícolas, genótipos e interação Anos x Genótipos (A x G) foram significativos, acusando um desempenho diferencial dos genótipos nos anos avaliados. O efeito do ambiente (anos agrícolas) e de genótipos perfizeram a maior parte da variação dos tratamentos.

**Tabela 2** – Resumo da análise de variância conjunta nos dois anos agrícolas (2006/2007), referente à produtividade de grãos (kg/ha), nos ambientes em estudo. Ceará, 2006/07.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios
Bloco/Ambiente	24	335143,47**
Anos agrícolas	1	4734539,86**
Genótipos	14	476149,08**
Anos x Genótipos	14	246992,57**
Resíduo	336	33873,68
Média (kg/ha)		841,39
CV (%)		21,87

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Com um coeficiente de variação de 21,87%, considerado alto, pode-se ainda atribuir uma boa precisão experimental ao ensaio conjunto realizado no decorrer dos anos agrícolas de 2006/2007. A média geral de produção de grãos dos genótipos dos ensaios nesses dois anos de avaliação foi de 841,39 kg/ha de grãos, bem superior à média dos anos de 2006 e 2007 no Ceará, que foi de apenas 346,50 kg/ha. Isso indica que as condições ambientais às quais as plantas foram submetidas propiciaram uma melhor expressão dos potenciais genéticos para a produção dos genótipos avaliados. Como não houve qualquer tipo de adubação ou correção de solo, pode-se inferir que provavelmente o diferencial entre os ambientes onde foram instalados os ensaios e os demais onde a cultura é explorada, particularmente nesses municípios, deveu-se, além dos fatores genéticos relativos às cultivares utilizadas – pois essas já se encontram num processo final de avaliação, e da qualidade das sementes utilizadas no tocante a pureza e vigor, ao manejo que as plantas dos ensaios receberam no tocante ao preparo do solo para o plantio e aos tratamentos culturais impostos, quando foram mantidas sempre livres de competição de plantas daninhas.

A produtividade média de grãos das cultivares dos ensaios no ano de 2006 foi de 933,42 kg/ha, acima da média geral dos ensaios (841,39 kg/ha) e da produtividade média do estado do Ceará no ano de 2006 que foi de 462 kg/ha. Para o ano de 2007, a produtividade média foi de 688 kg/ha abaixo da média geral dos ensaios, mas, acima da produtividade média do Ceará no ano de 2007 que foi de 231 kg/ha, evidenciando nas duas situações que as condições ambientais dos locais avaliados foram favoráveis ao desenvolvimento do feijão-de-corda.

Os resultados da análise de variância conjunta geral para a produtividade de grãos encontram-se na Tabela 3. Os efeitos isolados de Blocos (Anos/Locais), Anos, Locais, Genótipos, Anos x Locais, Anos x Genótipos, Locais x Genótipos e Anos x Locais x Genótipos foram significativos, evidenciam um comportamento diferenciado dos genótipos nos locais e nos anos avaliados. O efeito de Anos, de Locais e de Anos x Locais foram os que mais contribuíram para a variação dos tratamentos nos ensaios. Observou-se também uma menor magnitude para as interações: Anos x Genótipos e Locais x Genótipos, quando comparadas com a interação Anos x Locais. Pode-se aventar, assim, que o efeito combinado de Anos x Locais foi mais acentuado e ambos contribuíram para promover mudanças significativas no desempenho dos genótipos, apesar do efeito isolado anos e locais de ter sido bem superior aos efeitos referidos, indicando que os locais interagiram fortemente com os anos agrícolas.



**Tabela 3** – Resumo da análise de variância conjunta geral referente à produtividade de grãos (kg/ha), para feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.

Fontes da variação	GL	Quadrados médios
<b>(Blocos/Anos) /Locais</b>	24	335143,47**
<b>Anos (A)</b>	1	12613468,71**
<b>Locais (L)</b>	4	4284473,71**
<b>Genótipos (G)</b>	14	434311,83**
<b>G x A</b>	14	240835,02**
<b>G x L</b>	56	239129,09**
<b>A x L</b>	4	4614238,59**
<b>A x L x G</b>	56	267289,98**
<b>Resíduo</b>	336	33873,68
<b>Média geral (kg/ha)</b>		841,39
<b>CV (%)</b>		21,87

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A interação tripla A x L x G foi superior às interações G x A e G x L, mais uma vez evidenciando a forte influência do fator Anos, ou seja, os genótipos foram influenciados pelos fatores climáticos imprevisíveis, no tocante as precipitações pluviais, bem diferentes nos dois anos de avaliação.

O efeito de Anos sobre a interação genótipos por ambientes fortalece a hipótese da ação da disponibilidade hídrica sobre a cultura nos dois anos agrícolas estudados. Os resultados obtidos acordam com a proposição de Daie (1998) quando afirma que a água é um dos fatores mais limitantes da expressão do potencial genético dos vegetais.

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

Segundo Allard e Bradshaw (1964), a grande magnitude das interações associadas com Anos sugere que os fatores imprevisíveis dos anos, tais como,

temperatura, umidade relativa e pluviosidade, contribuem mais para a interação G x E do que os fatores previsíveis de locais como, tipo de solo, topografia, entre outros, ou seja, os fatores não controláveis (imprevisíveis) contribuem mais significativamente para as alterações fenológicas e de produção das plantas. Já Kang, Harville e Gorman (1989), argumentam que os fatores previsíveis ou controláveis relacionados à fertilidade diferencial de Locais são mais importantes para a interação G x E. Do ponto de vista genético, provavelmente ocorre uma expressão diferencial dos genes, que comandam um determinado caráter, pela melhoria ambiental seja com relação aos fatores previsíveis ou imprevisíveis.

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

O valor do coeficiente de variação da análise conjunta geral foi de 21,87%, considerado elevado, mas com boa precisão experimental. A magnitude dos coeficientes de variação se assemelha aos obtidos num estudo dessa natureza realizado por Freire Filho; Ribeiro; Rocha; Lopes (2005).

## **4.2 Análises das médias**

Os dados constantes da Tabela 4 indicam que as médias de produtividade de grãos variaram de 162,7 kg/ha (Aparecido-UFC) em IT06 a 1.776,3 kg/ha (BRS-Paraguaçu) em AS06.

Os genótipos Epace 10, Setentão, Aparecido, Sempre Verde-UFC, Sempre Verde-CE, Pingo-de-Ouro 1-2, Inhumá, BRS-Rouxinol, BRS-Marataoã e Frade Preto apresentaram suas melhores médias no ambiente LN06. Os genótipos BRS-Paraguaçu e BRS-Guariba apresentaram no ambiente AS06 suas médias mais altas, enquanto os genótipos Lisão e BRS-Gurguéia apresentaram melhor desempenho no ambiente AS07, e o genótipo Pingo-de-ouro 1 obteve sua melhor média no ambiente BA06.

**Tabela 4** – Médias de produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda avaliados nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.

Ambientes	Ambientes								Médias
	AS06	BA06	CR06	IT06	LN06	AS07	BA07	LN07	
<b>Genótipos</b>									
<b>Epace 10</b>	374,5 f C	703,7 cdef BC	757,6 cde BC	1035,3 a B	1571,1 ab A	689,0 efg BC	709,8 a BC	797,4 a B	829,80
<b>Setentão</b>	1118,2bcd BC	755,5 bcde CD	1170,7abc AB	288,6 bcd E	1548,1abc A	453,9 g DE	488,0 a DE	523,6 ab DE	793,32
<b>Sempre Verde UFC</b>	1116,1bcd B	906,0 abcd BC	756,1 cde BCD	591,2 bcd CD	1595,3a A	847,8 defg BC	694,5a CD	448,8 ab D	869,47
<b>Aparecido UFC</b>	525,4 ef B	268,3 f BC	410,6 e BC	162,7 d C	1463,3abc A	540,3 g B	362,8 a BC	296,2 b BC	503,69
<b>Lisão – CE</b>	746,2 def BC	455,9 ef C	618,5 de BC	466,8 bcd C	995,2 d B	1623,5 a A	376,3 a C	449,0 ab C	716,42
<b>Sempre Verde - CE</b>	1083,0bcd BC	672,3 cdef DE	822,9bcde CD	655,9 abc DE	1442,0abc AB	1512,6 ab A	610,8a DE	324,8 b E	890,66
<b>Pingo-de-ouro 1-2</b>	1052,0bcd AB	1051,3 abc AB	1020,8abcd ABC	655,9 abc CD	1133,4bcd A	619,6 fg D	694,2a BCD	639,8 ab CD	858,39
<b>Pingo-de-ouro 1</b>	1272,1bc A	1269,5 a A	910,7 abcd ABC	216,1 cd D	835,9 d BC	1047,5cdef AB	577,5a CD	642,0 ab C	846,42
<b>Inhuma</b>	1232,0 bc AB	1161,1 ab AB	1333,7 a AB	685,6 ab C	1539,5abc A	1026,6cdef BC	735,0a C	709,3 ab C	1052,84
<b>BRS – Rouxinol</b>	887,4 cde BC	1049,7abc B	935,3 abcd B	407,3 bcd D	1569,7 ab A	1070,3 cde B	530,8a CD	373,5 ab D	853,00
<b>BRS – Paraguaçu</b>	1776,3 a A	952,3 abc BC	1014,6abcd BC	647,4 abc CD	1119,0 cd B	801,8 defg BCD	683,5a CD	471,2 ab D	895,75
<b>BRS – Guariba</b>	1384,5 ab A	1051,4 abc AB	1139,7 abc A	716,7 ab B	871,3 d B	444,5 g C	685,8a BC	411,0 ab C	838,10
<b>BRS – Marataoã</b>	1122,2bcd B	833,6abcde BC	1098,5abc B	606,5 abc C	1653,7 a A	1135,8 bcd B	535,3a C	560,0 ab C	943,18
<b>BR 17 – Gurguéia</b>	1350,2 ab AB	769,5 bcde CD	1235,9 ab AB	647,4 abc CD	997,5 d BC	1418,5 abc A	703,3a CD	452,0 ab D	946,78
<b>Frade preto</b>	833,6 cde BC	468,5 def CD	766,4 cde BCD	424,0 bcd D	1528,7abc A	1151,8 bcd AB	616,5a CD	475,0 ab CD	783,06
<b>Médias</b>	1038,26	824,56	932,80	547,16	1324,31	958,89	600,25	504,88	841,39

Obs. Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Analisando-se por local, no ambiente AS06 os genótipos BRS-Paraguaçu e Epace 10 apresentaram o melhor e o pior desempenhos, respectivamente. No ambiente BA06 os genótipos Pingo-de-Ouro 1 e Aparecido, apresentaram a melhor e a pior média, respectivamente. No ambiente CR06 os genótipos Inhuma e Aparecido, no ambiente IT06 os genótipos Epace 10 e Aparecido, no ambiente LN06 os genótipos BRS-Marataoã e Pingo-de-Ouro 1, no ambiente AS07 os genótipos Lisão e BRS-Guariba e no ambiente LN07 os genótipos Epace 10 e Aparecido, apresentaram o melhor e o pior desempenho, respectivamente. Enquanto no ambiente BA07 todos os genótipos apresentaram comportamento semelhante pelo teste de médias aplicado aos dados de médias.

A cultivar BRS-Paraguaçu apresentou a maior média (1.776,3 kg/ha) do ambiente AS06, sendo a melhor média dessa cultivar entre todos os outros ambientes

testados, além de um resultado superior a sua média esperada de 890 kg/ha (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Dentre os ambientes avaliados nos dois anos do estudo o ambiente LN06 apresentou as condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos genótipos avaliados, pois 10 dos 15 genótipos testados apresentaram médias superiores nesse ambiente. Vale ressaltar que o genótipo BRS-Marataoã (1.653,7 kg/ha) obteve média nesse ambiente superior a sua média esperada que é de 831 kg/ha (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005), podendo-se deduzir que esse ambiente foi favorável ao seu desenvolvimento.

No ambiente AS06 dez dos genótipos testados apresentaram médias superiores a 1.000 kg/ha, no ambiente LN06 onze genótipos e no ambiente AS07 oito genótipos, portanto, esses ambientes reuniram as melhores condições ao desenvolvimento dos genótipos de feijão-de-corda avaliados. Nos ambientes IT06, BA07 e LN07 verifica-se que a maioria dos genótipos apresentou médias consideradas baixas, o que pode ser confirmado pela baixa média geral desses ambientes. Com isto denota-se que esses ambientes não apresentaram condições favoráveis ao desenvolvimento dos genótipos avaliados.

Observa-se que ocorreu uma variação entre os genótipos de melhor desempenho ao longo dos ambientes testados, exceto Epace 10 que se repetiu em dois ambientes. Isto provavelmente se deve aos fatores não controláveis, como a variação nas taxas de precipitação, que podem influenciar negativamente a produtividade de grãos.

A cultivar Epace 10 foi utilizada como testemunha, já que é a cultivar mais plantada no Ceará e uma das últimas obtidas e recomendadas pelo programa de melhoramento de feijão-de-corda do Estado. A Tabela 5 contém os dados do teste de Dunnett comparando a testemunha com os demais genótipos avaliados no estudo. Verifica-se, por meio do teste de Dunnett, que a maioria dos genótipos testados não diferiu estatisticamente da testemunha, ou seja, esses genótipos apresentaram comportamentos semelhantes entre si ao longo dos ambientes testados, apesar de nove dos quinze avaliados terem apresentado médias superiores a testemunha e a média geral o que pode ser explorado.

Somente os genótipos Inhuma e Aparecido diferiram da testemunha indicando certa variabilidade genética contida nesses materiais, que pode ser explorada no estudo da interação G x E para a adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos mesmos.

**Tabela 5** – Teste de Dunnett, % da média de PG de cada genótipo individual sobre a média geral de PG dos genótipos (% PGI) e da testemunha (% PGt), dos genótipos de feijão-de-corda avaliados nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPOS	Produtividade de grãos	% PG	
		% PGI	% PGt
Setentão	793,32	0,94	0,95
Sempre Verde UFC	869,47	1,03	1,05
Aparecido-UFC	503,69 *	0,59	0,61
Lisão – CE	716,42	0,85	0,86
Sempre Verde-CE	890,66	1,06	1,07
Pingo-de-ouro 1-2	858,39	1,02	1,03
Pingo-de-ouro 1	846,42	1,00	1,02
Inhuma	1052,84 *	1,25	1,27
BRS – Rouxinol	853,00	1,01	1,03
BRS – Paraguaçu	895,75	1,08	1,08
BRS – Guariba	838,10	0,99	1,01
BRS – Marataoã	943,18	1,12	1,14
BR 17 – Gurguéia	946,78	1,12	1,14
Frade preto	783,06	0,93	0,94
<b>Epace 10 (testemunha)</b>		<b>829,80</b>	

\*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett

### 4.3 Análises de adaptabilidade e estabilidade

A detecção de interações significativas entre genótipos e ambientes (locais e/ou anos), indicou a necessidade de se analisar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. As análises foram realizadas com as médias obtidas nos oito ambientes resultantes da combinação de cinco locais no ano de 2006 e três locais no ano de 2007.

### 4.3.1 Método de Eberhart e Russell

Os resultados da análise de variância para adaptabilidade e estabilidade fenotípica avaliados pelo método de regressão linear de Eberhart e Russell (1966) são apresentados nas Tabelas 6 e 7. Diferenças significativas foram observadas para os efeitos de genótipos (G), ambientes (E) e interação G x E para produtividade, sendo que o efeito de ambientes (51,08%) foi mais importante que o efeito da interação G x E (38,56%), e este, maior que o efeito de genótipos (10,36%). Isto significa que os genótipos mostraram comportamentos diferenciados nos ambientes, o que demonstra a variabilidade dos genótipos e dos ambientes avaliados justificando um estudo mais aprofundado sobre o comportamento individual dos mesmos no sentido de identificar a intensidade de suas interações com os ambientes.

A extensa magnitude da soma de quadrados (SQ) de ambientes indica que eles foram variáveis, com diferenças entre médias ambientais causando a maioria da variação para produtividade. As principais alterações ocorridas nas áreas onde os experimentos foram conduzidos estão relacionadas com as oscilações da precipitação, no que diz respeito à diferença na quantidade e na distribuição das chuvas, entre anos e locais e as condições do tipo de solo.

**Tabela 6** – Resumo da análise de variância conjunta geral referente à produtividade de grãos (kg/ha), para feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Eberhart e Russell. Ceará, 2006/2007.

Fontes da variação	GL	QM	% da variação
<b>Ambiente (E)</b>	7	4804219,87**	51,08
<b>Genótipo (G)</b>	14	488426,85**	10,36
<b>G x E</b>	98	259380,10**	38,56
<b>E/G</b>	105	562369,42**	
<b>E linear</b>	1	33629539,08**	56,95
<b>G x E linear</b>	14	208859,50**	4,95
<b>Desvio combinado (E/G)</b>	90	249949,96**	38,09
<b>Resíduo</b>	336	1	
<b>Média geral (kg/ha)</b>		843,89	
<b>CV (%)</b>		21,87	

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

No que diz respeito à caracterização química do solo nos locais onde os ensaios foram realizados pode-se observar de acordo com o Apêndice C que os locais Crateús, Itapipoca e Limoeiro do Norte exibiram baixa acidez, enquanto, Alto Santo apresentou alcalinidade média e Barreira uma acidez média. Portanto, como pH desses locais não se revelou limitante (nem alta acidez, nem alta alcalinidade) provavelmente essa propriedade do solo não deve ter influenciado no desenvolvimento das plantas de feijão-de-corda, já que essa característica é responsável tanto pela toxidez de elementos como o alumínio e o manganês, como pela diminuição da solubilidade de P, K, Ca e Mg. A presença de alumínio não foi detectada em Alto Santo, Crateús e Limoeiro, e nos outros locais a presença foi classificada como baixa.

Os locais, Limoeiro do Norte e Alto Santo apresentaram altas taxas de Ca e Mg. Barreira, Crateús e Itapipoca disponibilizam baixas taxas de Ca, mas Crateús e Itapipoca liberam muito Mg. Barreira, Itapipoca e Limoeiro dispõem de baixas taxas de potássio e fósforo, porém Crateús disponibilizou taxas elevadas desses elementos. Alto Santo mostrou baixas quantidades de potássio e matéria orgânica, mas altas taxas de fósforo. Com relação aos níveis de matéria orgânica, Barreira e Itapipoca apresentaram baixos níveis, enquanto Crateús e Limoeiro disponibilizaram médios níveis desse composto. Dessa forma, pode-se perceber que as taxas de P e K, o teor de matéria orgânica, a porcentagem de saturação de bases (V) e a porcentagem de sódio trocável (PST) se mostraram dentro das condições recomendadas para o feijão-de-corda no estado do Ceará. A relação ideal de Cálcio:Magnésio é de 4:1, somente foi encontrada em Limoeiro do Norte. Nos demais locais, a relação foi de 1:1 (Itapipoca), 1:3 (Crateús), 1,5:1 (Alto Santo) e 3:1 (Barreira). Com isso, constata-se que as plantas não apresentaram sintomas de deficiência nem de toxidez a esses elementos, mostrando que as concentrações de micronutrientes encontradas podem ser aceitáveis (AQUINO *et al.*, 1993).

Contudo, somando as propriedades químicas e físicas do solo de cada local do estudo (Alto Santo Podzólico Vermelho-Amarelo e Litófico, com manchas de aluviais e cambissolos; Barreira Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e Planossolo; Crateús Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e Planossolo; Itapipoca Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e Planossolo com manchas de solo do tipo Bruno não-cálcico e Limeiro com solo de aluviões, cambissolos e Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, característico da Chapada do Apodi local onde foi realizado o ensaio), não se

pode inferir com certeza o quanto essas condições afetaram significativamente a produção de grãos.

Magnitudes semelhantes para os efeitos de genótipos, ambientes e interação G x E foram observadas em diversos trabalhos com feijão-de-corda (MIRANDA *et al.*, 1997; SANTOS, ARAÚJO; MENEZES, 2000; FREIRE FILHO; RIBEIRO; ROCHA; LOPES, 2001; 2002), e com outras culturas como soja (GAUCH; ZOBEL, 1990) e feijão-comum (OLIVEIRA; CARNEIRO; CARNEIRO; CRUZ, 2006; BURATTO *et al.*, 2007). Ariyo (1998) encontrou que a variação explicada pela interação G x E foi preponderante em relação aos efeitos de ambientes e de genótipos.

O efeito de ambientes dentro de genótipos (E /G), e os efeitos obtidos de sua decomposição (E linear, G x E linear e desvio combinado) foram significativos para o caráter em estudo (Tabela 6). A significância do componente linear da variabilidade ambiental indica que variações significativas no ambiente proporcionaram alterações na média dos genótipos.

A significância do componente linear da interação G x E evidenciou diferenças genéticas com relação aos seus comportamentos lineares quando submetidos às variações ambientais. Os efeitos lineares de ambiente, também significativos, sugerem que a produtividade variou frente aos ambientes considerados. Por outro lado, os desvios da linearidade permitiram o estabelecimento de inferências sobre a estabilidade genotípica. Com isso, quando o desvio não é significativo, o genótipo associado tem comportamento estável e previsível. Mas, quando os desvios são significativos, o genótipo relacionado tem comportamento instável e imprevisível (MAURO *et al.*, 2000). Como os desvios combinados foram altamente significativos, os componentes linear e não linear da estabilidade estão envolvidos no desempenho fenotípico dos genótipos nos ambientes considerados. Percebe-se, contudo, que apenas uma pequena parte da interação G x E pode ser explicada pela relação linear entre os genótipos e os ambientes e isto indica que a regressão linear não está explicando adequadamente a interação G x E.

O efeito de E linear (56,95%), explicou a maior parte da variação em relação à fonte E /G, outra parte importante da variação ficou com o desvio combinado (38,29%) e a menor parte da variação foi explicada pela G x E linear (4,95 %). De modo geral, grande parte da regressão para o caráter produtividade foi mais influenciada e explicada pelos efeitos de ambientes do que pelo efeito da interação G x E. Esses resultados se assemelham aos reportados por Dashiel *et al.* (1994), quando os autores



concluíram que em decorrência da baixa variação explicada pela regressão em relação à interação G x E, o desempenho dos genótipos pode não ser predita como uma função linear do ambiente.

Analisando-se os dados da Tabela 7 para o coeficiente de regressão ( $b_i$ ), pode-se perceber que todos dos genótipos foram significativamente diferentes de 1, o que indica que nenhum dos materiais testados apresentou adaptação ampla ou geral nos ambientes avaliados. Os genótipos Epace 10, Lisão, Pingo-de-ouro 1-2, Pingo-de-ouro 1, BRS-Guariba e BR 17 – Gurguéia apresentaram ( $b_i < 1$ ), indicando uma adaptação específica a condições desfavoráveis, o que sugere que esses genótipos não aproveitam a melhoria das condições ambientais, mas suportam condições ambientais adversas mantendo suas médias de produtividade em torno da média geral.

**Tabela 7** – Médias gerais e parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Eberhart e Russell. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPOS	MÉDIA GERAL	$b_i$	$s^2 d_i$	$R^2$
Epace 10	829,80	0,38*	128502,91*	9,87
Setentão	793,32	1,33*	61681,09*	72,68
Sempre Verde - UFC	869,47	1,17*	19910,28*	86,53
Aparecido – UFC	503,69	1,19*	60062,33*	69,08
Lisão – CE	716,42	0,87*	133766,49*	34,66
Sempre Verde – CE	890,66	1,26*	57628,47*	71,97
Pingo-de-ouro 1-2	858,39	0,59*	25641,21*	55,96
Pingo-de-ouro 1	846,42	0,76*	98066,26*	35,78
Inhuma	1052,84	1,06*	13789,64*	88,41
BRS – Rouxinol	853,00	1,34*	21185,55*	88,84
BRS – Paraguaçu	895,75	1,01*	93267,82*	50,35
BRS – Guariba	838,10	0,58*	103158,07*	23,71
BRS – Marataoã	943,18	1,33*	6887,73*	96,01
BR 17 – Gurguéia	946,78	0,91*	72057,00*	51,77
Frade preto	783,06	1,19*	41703,71*	76,06
<b>Media geral (%)</b>		<b>843,89</b>		

\*, \*\* : Significativamente diferente de um, pelo teste t, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.  
ns: Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

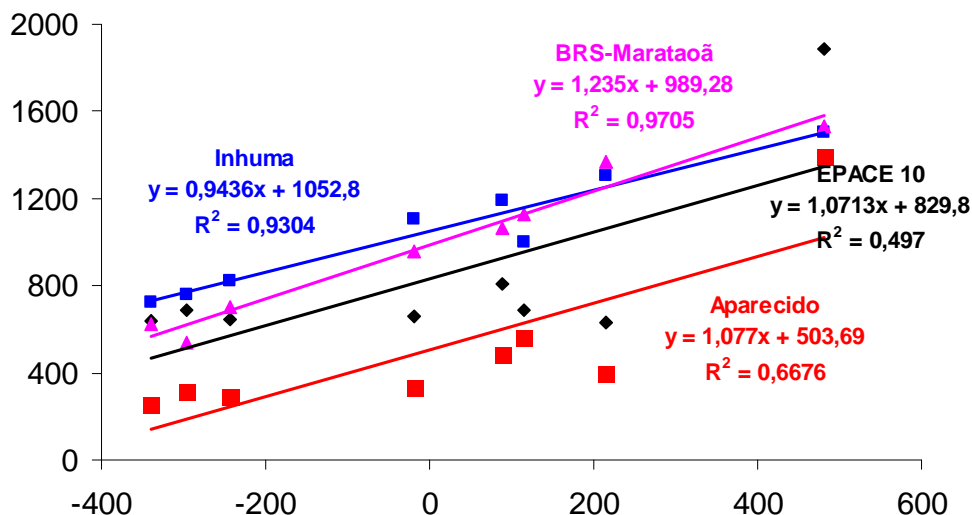
Os genótipos Setentão, Sempre Verde-CE, Aparecido-UFC, Sempre Verde-UFC, Inhuma, BRS-Rouxinol, BRS-Paraguaçu, BRS-Marataoã e Frade Preto apresentaram ( $b_i > 1$ ), indicando adaptação específica a condições favoráveis, o que sugere que esses genótipos possuem grande capacidade de explorar vantajosamente a melhoria do ambiente aumentando assim suas produtividades médias.

Com relação aos desvios de regressão ( $s^2d_i$ ), parâmetro que classifica quanto à estabilidade, todos os genótipos apresentaram ( $s^2d_i \neq 0$ ), o que indica instabilidade, e significa que esses genótipos variaram suas produtividades médias ao longo dos anos e locais, sendo muito influenciados pelas condições ambientais favoráveis ou desfavoráveis. Diferentemente dos genótipos classificados como estáveis que respondem satisfatoriamente tanto em ambientes favoráveis quanto desfavoráveis, se mantendo em torno da média geral.

Os dados da Tabela 7 indicam um baixo número de genótipos com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 80%, porcentagem essa considerada por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004) como referencial para que a regressão explique satisfatoriamente o comportamento de um genótipo em função do ambiente. Portanto, a regressão pode não estar explicando satisfatoriamente o comportamento da maioria dos genótipos nos ambientes avaliados do presente estudo.

Estimativas negativas podem ser observadas para a variância dos desvios da regressão ( $s^2d_i$ ), o que segundo Chaves (2001), acontece devido ao fato dos ( $s^2d_i$ ) serem estimados pela diferença entre quadrados médios (QM dos desvios – QM do resíduo) acarretando estimativas negativas atribuídas a erros aleatórios de estimação, o que permite considerar o valor negativo como zero. Estimativas negativas não foram observadas no presente trabalho, ao contrário do obtido para produtividade de grãos nos trabalhos de Santos, Araújo e Menezes (2000), e Freire Filho, Ribeiro, Rocha e Lopes (2001; 2002).

O comportamento dos genótipos Inhuma, BRS-Marataoã, Epace 10 (testemunha) e Aparecido, nos ambientes avaliados com base na regressão linear de Eberhart e Russell está expresso na Figura 1. Observa-se que o comportamento dos genótipos Inhuma e BRS-Marataoã foi perfeitamente explicado por esse modelo, fato confirmado pelo  $R^2$ , enquanto o comportamento da testemunha e do pior genótipo não se adequou à regressão mostrando-se de adaptação específica a condições diferentes das ambientais testadas.



**FIGURA 1** - Linhas de regressão dos dois genótipos mais produtivos (Inhuma e BRS-Marataoã), da testemunha Epace 10 e do genótipo menos produtivo (Aparecido-UFC), sequencialmente, avaliadas em oito ambientes para produtividade de grãos, estimadas pelo método de Eberhart e Russell (1966).

As observações referentes ao genótipo Epace 10 foram semelhantes aos resultados obtidos por Santos, Araújo e Menezes (2000), quando esse genótipo foi classificado como adaptado a condições desfavoráveis, de pequena previsibilidade e com uma média oscilante.

Com relação ao  $R^2$  dos genótipos, pode-se verificar uma amplitude de variação entre 9,87 % (Epace 10) e 96,01 % (BRS-Marataoã). Este fato denota que a regressão pode não estar explicando satisfatoriamente o comportamento da maioria dos genótipos nos ambientes para produtividade, já que houve um pequeno número de estimativas  $R^2 > 80$  %. Esse resultado foi diferente do obtido por Mauro *et al.* (2000); por Murakami, Cardoso, Cruz e Bizão (2004); Vicente *et al.* (2004); Oliveira, Carneiro, Carneiro e Cruz (2006); Carvalho *et al.* (2007); Elias *et al.* (2007), nos quais todas as estimativas para  $R^2$  dos genótipos para produtividade de grãos foram acima de 80 %, indicando que a regressão explicou satisfatoriamente a variação exibida pelos genótipos nos ambientes avaliados nos referidos trabalhos. Os resultados do presente trabalho, poucas estimativas de  $R^2 > 80$  %, se assemelham aos encontrados por Santos, Araújo e Menezes (2000) e de Barros, Sedyama, Teixeira e Cruz (2008).

A classificação de ambientes em favorável ou desfavorável é obtida considerando-se a média geral de todos os experimentos em que aquele com média

superior a média geral constitui-se como ambiente favorável e aquele com média inferior a média geral é o desfavorável. Com esse procedimento, se houver dois experimentos conduzidos num mesmo local e tipo de solo, um ao lado do outro, tomando-se todos os cuidados para se manter o máximo de uniformidade na condução dos experimentos, as médias de cada um deles ainda poderão ser diferentes, de modo que sempre se terá um material em um ensaio se comportando como favorável e o mesmo material no ensaio vizinho podendo se comportar como desfavorável. Assim, a simples classificação dos ambientes em favorável ou desfavorável não é suficiente para a discriminação da adaptabilidade e estabilidade fenotípica, ou seja, pode não deixar clara a existência de divergência ambiental. No entanto, essa classificação dá uma noção de como os genótipos se comportam frente a certas variações ambientais, e desse modo vem sendo utilizada por muitos pesquisadores (MURAKAMI; CARDOSO; CRUZ; BIZÃO, 2004).

Os genótipos dos ensaios instalados os ambientes AS06, CR06, LN06 e AS07 alcançaram médias de produtividade de grãos superiores à média geral (Tabela 8). Assim, esses ambientes podem ser classificados como favoráveis ao desenvolvimento dos materiais avaliados, ou seja, os genótipos puderam aproveitar as boas condições ambientais de precipitação, entre outras, e expressar seus genes para a produtividade de grãos apresentando um bom desempenho médio, fato este confirmado pelos índices ambientais positivos.

**Tabela 8** – Médias gerais e índices ambientais referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Eberhart e Russell. Ceará, 2006/2007.

AMBIENTES	MÉDIA (kg/ha)	ÍNDICE AMBIENTAL
AS06	1058,24	214,35
BA06	824,56	-19,32
CR06	932,80	88,91
IT06	547,16	-296,72
LN06	1324,24	480,35
AS07	958,91	115,02
BA07	600,27	-243,61
LN07	504,92	-338,97
<b>MÉDIA GERAL</b>		<b>841,39</b>

Já os ambientes BA06, IT06, BA07 e LN07 apresentaram médias inferiores à média geral e índice ambiental negativo, o que lhes conferiu classificação como ambientes desfavoráveis aos genótipos utilizados para o estudo (Tabela 8). Isso provavelmente ocorreu devido a oscilações na precipitação, em termos de quantidade e distribuição, além de diferenças entre esses ambientes em outros fatores abióticos como solo, temperatura, etc., o que não favoreceu a expressão dos genes para a produtividade de grãos.

O ordenamento genotípico é mais consistente dentro dos ambientes favoráveis, pois se o genótipo em um dado ambiente apresentar um desempenho médio elevado, ele poderá ser classificado seguramente como adaptado especificamente a condições favoráveis. Por outro lado, se o genótipo apresentar uma média baixa, então ele será adaptado a condições específicas desfavoráveis. Avaliando os locais de teste por ano individualmente, obteve-se a mesma classificação para os ambientes favoráveis e desfavoráveis indicando que o ordenamento genotípico nesses ambientes pode ser realizado com maior precisão, pois os ambientes estudados repetiram ao longo dos dois anos de avaliação médias acima da média geral e índices positivos (AS06, CR06, LN06 e AS07) ou médias abaixo da média geral e índices negativos (BA06, IT06, BA07 e LN07).

#### **4.3.2 Método de Cruz, Torres e Vencovsky**

Os resultados da análise de variância para adaptabilidade e estabilidade fenotípica e para as produtividades médias avaliadas pelo método de regressão bissegmentada de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) foram semelhantes aos resultados obtidos com a análise de variância para adaptabilidade e estabilidade fenotípica e para as produtividades médias avaliados pelo método de regressão linear de Eberhart e Russell que foram apresentados na Tabela 6, e já comentados anteriormente.

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade encontram-se nas Tabelas 9 e 10. Na Tabela 9 verifica-se que a estimativa de ( $\beta_1$ ), que avalia o desempenho dos materiais nos ambientes desfavoráveis, evidenciou que os genótipos EPACE 10, Sempre Verde-UFC, Aparecido, Pingo-de-Ouro 1-2 e BRS-Guariba

apresentaram baixas respostas a condições ambientais adversas ( $\beta_1 < 1$ ), ou seja, pode-se classificá-los como de adaptação geral podendo ser recomendados a todos os ambientes do estudo e a outros ambientes com características semelhantes a estes. Enquanto, os genótipos Setentão, Lisão, Sempre Verde-CE, Pingo-de-Ouro 1, Inhuma, BRS-Rouxinol, BRS-Paraguaçu, BRS-Marataoã, BR 17-Gurguéia e Frade Preto se apresentaram como adaptados especificamente a condições desfavoráveis ( $\beta_1 > 1$ ), ou seja, apresentaram altas respostas a essas condições ambientais. Todos os genótipos avaliados apresentaram  $\beta_1$  significativos, isto é, diferente de 1.

**Tabela 9** - Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPOS	$\beta_1$	$\beta_1 + \beta_2$	$\sigma^2_\delta$	R <sup>2</sup> (%)
<b>Epace 10</b>	0,004*	2,28*	282681,12*	58,69
<b>Setentão</b>	1,22*	1,83*	272436,81*	74,86
<b>Sempre Verde/UFC</b>	0,97*	2,09*	167220,77*	97,64
<b>Aparecido/UFC</b>	0,90*	2,64*	94592,70*	89,85
<b>Lisão/CE</b>	1,08*	-0,16*	543884,08*	44,65
<b>Sempre Verde /CE</b>	1,34*	0,83*	259913,02*	73,66
<b>Pingo-de-ouro 1-2</b>	0,55*	0,75*	120574,87*	56,86
<b>Pingo-de-ouro 1</b>	1,002*	-0,39*	346247,34*	52,76
<b>Inhuma</b>	1,09*	0,91	64082,91*	88,78
<b>BRS – Rouxinol</b>	1,30*	1,54*	98080,51*	89,24
<b>BRS – Paraguaçu</b>	1,12*	0,44*	417962,25*	53,64
<b>BRS – Guariba</b>	0,69*	0,05*	468850,66*	27,76
<b>BRS – Marataoã</b>	1,31*	1,43*	32101,40*	96,12
<b>BR 17 – Gurguéia</b>	1,27*	-0,85*	56964,86*	92,05
<b>Frade preto</b>	1,11*	1,58*	185871,77*	77,77

\*, \*\* : Significativamente diferente de um, pelo teste t, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A estimativa de ( $\beta_1 + \beta_2$ ), que avalia o desempenho dos materiais nos ambientes favoráveis, mostrou que os genótipos Epace 10, Setentão, Sempre Verde-UFC, Aparecido, BRS-Rouxinol, BRS-Marataoã e Frade Preto apresentaram altas respostas a condições ambientais favoráveis sendo significativamente responsivos à melhoria ambiental ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ), com isso pode-se classificá-los como de adaptação

geral podendo ser recomendados a todos os ambientes do estudo e a outros ambientes com características semelhantes a estes. Contudo, os genótipos Lisão, Sempre Verde-CE, Pingo-de-Ouro 1, Pingo-de-Ouro 1-2, Inhuma, BRS-Paraguaçu, BRS-Guariba e BR 17-Gurguéia mostraram baixas respostas a condições ambientais favoráveis ( $\beta_1 + \beta_2 < 1$ ), e com isso pode-se classificá-los como pouco adaptados a essas condições. Para todos os genótipos, a estimativa ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ) foi significativa, isto é diferente de 1, indicando que esses materiais podem ser classificados seguramente quanto a adaptabilidade a condições favoráveis.

Nos trabalhos de Vicente, Pinto e Scapim (2004); Carvalho *et al.* (2006); Carvalho *et al.* (2006a); Carvalho *et al.* (2006b); Oliveira, Carneiro, Carneiro e Cruz (2006); Elias *et al.* (2007), diferentemente do presente trabalho apresentaram um baixo número de coeficientes ( $\beta_1$ ) e ( $\beta_1 + \beta_2$ ) significativos para os genótipos e condições ambientais avaliados.

Segundo Cruz, Torres e Vencovsky (1989), a estabilidade dos materiais pode ser avaliada pela estimativa dos desvios da regressão ( $\sigma^2_\delta$ ), além da estimativa de  $R^2$  que reforça a previsibilidade dos mesmos, ressaltando que os materiais com estimativas de  $R^2 < 80\%$ , não devem ter seu grau de previsibilidade comprometido. Desta forma, observa-se que todos os genótipos foram significativamente diferentes de zero ( $\sigma^2_\delta \neq 0$ , significativo), assim pode-se classificá-los como instáveis. Mas, utilizando o parâmetro para estabilidade ( $R^2 > 80\%$ ), os genótipos Sempre Verde-UFC, Aparecido-UFC, Inhuma, BRS – Rouxinol, BRS – Marataoã e BR 17 – Gurguéia foram classificados como estáveis, enquanto o restante (60% dos genótipos) foi classificado como instáveis segundo esse parâmetro.

Os trabalhos de Vicente, Pinto e Scapim (2004); e Elias *et al.* (2007), diferentemente do presente trabalho apresentaram um baixo número de desvios significativos. Contudo, um alto número de desvios significativos foi obtido nos trabalhos realizados por Carvalho *et al.* (2006); Carvalho *et al.* (2006a); Carvalho *et al.* (2006b); Carvalho *et al.* (2006c); Carvalho *et al.* (2006d); Oliveira, Carneiro, Carneiro e Cruz (2006).

Os resultados das análises para estabilidade dos trabalhos de Carvalho *et al.* (2006), Carvalho *et al.* (2006a) e Carvalho *et al.* (2006b), referentes a um outro conjunto de genótipos e ambientes, registraram cerca de 50% e 85%, de estimativas de  $R^2 > 80\%$  e  $R^2 < 80\%$ , respectivamente. Na maioria dos trabalhos que utilizaram esta

metodologia a boa parte dos valores das estimativas desse parâmetro se concentrou acima de 80%, como pode ser verificado nos trabalhos de Vicente, Pinto e Scapim, (2004); Carvalho *et al.* (2006c); Carvalho *et al.* (2006 d); Oliveira, Carneiro, Carneiro e Cruz (2006) e Elias *et al.* (2007).

Segundo a metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky, o material ideal é aquele que apresenta média alta, ( $\beta_1 < 1$ ), ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ), ( $\sigma^2_\delta = 0$ ) e ( $R^2 > 80\%$ ), ou seja, alta produtividade média, baixa resposta nos ambientes desfavoráveis e capacidade de responder a melhoria dos ambientes, ou seja, adaptação geral, e previsibilidade. Os resultados do presente trabalho indicaram que os genótipos EPACE 10, Sempre Verde-UFC e Aparecido reuniram as características ( $\beta_1 < 1$ ), ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ) e ( $R^2 > 80\%$ ), mas o genótipo Sempre Verde-UFC pode ser mais explorado devido a sua produtividade média ser maior do que a média geral dos ensaios. Então, pode-se constatar que o material ideal preconizado por esse modelo não foi encontrado no conjunto de genótipos avaliados. Resultados semelhantes foram observados por muitos pesquisadores que utilizaram esse método para o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica, entre eles pode-se citar Oliveira *et al.* (2006) e Elias *et al.* (2007).

Todavia, os genótipos Inhuma, BR 17-Gurguéia e BRS-Marataoã podem ser aproveitados, pois além de apresentarem as maiores produtividades médias foram classificados com estáveis, apesar de não responderem a melhoria do ambiente (Inhuma e BRS-Gurguéia) e de responderem a condições desfavoráveis. O genótipo BRS-Marataoã deve ser olhado com mais atenção, pois é capaz de responder a melhoria do ambiente.

Na análise dos dados da Tabela 10 pode-se comparar as médias gerais com as médias nos ambientes favoráveis e desfavoráveis dos genótipos avaliados, o que nos revela que, apesar da variação entre as médias gerais e as médias nos ambientes favoráveis e desfavoráveis ser a mesma, os genótipos (EPACE 10, Setentão, Sempre Verde-UFC, Aparecido, BRS-Rouxinol, BRS-Marataoã e Frade Preto) capazes de responder a melhoria ambiental podem provavelmente apresentar um desempenho até melhor do que o estimado pelas médias nos ambientes favoráveis, enquanto aqueles genótipos (Epace 10, Sempre Verde-UFC, Aparecido, Pingo-de-Ouro 1-2 e BRS-Guariba) que respondem pouco as condições ambientais desfavoráveis podem provavelmente apresentar um desempenho médio entre a média geral e a média estimada nas condições desfavoráveis, comportamento esse caracterizado como de



adaptação geral, ou seja, esses materiais são invariantes nessas condições, o que é amplamente procurado pelos melhoristas.

**Tabela 10** - Médias gerais e nos ambientes favoráveis e desfavoráveis, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky. Ceará, 2006/2007.

Genótipo	Média Geral ( $\beta_0$ )	Média Favorável	Média Desfavorável
<b>Epace 10</b>	829,80	848,06	811,55
<b>Setentão</b>	793,32	1072,73	513,96
<b>Sempre Verde/UFC</b>	869,47	1078,83	660,13
<b>Aparecido/UFC</b>	503,69	734,91	272,52
<b>Lisão/CE</b>	716,42	995,84	436,99
<b>Sempre Verde/CE</b>	890,66	1215,14	565,96
<b>Pingo-de-ouro 1-2</b>	858,39	956,49	760,31
<b>Pingo-de-ouro 2</b>	846,42	1016,55	676,27
<b>Inhuma</b>	1052,84	1282,95	822,75
<b>BRS – Rouxinol</b>	853,00	1115,68	590,33
<b>BRS – Paraguaçu</b>	895,75	1177,93	688,59
<b>BRS – Guariba</b>	838,10	959,99	716,21
<b>BRS – Marataoã</b>	943,18	1252,55	633,84
<b>BR 17 – Gurguéia</b>	946,78	1250,52	643,05
<b>Frade preto</b>	783,06	1070,13	496,01
<b>Média geral (kg/ha)</b>		841,39	

Contudo os genótipos (Lisão, Sempre Verde-CE, Pingo-de-Ouro 1, Pingo-de-Ouro 1-2, Inhuma, BRS-Paraguaçu, BRS-Guariba e BR 17-Gurguéia ) que não são capazes de responder a condições ambientais favoráveis podem provavelmente manter suas médias entre a média geral e a média estimada para essas condições; e aqueles genótipos (Setentão, Lisão, Sempre Verde-CE, Pingo-de-Ouro 1, Inhuma, BRS-Rouxinol, BRS-Paraguaçu, BRS-Marataoã, BR 17-Gurguéia e Frade Preto) capazes de responder ativamente a condições ambientais desfavoráveis devem se utilizados com ressalvas, pois podem até render menos do que o estimado pelas médias nos ambientes desfavoráveis, o que nos leva a crer que esses materiais são muito afetados pelo ambiente.

Essa metodologia classificou os ambientes pelos índices ambientais de forma semelhante à classificação segundo a metodologia de Eberhart e Russell, conforme apresentada na Tabela 8 e discutida anteriormente, na qual os ambientes AS06, CR06, LN06 e AS07 foram favoráveis à expressão da produtividade dos grãos enquanto os ambientes BA06, IT06, BA07 e LN07 foram considerados desfavoráveis a expressão dos genes para o caráter em estudo.

#### 4.3.3 Método de Lin e Binns

Conforme a análise dos dados da Tabela 11 se observa que entre os quinze genótipos avaliados pode-se destacar cinco em ordem crescente de estimativa do parâmetro  $P_i$  que apresentam maior adaptabilidade sendo eles: Inhuma, BR 17-Gurguéia, BRS-Marataoã, BRS-Paraguaçu e Sempre Verde-CE. A estabilidade de comportamento é uma característica varietal que representa o rendimento *per se* de cada genótipo e não deve ser confundida estabilidade fenotípica (à capacidade dos genótipos apresentarem somente pequenas variações no seu comportamento geral, quando submetidos a diferentes ambientes). Então a estatística  $P_i$  é eficiente por que classifica os genótipos quanto a adaptabilidade, estabilidade de comportamento e estabilidade fenotípica. Esta última sendo definida pela contribuição de cada genótipo para a interação, a partir da qual podemos destacar cinco genótipos em ordem decrescente de estabilidade: Inhuma, BR 17-Gurguéia, BRS-Marataoã, BRS-Paraguaçu e Sempre Verde-CE; genótipos esses que reuniram também adaptabilidade e as maiores médias consequentemente. Esses cinco genótipos juntos contribuíram com 17,27% para a interação. No geral as contribuições para a interação variaram entre 2,27% (Inhuma) e 16,25% (Sempre Verde-UFC).

O genótipo Inhuma obteve a menor estimativa do parâmetro  $P_i$  (50,46) não significativo, ou seja, não diferindo do genótipo com desempenho máximo para a produtividade de grãos em cada local, e a menor contribuição para a interação (2,27%), dessa forma pode ser considerado de adaptação geral e alta previsibilidade. Este fato sugere que esse material pode ser recomendado para todos os ambientes do estudo e para ambientes com características semelhantes aos ambientes do presente trabalho.

Valores reduzidos de  $P_i$ , apesar de não significativos, reduzem o desvio em torno da produtividade máxima em cada ambiente. Assim, maior estabilidade estará obrigatoriamente associada à maior produtividade (LIN; BINNS, 1988).

**Tabela 11** – Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Lin e Binns. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPOS	Média geral	$P_i/1000$	Desvio Genético	Desvio G x A	Contribuição: interação (%)	Classificação genotípica
Epace 10	829,80	281,61*	100,46	118,15	12,67	14
Setentão	793,32	174,78*	117,47	57,31	7,86	12
Sempre Verde-UFC	869,47	114,19*	83,46	30,73	5,14	6
Aparecido-UFC	503,69	361,24*	299,79	61,44	16,25	15
Lisão-CE	716,42	202,59*	157,73	44,88	9,11	13
Sempre Verde-CE	890,66	96,12*	75,07	21,04	4,32	5
Pingo-de-Ouro 1-2	858,39	132,42*	88,05	44,36	5,96	8
Pingo-de-Ouro1	846,42	134,61*	93,15	41,45	6,05	9
Inhuma	1052,84	50,46 <sup>ns</sup>	25,35	25,10	2,27	1
BRS – Rouxinol	853,00	120,38*	90,33	30,04	5,42	7
BRS – Paraguauçu	895,75	88,94*	59,44	29,50	4,00	4
BRS – Guariba	838,10	155,88*	96,77	59,11	7,01	10
BRS – Marataoã	943,18	74,44*	56,06	18,38	3,35	3
BR 17 – Gurguéia	946,78	74,03*	54,86	19,16	3,33	2
Frade preto	783,06	161,37*	22,50	38,86	7,26	11
<b>Média geral</b>				841,39		

\*QMerro= 33873,68;  $P_i$  menor que este valor não difere significativamente do máximo ( $P < 0,05$ ).

Pela análise dos dados da Tabela 12 que apresentam uma comparação entre as classificações genotípicas pelos  $P_i$ 's gerais, favoráveis e desfavoráveis, se observa que os genótipos Lisão (11<sup>a</sup>) e Frade Preto (4<sup>a</sup>) apresentaram a mesma classificação quanto aos  $P_i$ 's favoráveis e desfavoráveis indicando que o genótipo Lisão responde pouco a melhoria ambiental e muito a condições desfavoráveis, enquanto, o genótipo Frade Preto responde muito a melhoria ambiental e pouco a condições desfavoráveis.

Com relação a classificação quanto ao  $P_i$  favorável pode-se destacar os cinco melhores genótipos que são capazes de responder a melhoria das condições ambientais sendo considerados de adaptação geral, são eles: BRS-Gurguéia, BRS-Rouxinol, Pingo-de-Ouro 1-2, Frade Preto e BRS-Guariba.

**Tabela 12** – Estimativas dos parâmetros  $P_i$  gerais, favoráveis e desfavoráveis com suas respectivas classificações genotípicas, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Lin e Binns. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPOS	$P_i/1000$	Classificação	$P_i/1000$	Classificação	$P_i/1000$	Classificação
	Geral	genotípica	Favorável	genotípica	Desfavorável	genotípica
<b>Epace 10</b>	281,61*	14	82,96	14	17,73	9
<b>Setentão</b>	174,78*	12	83,19	9	27,26	7
<b>Sempre Verde UFC</b>	114,19*	6	90,13	13	37,61	12
<b>Aparecido-UFC</b>	361,24*	15	99,83	6	40,10	1
<b>Lisão-CE</b>	202,59*	13	132,86	11	45,02	11
<b>Sempre Verde CE</b>	96,12*	5	157,74	10	56,57	3
<b>Pingo-de-Ouro 1-2</b>	132,42*	8	171,82	3	58,77	13
<b>Pingo-de-Ouro 1</b>	134,61*	9	179,20	8	65,10	14
<b>Inhuma</b>	50,46 <sup>ns</sup>	1	181,08	15	83,01	10
<b>BRS – Rouxinol</b>	120,38*	7	229,85	2	90,01	8
<b>BRS – Paraguauçu</b>	88,94*	4	237,58	7	92,42	6
<b>BRS – Guariba</b>	155,88*	10	250,78	5	119,71	2
<b>BRS – Marataoã</b>	74,44*	3	274,16	12	141,66	15
<b>BR 17 – Gurguéia</b>	74,03*	2	397,13	1	154,41	5
<b>Frade preto</b>	161,37*	11	453,29	4	269,19	4
<b>Média geral</b>				841,39		

Quanto ao  $P_i$  desfavorável pode-se destaca como os cinco melhores genótipos de comportamento mais invariável ao longo dos ambientes desfavoráveis com adaptação geral os genótipos Aparecido, BRS-Guariba, Sempre Verde-CE, Frade Preto e BR 17-Gurguéia. O genótipo BR 17-Gurguéia apareceu entre os cinco primeiros genótipos nas três classificações indicando que é um material realmente de adaptação geral e com bom desempenho médio.

O genótipo Epace 10 apresentou a mesma classificação quanto aos  $P_i$ 's geral e favorável indicando uma baixa capacidade de responder a condições ambientais favoráveis sendo classificado como pouco estável e pouco adaptado a tais condições, evidenciando um comportamento inconstante, pois sua classificação com relação ao  $P_i$  desfavorável foi alta, ou seja, responde bem a condições adversas.

Vale ressaltar que o genótipo Inhuma classificado como adaptado e estável segundo o  $P_i$  geral, foi caracterizado como o genótipo menos capaz de responder a melhoria das condições ambientais e com boa capacidade de resposta a condições desfavoráveis, apesar de possuir a média mais alta de todos os genótipos.

A análise dos dados da Tabela 13, nos permitir destacar os ambientes AS06 e AS07 como os ambientes favoráveis que reduziram menos suas médias mínimas em relação a um maior aumento de suas médias máximas evidenciando suas boas características para a expressão do potencial produtivo dos genótipos avaliados.

**Tabela 13** – Médias gerais, máximas, mínimas e índices ambientais, referentes à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia de Lin e Binns. Ceará, 2006/2007.

AMBIENTES	MÉDIA	ÍNDICE	MÉDIA	MÉDIA
	GERAL	AMBIENTAL	MÁXIMA	MÍNIMA
AS06	1058,24	214,35	1776,3	374,5
BA06	824,56	-19,32	1269,5	268,33
CR06	932,80	88,91	1333,69	410,64
IT06	547,16	-296,72	1035,33	162,73
LN06	1324,24	480,35	1653,65	835,9
AS07	958,91	115,02	1623,51	444,5
BA07	600,27	-243,61	735,0	362,8
LN07	504,92	-338,97	797,4	296,2

Os ambientes desfavoráveis IT06 e LN07 apresentaram a menor redução em suas médias mínimas em relação ao aumento das médias máximas o que infere que esses ambientes podem ser aproveitados na exploração de um melhor desempenho dos genótipos testados nesse estudo bem como de diversos outros genótipos. Este fato nos leva a despertar sobre a importância do cuidado no descarte ou exclusão para futuros ensaios de alguns genótipos e/ou ambientes. Os ambientes favoráveis IT06 e LN06, os ambientes desfavoráveis BA06 e BA07 apresentaram a menor redução em suas médias máximas em relação ao aumento das médias mínimas, o que indica que esses ambientes devem ser utilizados com cautela na avaliação de diferentes genótipos, pois pode ser que o ordenamento dos genótipos nesses ambientes não revele claramente a invariância ou pouca variação do desempenho fenotípico desses materiais.

A metodologia de Lin e Binns (1988) é considerada de fácil aplicação e interpretação, pois possibilita o maior discernimento entre os materiais avaliados e sempre associa maior estabilidade com maior produtividade. A sua utilização é bem corriqueira em trabalhos com diversas espécies cultivadas, entre elas, algodão (FARIAS *et al.*, 1997), arroz (ATROCH; SOARES; RAMALHO, 2000), feijão comum (ELIAS *et al.*, 2005) e mandioca (FILHO *et al.*, 2007), mas para o feijão-de-corda a sua utilização é menos explorada.

#### 4.3.4 Método AMMI

Os resultados referentes às análises realizadas pelo método AMMI são apresentados nas Tabelas 14 e 15. Os efeitos principais de genótipos e ambientes diagnosticados pela tradicional análise de variância (ANAVA), já foram discutidos na análise de Eberhart e Russell (1966), mostrada na Tabela 6. O efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes (G x E) foi diagnosticado por meio da análise de componentes principais (ACP), decompondo-se a soma de quadrados da interação G x E ( $SQ_{G \times E}$ ) em eixos ou componentes principais da interação (CPI), sendo adotado o critério “posdictivo” ou posterior (uso de testes de hipóteses) por meio do teste  $F_R$  apresentado por Cornelius *et al.* (1992) e Piepho (1995), para a seleção de modelos AMMI mais preditivos e parcimoniosos. A  $SQ_{G \times E}$  foi decomposta em sete CPIs para a

produtividade de grãos. No entanto, apenas os CPIs que exibiram significância são mostrados na Tabela 13, sendo os demais eixos incluídos no resíduo AMMI do último CPI significativo.

Percebe-se pelos resultados da análise constantes da Tabela 14 que o efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes (G x E), deduzido por meio da análise de componentes principais (ACP), também foi significativo.

**Tabela 14** – Resumo da análise de variância, referente à produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia AMMI. Ceará, 2006/2007.

Fontes de variação	Produtividade de grãos (kg/ha)		
	GL	Quadrados médios	R <sup>2</sup> (%)
Genótipos (G)	14	119037,34*	10,41
Ambientes (E)	7	1183639,70**	51,77
G x E	91	6051311,10**	37,81
CPI1	20	125160,54**	41,36
Resíduo AMMI1	78	45488,47 <sup>ns</sup>	
CPI2	18	109465,55**	32,57
Resíduo AMMI2	60	26295,34 <sup>ns</sup>	
Erro médio	98		
CV	29,53 %		

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Os efeitos de ambientes foram responsáveis pela maior parte da variação, seguidos dos efeitos da interação genótipo x ambiente e de genótipos. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Akande (2007), que estudou a interação genótipo x ambiente para a produtividade de grãos de oito cultivares de feijão-de-corda no Sudoeste africano. O autor encontrou uma maior variação para ambientes (61, 32%), porém, com uma magnitude menor do que a obtida neste estudo (51,77%), e do que a encontrada no trabalho de Rocha *et al.* (2007) que foi de 91,87%.

Na análise AMMI, a Soma de Quadrados da interação G x E (SQ<sub>GxE</sub>) foi decomposta em sete CPIs. No entanto, somente os dois primeiros eixos (CPI1 e CPI2) foram significativos (P < 0,01) pelo teste F de Cornelius, Seyedsard e Crossa (1992) e explicaram, respectivamente, 41,36% e 32,57% da variação, englobando um total de 73,93% da SQ<sub>GxE</sub> (Tabela 14). Para efeito de interpretação é mostrado o primeiro CPI e o segundo, já que o resíduo do CPI2 foi não significativo pelo teste F<sub>R</sub>, indicando que o modelo mais preditivo é o AMMI2. Portanto, os dois eixos foram selecionados para o estudo da estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e ambientes.

No Brasil, os relatos na literatura do uso da análise AMMI em feijão-de-corda publicados por Freire Filho *et al.* (2003) em genótipos de porte enramador e tegumento mulato, mostraram que os dois primeiros eixos (CPI1 e CPI2) foram significativos e explicaram a  $SQ_{G \times E}$ , respectivamente, 37,50% e 23,75%, englobando um total de 61,25% da  $SQ_{G \times E}$  total, indicando que o modelo mais predito foi o AMMI2. Em outro trabalho avaliando a adaptabilidade e estabilidade de feijão-de-corda, pelo critério do teste  $F_R$ , o modelo selecionado foi o AMMI3, cujo resíduo foi não significativo, tendo o CPI1 explicado 27,30%, o CPI2 25,18% e o CPI3 20,34% da  $SQ_{G \times E}$ . Portanto, os três eixos explicaram 72,82% da  $SQ_{G \times E}$  total (FREIRE FILHO; RIBEIRO; ROCHA; LOPES, 2005).

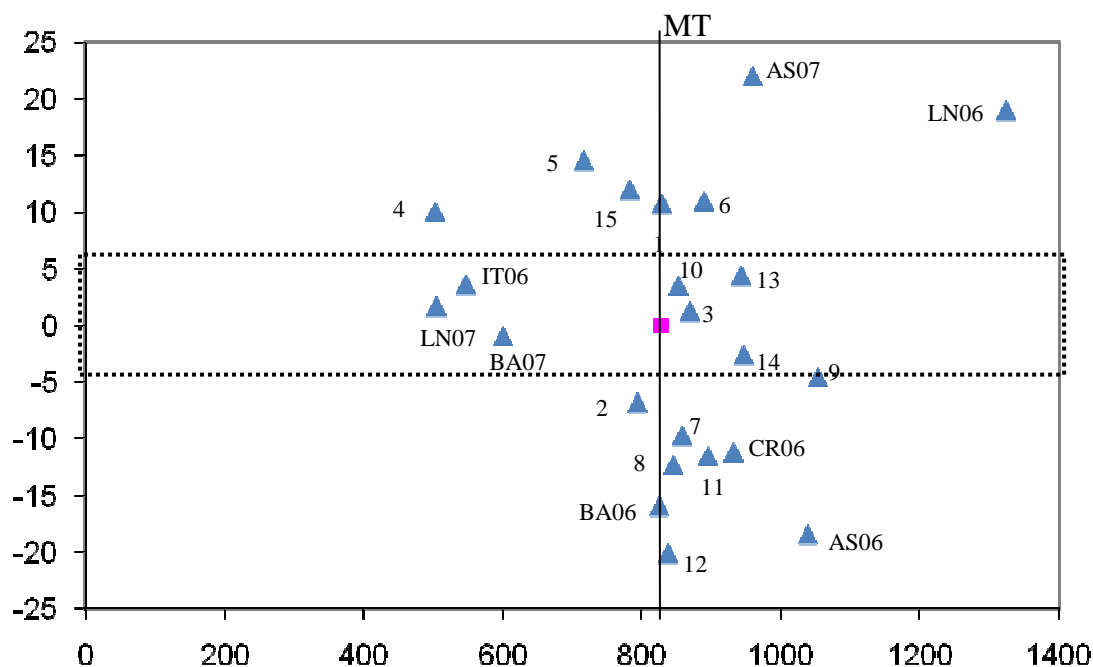
Rocha *et al.*, (2007) obtiveram resultados semelhantes aos de Freire Filho *et al.* (2005b). No entanto, os valores foram diferentes dos verificados por Akande (2007), que selecionou o modelo AMMI1, tendo os três eixos explicado 66,24% da  $SQ_{G \times E}$ , sendo que o IPCA1 explicou 33,37%, o IPCA2, 21,74%, e o IPCA3, 11,13%. As porcentagens explicadas pelos dois primeiros eixos da análise de componentes principais do presente trabalho (41,36% e 32,57%,) foram superiores às obtidas por Freire Filho *et al.* (2003), Freire Filho *et al.* (2005b) e Rocha *et al.* (2007).

Segundo Freire Filho *et al.* (2003), a utilização de eixos remanescentes, que contêm mais ruído do que o padrão pode atrapalhar a interpretação da adaptabilidade e estabilidade via *biplot*. Para Rocha (2002), nos casos em que existe padrão em mais de dois eixos, a princípio, a representação gráfica em *biplot* não se justifica. Entretanto, este autor comenta que a análise AMMI apresenta como característica principal a captação da maior parte do padrão nos primeiros eixos. De fato, para esses resultados, mais de 70 % desse padrão foi representado pelos dois primeiros eixos. Assim, a interpretação gráfica da estabilidade é feita considerando apenas *biplots* com os modelos AMMI1 e/ou AMMI2.

Para os efeitos aditivos de genótipos e ambientes observados pela dispersão na horizontal do *biplot* AMMI1, percebe-se que os genótipos variaram em menores proporções com relação aos efeitos de ambientes e interação genótipo x ambiente, observada na vertical do *biplot* (Figura 2), ou seja, a interação está influenciando o comportamento dos genótipos e ambientes. A variação observada nos ambientes se deve, provavelmente, à forte interação entre anos e locais, principalmente pela ocorrência de estresses abióticos, com predominância de irregularidades pluviais e presença de veranicos comuns na Região Nordeste. Comportamento semelhante foi



verificado por Freire Filho *et al.* (2005b), ao avaliar genótipos de feijão-caupi de porte prostrado em diferentes ambientes quanto à adaptabilidade e estabilidade. Ambientes localizados em regiões tropicais são mais propensos à ocorrência de estresses abióticos (ANNICCHIARICO, 1997).



**LEGENDA:** 1-EPACE 10; 2-Setentão; 3-Sempre Verde-UFC; 4-Aparecido-UFC; 5-Lisão; 6-Sempre Verde-CE; 7-Pingo-de-ouro 1-2; 8-Pingo-de-ouro 1; 9-Inhuma; 10-BRS-Rouxinol; 11-BRS-Paraguaçu; 12-BRS-Guariba; 13-BRS-Marataoã; 14-BR 17-Gurguéia; 15-Frade Preto

**FIGURA 2** - *Biplot* AMMI1: produtividade de grãos (kg/ha) x primeiro componente principal da interação (CPI1), MT: média das testemunhas.

Para o caráter em estudo verifica-se, pelo *biplot* AMMI1, que dez genótipos (71,40% dos materiais) superaram a média da testemunha (MT = 829,80 kg/ha, Epace 10) (Figura 2). No entanto, entre esses apenas cinco genótipos apresentaram estabilidade para produtividade de grãos, sendo eles em ordem decrescente: Sempre Verde-UFC, BR 17-Gurguéia, BRS-Rouxinol, BRS-Marataoã e Inhuma, como mostraram seus baixos escores preditos pelo modelo AMMI1. Esses genótipos por apresentarem interações mais baixas com os ambientes, podem ser indicados para todos os locais do estudo, e para outros locais com características semelhantes. Os genótipos Inhuma e BR 17-Gurguéia foram os mais produtivos e ao mesmo tempo previsíveis, evidenciando reunir adaptabilidade geral (EBERHART; RUSSELL, 1966).

Os genótipos Sempre Verde-UFC, BRS-Rouxinol e BRS-Marataoã interagiram pouco com os ambientes e de forma positiva o que os possibilita responderem a ambientes favoráveis. No entanto os genótipos Inhuma e BR 17-Gurguéia interagiram com os ambientes em pequena escala, mas de forma negativa indicando que esses materiais não são capazes de responder a melhoria ambiental sendo adaptados a condições desfavoráveis.

Podemos agrupar os genótipos em estudo dentro de três classes com magnitudes mais semelhantes para a interação G x E: a) Classe 1 (genótipos mais estáveis, escores de 0 a 5, + ou -): Sempre Verde-UFC, BR 17-Gurguéia, BRS-Rouxinol, BRS-Marataoã e Inhuma; b) Classe 2 (genótipos com estabilidades intermediárias, escores entre 5 e 10, + ou -): Setentão e Pingo-de-ouro 1-2; c) Classe 3 (genótipos instáveis, escores > 10, = ou -): Epace 10 (MT), Aparecido, Lisão, Sempre Verde-CE, Pingo-de-ouro 1, BRS-Paraguaçu, BRS-Guariba e Frade Preto. Apesar dos genótipos Sempre Verde-CE, Pingo-de-ouro 1-2, BRS-Paraguaçu e BRS-Guariba terem alcançado produtividades acima da média da testemunha, eles foram classificados como instáveis, sendo classificados como de adaptação específica a condições desfavoráveis, exceto Sempre Verde-CE. Essas observações indicam que certos genótipos devem ser vistos e explorados com cautela.

O genótipo BRS-Guariba, que alcançou um desempenho acima da média, e foi classificado como instável (escores altos e negativos) no presente trabalho, se comportou de forma semelhante nos ambientes avaliados por Rocha *et al.* (2007), quando apresentou uma média elevada de produção de grãos, 1.408 kg/ha, e foi também classificado como instável, sendo considerado pelo autor um caso típico de adaptação específica a ambientes favoráveis (escores positivos), ficando entre os quatro genótipos mais produtivos do grupo de genótipos por eles avaliados.

O genótipo Epace 10, usado como testemunha, obteve uma produtividade média relativamente baixa, além de se comportar como instável. A média desse genótipo obtida por Freire Filho *et al.* (2001; 2003) foi superior à média geral de 1.062 kg/ha, o que mostrou uma adaptabilidade específica a ambientes com altas médias, mas em semelhança com o presente trabalho esse genótipo apresentou instabilidade.

Nos trabalhos de Freire Filho *et al.* (2001; 2003) os autores encontraram para o genótipo BR 17-Gurguéia uma média de produtividade alta, elevada adaptabilidade específica a ambientes com altas médias e baixa estabilidade, resultados em parte diferentes dos encontrados neste trabalho, pois esse genótipo foi o segundo

mais estável e mais produtivo, agora com escores negativo revelando uma adaptação específica a condições desfavoráveis.

Analisando os dados da Tabela 15, percebe-se que os genótipos que menos contribuíram para a interação (Ai%) em ordem decrescente foram: Inhuma, BRS-Marataoã, Sempre Verde-UFC, BRS-Rouxinol e Pingo-de-ouro 1-2; o que indica previsibilidade ou estabilidade de comportamento. Comparando a classificação para a estabilidade dos genótipos com relação aos escores do CPII com a classificação quanto à contribuição de cada genótipo para interação, nota-se que houve uma confirmação dessa classificação para quatro dos cinco genótipos. Contudo, a ordem de estabilidade foi alterada, e houve também a inclusão no grupo dos cinco genótipos mais estáveis, do genótipo Pingo-de-ouro 1-2 que tinha sido classificado como de estabilidade intermediária, e a exclusão do genótipo BR 17-Gurguéia que tinha sido classificado como o segundo mais estável. Este fato, mais uma vez, confirma a necessidade de se utilizar várias metodologias e que se realize várias análises criteriosas durante o processo de seleção e recomendação de cultivares, para que não se descarte ou utilize um material questionável. A metodologia AMMI com parâmetros que classificam para a estabilidade facilita a comprovação das propriedades desses materiais, se tornando uma ferramenta eficiente na seleção de genótipos mais estáveis e produtivos.

**Tabelas 15** - Médias e interações preditas pelo modelo AMMI2 (Ai%) para genótipos, ambientes e locais, referentes ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação, segundo metodologia AMMI. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPO	AMBIENTES								Média/genótipo	Ai(%)/genótipo
	AS06	BA06	CR06	IT06	LN06	AS07	BA07	LN07		
Epace 10	628,18	658,72	805,55	689,62	1884,86	688,67	647,45	635,38	829,80	15,77
Setentão	991,02	894,89	962,66	545,92	1375,02	454,80	599,93	522,29	793,32	7,17
SempreVerde/UFC	980,34	838,67	948,63	616,21	1492,23	856,45	648,85	574,39	869,47	2,27
Aparecido/UFC	398,02	335,55	484,78	312,76	1392,03	557,07	293,31	256	503,69	6,2
Lisão/CE	835,61	452,17	642,29	365,43	1126,81	1623,90	398,62	286,52	716,42	13,3
SempreVerde /CE	996,14	689,41	857,49	572,25	1378,59	1525,12	602,58	503,71	890,66	6,33
Pingo-de-ouro 1-2	1175,39	1001,89	1059,56	563,18	1265,21	613,75	645,68	542,46	858,39	4,1
Pingo-de-ouro-1	1395,50	1014,60	1072,09	435,48	864,85	1004,35	573,05	411,45	846,42	10,4
Inhuma	1303,81	1109,80	1194,73	758,80	1502,82	1001,10	825,14	726,48	1052,84	1,38
BRS – Rouxinol	970,31	780,76	905,13	579,70	1429,30	1014,01	613,62	531,15	853,00	3,08
BRS – Paraguaçu	1334,87	1059,13	1114,35	542,39	1104,04	836,31	653,92	521,02	895,75	4,56
BRS – Guariba	1389,82	1143,68	1154,26	480,58	968,20	470,44	619,63	478,15	838,10	12,04
BRS – Marataoã	1046,88	856,98	985,64	671,67	1531,67	1128,96	702,28	621,34	943,18	1,68
BR 17 – Gurguéia	1367,31	956,71	1063,76	542,20	1057,90	1440,76	648,39	497,20	946,78	7,35
Frade preto	760,70	575,48	741,17	531,30	1491,08	1167,69	531,33	165,73	783,06	4,37
Média/ambiente	1038,26	824,56	932,81	547,17	1324,31	958,89	600,25	504,88	841,39	
Ai(%)/ambiente	15,13	10,63	6,39	8,09	23	30,47	1,75	4,52		
	Alto Santo		Barreira		Crateús		Itapipoca		Limoeiro do Norte	
Média/local	998,56		712,41		932,81		547,17		914,59	
Ai(%)/local	45,50		12,38		6,39		8,09		27,64	

\*, \*\*: Significativamente diferente de um, pelo teste t, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.  
ns: Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Os ambientes mais estáveis foram: BA07, IT06 e LN07, pois apresentaram escores baixos, mais próximos de zero. No entanto, não podem ser considerados ambientes desejáveis já que apresentaram as médias mais baixas entre os oito ambientes em estudo. Os ambientes IT06 e LN07 apresentaram escores positivos, caracterizando ambientes favoráveis, ou seja, esses ambientes possuem condições abióticas que possibilitam a expressão de determinados genes para a produtividade em diferentes genótipos; enquanto BA07, o ambiente mais estável, apresentou escores negativos, podendo ser caracterizado como desfavorável e expressão do potencial produtivo de determinados genótipos.

A contribuição para a interação de cada ambiente pode ser visualizada na Tabela 15; e nos confirma a estabilidade dos ambientes BA07, LN07, CR06 e IT06, com as menores contribuições. Enquanto, AS07, LN06, AS06 e BA06 com as maiores contribuições para a interação foram classificados como instáveis. O local que mais contribuiu para a interação foi Alto Santo e o que menos contribuiu foi Crateús. O local Alto Santo apesar de instável pode ser utilizado para a exploração dos genótipos já que possibilitou o bom desempenho dos materiais testados. O local Barreira é estável provavelmente os genótipos se comportaram da mesma forma ao longo de vários anos de avaliação, mas talvez não consigam elevar suas médias nesse ambiente; o que dependerá do conjunto gênico de cada material. Com essa classificação ambiental percebe-se que as condições ambientais nesses locais e nos anos de avaliação variaram o que induziu um comportamento diferencial dos genótipos testados nesse trabalho.

Os ambientes que apresentaram as melhores médias, AS06, LN06 e AS07, obtiveram os escores mais altos, sendo, portanto classificados como instáveis. Os ambientes LN06 e AS07 com escores positivos e médias altas podem ser utilizados para a exploração da produtividade de grãos dos genótipos mais estáveis e produtivos avaliados neste trabalho. A exploração da interação específica ambiente-genótipo deve ser vista com ressalvas e utilizada quando o ambiente e o genótipo possuem escores de mesmo sinal e boas médias. A exploração dos genótipos Sempre Verde-UFC, BRS-Marataoã e BRS-Rouxinol pode ser realizada nos ambientes IT06 e LN07. Como materiais adaptados a condições favoráveis podem responder a melhoria desses ambientes produzindo mais, o que indica uma combinação favorável sugerindo um sinergismo adaptativo. Os genótipos Inhuma e BR 17-Gurguéia quando explorados no ambiente BA07 provavelmente manteriam as suas médias de produção, mas não seriam

capazes de responder a melhoria do ambiente, pois foram classificados como adaptados a condições desfavoráveis, além de estáveis e produtivos. Outras possíveis combinações específicas entre determinados genótipos e ambientes podem ser efetuadas, porém com cautela, pois se deve lembrar que os genótipos ideais são aqueles que não respondem aos ambientes desfavoráveis, aumentam suas médias de produtividade nos ambientes favoráveis e apresentam previsibilidade de comportamento com médias superiores.

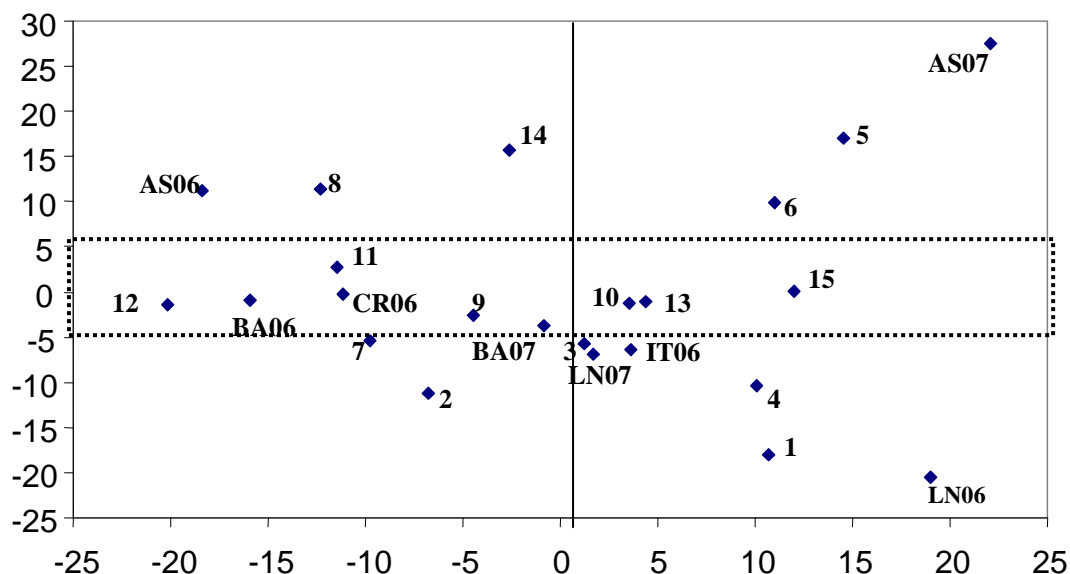
No geral, o *biplot* AMMI1 (Figura 2) mostrou que os ambientes apresentaram maior variabilidade do que os genótipos, tanto em efeitos principais (visualizados no sentido horizontal do *biplot*), quanto multiplicativos (variação visualizada no sentido vertical do gráfico). Isso confirma os resultados para as magnitudes das SQ evidenciados pela ANAVA com relação a essas fontes de variação (Tabela 18).

Como o modelo da família AMMI escolhido, segundo o teste  $F_R$ , foi o AMMI2, então se deve plotar em um *biplot* os escores do CPI1 versus os escores do CPI2 para verificar a disposição dos genótipos e ambientes no gráfico e classifica-los quanto à estabilidade pela interação entre os sinais e magnitude desses escores, ou seja, quanto menor o valor dos escores ou mais próximo de zero mais estável, e se apresentarem o mesmo sinal confirma a previsibilidade.

Pela análise da Figura 3, percebe-se que a disposição dos pontos foi mais horizontal revelando a predominância dos efeitos principais aditivos de genótipos e ambientes, e uma menor influência da interação. A partir da análise do gráfico podem-se agrupar os genótipos em três classes, sendo elas: classe 1 (genótipos mais estáveis): Inhuma, BRS-Marataoã, BRS-Rouxinol e Sempre Verde-UFC; classe 2 (genótipos com estabilidade intermediária): Pingo-de-ouro 1-2, BRS-Guariba, BRS-Paraguaçu e Frade Preto; classe 3 (genótipos instáveis): Epace 10, Pingo-de-ouro 1, BR 17-Gurguéia, Sempre Verde-CE, Lisão, Setentão e Aparecido-UFC. Apenas os genótipos Inhuma, Pingo-de-ouro 1-2, Sempre Verde-CE, Lisão e BRS-Guariba, apresentaram o mesmo sinal para os dois tipos de escores o que confirma suas características quanto a estabilidade. Essa classificação segundo a AMMI2, foi muito semelhante à classificação pela AMMI1, pois os genótipos mais estáveis foram confirmados nas duas classificações, o que nos leva a crer que essa classificação é consistente e a metodologia AMMI eficiente no ordenamento genotípico.

O genótipo BR 17 - Gurguéia foi classificado como instável pelo modelo AMMI2, bem como pela classificação da contribuição para a interação, o que confirma sua imprevisibilidade, apesar de apresentar uma produtividade média alta (Figura 3).

De acordo com as informações contidas na Figura 3, a classificação dos ambientes foi a seguinte: ambientes estáveis – IT06, LN07 e BA07; intermediários – CR06 e BA06; ambientes instáveis – LN06, AS06 e AS07. Concordando com a classificação anterior segundo o modelo AMMI1, o que indica que o ordenamento dos genótipos avaliados no presente estudo nesses ambientes pode ser realizado tranquilamente, pois é consistente e verdadeiro. Os ambientes BA06, CR06 e AS07 apresentaram o mesmo sinal para os dois tipos de escores o que confirma mais uma vez suas propriedades de previsão.



**LEGENDA:** 1-EPACE 10; 2-Setentão; 3-Sempre Verde-UFC; 4-Aparecido-UFC; 5-Lisão; 6-Sempre Verde-CE; 7-Pingo-de-ouro 1-2; 8-Pingo-de-ouro 1; 9-Inhuma; 10-BRS-Rouxinol; 11-BRS-Paraguaçu; 12-BRS-Guariba; 13-BRS-Marataoã; 14-BR 17-Gurguéia; 15-Frade Preto

**FIGURA 3** - *Biplot* AMMI2: primeiro componente principal da interação (CPI1) x segundo componente principal da interação (CPI2).

A interpretação gráfica em *biplot* na análise AMMI permitiu identificar com eficácia genótipos superiores, ou seja, previsíveis e com média acima da testemunha, em similaridade aos resultados obtidos por Rocha *et al.* (2004, 2007) e Freire Filho *et al.* (2005).

Os resultados mostraram que a interação G x E foi melhor explicada pela análise AMMI do que pelas metodologias de Eberhart e Russell, Cruz, Torres e Vencovsky e Lin e Binns. A interação explicada pelos CPI1 e CPI2 da análise AMMI foi sempre maior do que aquela explicada pela fonte de variação G x E linear ou bissegmentada para a produtividade de grãos, em similaridade aos resultados obtidos por: Rocha, (2002) em soja, Freire Filho *et al.* (2003; 2005) em feijão-de-corda; Oliveira, Duarte e Pinheiro (2003) em soja; Maia *et al.* (2006) em soja; Tarakanovas e Ruzgas (2006) em trigo; Rocha *et al.* (2007) em feijão-de-corda. Em todos esses trabalhos, ficou evidenciado que a análise AMMI foi mais eficiente em explicar a interação G x E do que toda a variação G x E explicada pela regressão. A efetividade da análise de regressão linear para análise da interação G x E decresce à medida que o número de dados aumenta (YAU, 1995).

O modelo AMMI selecionado descartou a variação presente na  $SQ_{G \times E}$  rica em ruídos e, considerando que os resultados do presente trabalho, evidenciaram que existia mais ruído do que padrão na estrutura dos dados. Acredita-se que as interações preditas pelos modelos AMMI foram adequadas, e que aquelas preditas pela ANAVA, para os métodos Eberhart e Russell, Cruz, Torres e Vencovsky e Lin e Binns, foram sub ou superajustadas dependendo da interação individual de cada genótipo com os ambientes. Consequentemente, o ganho em exatidão pode ser usado para redução dos custos (redução do número de repetições), inclusão de mais tratamentos no experimento ou melhora na eficiência na seleção de genótipos superiores (CROSSA, 1990).

O método AMMI também foi superior aos métodos avaliados em relação ao ganho em precisão para as estimativas da interação G x E, e consequentemente, para as médias dos ambientes, mas não é tão fácil a sua interpretação. Além disso, alguns pontos negativos relacionados a essa metodologia devem ser relatados, como, a dificuldade na interpretação da interação, quando há baixa explicação do primeiro componente principal; a dificuldade para quantificar os escores como baixos, considerando estáveis os genótipos e/ou ambientes; não apresentar o padrão de resposta do genótipo, o que caracteriza os padrões de adaptabilidade dos grupos formados por meio de parâmetros significativos. Nesse contexto, essa metodologia apresenta alguns inconvenientes de ordem estatística, fazendo com que suas interpretações sejam vistas com ressalvas (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

#### 4.4 Comparações entre os diferentes métodos utilizados

As classificações genotípicas segundo as quatro metodologias utilizadas no presente trabalho para caracterizar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade são apresentadas na Tabela 16. A partir da análise dos dados dessa tabela pode-se perceber que as diferentes metodologias classificaram praticamente de forma similar os genótipos; como o genótipo Inhumã que foi o primeiro em termos de estabilidade em três metodologias e o 2º na metodologia AMMI2, reforçando a sua previsibilidade além de ter sido o genótipo mais produtivo. Os genótipos BR 17 – Gurguéia e BRS-Marataoã reafirmam suas posições de 2º e 3º lugares na ordem decrescente de estabilidade, classificados pela maioria das metodologias e reunindo também altas produtividades médias. O genótipo Sempre Verde-CE assumindo o 4º lugar sendo caracterizado como estável e produtivo. O 5º lugar ficando com BRS-Paraguaçu e o 6º com BRS-Rouxinol, que reúnem estabilidade de comportamento e produtividades médias altas, acima da média geral.

**Tabela 16** – Classificações genotípicas segundo diversas metodologias utilizadas na caracterização da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de feijão-de-corda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.

GENÓTIPOS	Média geral	Eberhart e Russell	Cruz, Torres e Vencovsky	Lin e Binns	AMMI1	AMMI2
Epace 10	829,80	CD/I	AG/CF/I	14	9	15
Setentão	793,32	CF/I	CD/AG/I	12	6	9
Sempre Verde-UFC	869,47	CF/I - 5	AG/AG/I-4	6	1	4
Aparecido-UFC	503,69	CD/I	AG/AG/I-6	15	8	10
Lisão-CE	716,42	CF/I	CD/CF/I	13	14	13
Sempre Verde-CE	890,66	CF/I - 4	CD/CF/I	5	10	11
Pingo-de-Ouro 1-2	858,39	CD/I	AG/CF/I	8	7	5
Pingo-de-Ouro1	846,42	CD/I	CD/CF/I	9	13	12
Inhumã	1052,84	ACF/I - 1	CD/CF/I -1	1	5	2
BRS – Rouxinol	853,00	ACF/I - 6	CD/AG/I-5	7	3	1
BRS – Paraguaçu	895,75	ACF/I - 3	CD/CF/I	4	11	6
BRS – Guariba	838,10	ACD/I	AG/CF/I	10	15	7
BRS – Marataoã	943,18	ACF/I - 2	CD/AG/I-3	3	4	3
BR 17 – Gurguéia	946,78	ACD/I	CD/CF/I-2	2	2	14
Frade preto	783,06	ACF/I	CD/AG/I	11	12	8
Média geral			841,39			



Para o restante dos genótipos ocorre certa divergência entre as metodologias o que pode dificultar a seleção de determinados genótipos, mas deve-se olhar cuidadosamente e escolher os materiais que reúnam melhores médias e maior estabilidade.

Essa comparação serve para alertar sobre a importância da utilização de várias metodologias para caracterizar e classificar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica com o objetivo de selecionar ou recomendar confiavelmente os melhores materiais para os ambientes nos quais esses foram avaliados ou para ambientes com condições semelhantes aos dos testes, pois quando o ordenamento genotípico se repete segundo diferentes metodologias esse é mais consistente e seguro.

Classificação genotípica quanto à adaptabilidade e estabilidade de forma semelhante também foram obtidos por Atroch, Soares e Ramalho (2000) trabalhando com as metodologias de Cruz, Torres e Vencovsky e Lin e Binns, com as quais obtiveram resultados semelhantes; Vicente, Pinto e Scapim (2004), trabalhando com as metodologias Eberhart e Russell, Cruz, Torres e Vencovsky e AMMI, visualizaram a coincidência dos resultados utilizando essas diferentes metodologias; Elias *et al.* (2007) utilizaram as metodologias de Eberhart e Russell e Cruz, Torres e Vencovsky e encontraram observações semelhantes para ambas as metodologias no estudo da estabilidade fenotípica de determinado grupo de genótipos e ambientes.

As metodologias utilizadas classificaram os ambientes da forma, IT06, LN07, BA06 e CR06 como estáveis, enquanto BA06, LN06, AS06 e AS07 como instáveis; essa caracterização revela mais uma vez que o ordenamento dos genótipos avaliados nesse estudo dentro desses ambientes é confiável e consistente, onde se pode ainda, a partir dessas informações, selecionar novos materiais e ambientes para novos testes, descartar determinados materiais ou ambientes para testes futuros, ou ainda julgar a necessidade de se continuar avaliando o mesmo conjunto de ambientes e genótipos com o intuito de se obter informações mais precisas.

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

modelo de regressão linear para estimar a estabilidade pode não ser apropriado e alternativas devem ser investigadas (LIN; BINNS; LEFKOVICTH, 1986).

O uso da análise AMMI é recomendado para estudos de adaptabilidade e estabilidade, com um interesse na identificação das verdadeiras causas da interação G x E em si (DUARTE; VENCOSKY, 1999). Isto é importante quando não se tem medidas sobre variáveis ambientais externas que contribuem para as interações G x E (VARGAS *et al.*, 2001). Vários autores tem recomendado o método AMMI para analisar experimentos regionais e internacionais, os quais envolvem muitos dados (ZOBEL; MADISON; GAUCH, 1988; GAUCH, 1990 e YAU, 1995). No entanto, esse método tem mostrado também ser eficiente mesmo nos casos em que o número de genótipos é baixo (ARIYO, 1998). Esse método foi mais informativo, pois explicou melhor a interação G x E e as relações adaptativas das linhagens com os ambientes de forma mais precisa e específica, quando comparado aos métodos de regressão linear de Eberhart e Russell, regressão bissegmentada de Cruz, Torres e Vencovsky e a análise não-paramétrica de Lin e Binns.

Assim, os objetivos do presente trabalho foram mais bem atendidos pelo método AMMI, pois além de fornecer informações sobre adaptabilidade e estabilidade, facilitou a caracterização dos genótipos e sugeriu associações específicas entre determinados genótipos e ambientes.

Os genótipos Inhuma, BR 17 – Gurguéia, BRS-Marataoã, Sempre Verde-CE, BRS-Paraguaçu e BRS-Rouxinol apresentarem interações mais baixas com os ambientes contribuindo menos para a interação G x E, reunindo alta produtividade e de boa previsibilidade pela concentração de maior quantidade de genes para estabilidade e adaptabilidade podendo ser indicados para todos os locais do estudo. Este fato explica, em parte, porque esses genótipos foram classificados da mesma forma em todas as metodologias utilizadas neste estudo.

Entre os genótipos avaliados, destaca-se o desempenho superior de alguns materiais em relação a outros. Esta superioridade prevaleceu tanto em termos de produtividade como de estabilidade, mostrando a viabilidade da utilização destes em programas de melhoramento no estudo da interação G x E e, de acordo com seu comportamento em relação às demais características de importância agrônômica, pode-se avaliar a possibilidade de ampliar a sua recomendação a todas as áreas de cultivo de feijão-de-corda no estado do Ceará.

#### 4.5 Análise de correlações

As comparações entre as metodologias utilizadas neste estudo foram realizadas pela correlação de Spearman aplicados aos parâmetros de estabilidade ( $S^2 di$ ,  $R^2$ ,  $P_i$  e  $A_i$ ) e aos parâmetros de adaptabilidade ( $m_i$ ,  $b_i$ ,  $\beta_{1i}$  e  $\beta_{1i} + \beta_2$ ), apresentadas na Tabela 17. Os resultados mostraram que aproximadamente 2/3, ou seja, 64,30% das correlações estimadas apresentaram significância ( $P < 0,01$ ), evidenciando certo grau de associação no conjunto dos parâmetros considerados, o que, contudo não garante concordância geral entre eles. Neste caso, predominaram estimativas de correlações baixas ( $r < 0,50$ ).

**Tabela 17** - Coeficientes de correlação de Spearman entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelos métodos de Eberhart e Russell, de Cruz, Torres e Vencovsky, Lin e Binns e AMMI, referentes ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) dos genótipos de feijão-decorda nos ambientes em estudo nos dois anos de avaliação. Ceará, 2006/2007.

Parâmetros	Produtividade de grãos (kg/ha)							
	$m_i$	$b_i$	$S^2 di$	$\beta_{1i}$	$\beta_{1i} + \beta_2$	$R^2$	$P_i$	$A_i$
$m_i$	-	0,064*	-0,489*	0,432 <sup>ns</sup>	-0,350*	0,336 <sup>ns</sup>	-0,971*	-0,514*
$b_i$		-	-0,611*	0,743*	0,425 <sup>ns</sup>	0,612 <sup>ns</sup>	-0,186 <sup>ns</sup>	-0,550*
$S^2 di$			-	-0,368*	-0,361*	-0,728*	0,546 <sup>ns</sup>	0,954*
$\beta_{1i}$				-	-0,164*	0,368 <sup>ns</sup>	-0,550*	-0,321*
$\beta_{1i} + \beta_2$					-	0,493 <sup>ns</sup>	0,396 <sup>ns</sup>	-0,293*
$R^2$						-	-0,364*	-0,632*
$P_i$							-	0,586 <sup>ns</sup>
$A_i$								-

\*,\*\*: significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

ns: não significativo pelo teste

Analisando-se as correlações entre os diversos parâmetros e a média para produtividade de grãos ( $m_i$ ), observou-se altas correlações ocorreram com  $P_i$  e  $A_i$ , parâmetros de estabilidade, que além de negativas foram também significativas, indicando que quanto maior a média menor a magnitude desses parâmetros, ou seja estão inversamente correlacionados, mas dependentes um do outro. Baixas correlações positivas foram encontradas entre  $m_i$  e os parâmetros  $b_i$ ,  $\beta_{1i}$  e  $R^2$ , o que significa que

esses parâmetros são independentes apesar de variarem diretamente, ou seja, quando a média aumenta esses parâmetros crescem simultaneamente. Baixas correlações negativas e significativas foram encontradas entre  $m_i$  e  $S^2 di$  e  $\beta_{1i} + \beta_2$ , o que indica que apesar de independentes variam diretamente.

O parâmetro  $b_i$  apresentou correlações altas positivas com os parâmetros  $\beta_{1i}$  (significativa) e  $R^2$ , indicando uma dependência diretamente proporcional. Então, pode-se inferir que os parâmetros para adaptabilidade  $b_i$  (EBERHART; RUSSELL, 1966) e  $\beta_{1i}$  (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989), que caracterizam adaptabilidade a ambientes desfavoráveis, captam as mesmas informações. A alta correlação de  $b_i$  do com o  $R^2$  revela que estes parâmetros são linearmente associados, o que indica a não utilização de ambos na seleção para estabilidade (DUARTE, 1988). Altas correlações negativas e significativas foram observadas entre  $b_i$  e  $S^2 di$  e  $A_i$ , evidenciando uma relação dependente inversamente proporcional. Essa relação de dependência significa que ambos os parâmetros são calculados a partir da mesma fonte de variação. Vale ressaltar que o  $b_i$  reporta sobre adaptabilidade, enquanto  $S^2 di$  (EBERHART; RUSSELL, 1966) e  $A_i$  (AMMI) informam sobre estabilidade, então apesar de estarem associados condizem sobre propriedades ligadas, mas diferentes, então esses parâmetros devem ser utilizados em complementaridade.

Altas associações significativas entre o  $b_i$  (EBERHART; RUSSELL, 1966) e o  $A_i$  (AMMI), foram confirmadas em outras observações (SILVA; DUARTE, 2006), indica que esses métodos ou parâmetros, de certa forma, se complementam, visto que o método de Eberhart e Russell, em detrimento da análise AMMI, informa sobre a responsividade de cada genótipo frente à melhoria ambiental. Por sua vez, a análise AMMI produz uma estimativa da contribuição genotípica para a interação G x E livre de ruídos, que o método de Eberhart e Russell não descarta.

O parâmetro  $b_i$  apresentou correlações baixas, positiva com  $\beta_{1i} + \beta_2$  e negativa e significativa com  $P_i$ , indicando que esses parâmetros não estão associados e variam respectivamente, direta ou inversamente. Pode-se recomendar então o uso concomitante desses parâmetros de adaptabilidade de Eberhart e Russell ( $b_i$ ), Cruz, Torres e Vencovsky ( $\beta_{1i} + \beta_2$ ) e Lin e Binns ( $P_i$ ) já que reúnem informações diferentes

acerca de um conjunto de genótipos avaliados. Resultados similares de baixa associação entre  $b_i$  e  $P_i$  foram encontrados também por Aremu *et al.* (2007).

Isto sugere que a seleção simultânea para alta produtividade e estabilidade, no geral, torna-se difícil. No entanto, no presente trabalho, vários genótipos associaram adaptação ampla com previsibilidade. Os resultados do presente trabalho condizem com essa afirmação, evidenciando que entre  $R^2$  e  $S^2di$ , este último é mais adequado como parâmetro de medida de estabilidade.

O parâmetro de adaptabilidade  $\beta_{1i}$  apresentou correlações baixas negativas e significativas com os parâmetros  $\beta_{1i} + \beta_2$  e  $A_i$ , e positiva com  $R^2$ , indicando uma pequena associação entre eles, ou seja, esses parâmetros caracterizam os genótipos de forma diferente, já que  $\beta_{1i}$  informa sobre adaptação a condições desfavoráveis,  $\beta_{1i} + \beta_2$  informa sobre adaptação a condições favoráveis, enquanto  $A_i$  e  $R^2$  reportam sobre estabilidade, podendo ser utilizados conjuntamente. O parâmetro  $\beta_{1i}$  mostrou correlação alta negativa e significativa com  $P_i$  o que indica que esses parâmetros estão associados de forma inversa, quando um aumenta o outro reduz. Então, o  $\beta_{1i}$  e o  $P_i$  reportam sobre a adaptabilidade dos genótipos, porém o  $P_i$  também informa sobre a estabilidade dos materiais o que talvez justificasse, apesar da alta correlação com o  $\beta_{1i}$ , o uso concomitante dos dois parâmetros.

O parâmetro de adaptabilidade  $\beta_{1i} + \beta_2$  revelou baixa associação com os parâmetros de estabilidade  $S^2di$  (positiva),  $A_i$  (negativa e significativa) e  $P_i$  (positiva). Associações baixas, negativas ou positivas indicam que os parâmetros correlacionados não tem ou tem pouca relação um com o outro, ou seja, são independentes, o que justifica o uso desses parâmetros em conjunto por perceberem diferentes características nos diversos grupos de genótipos e ambientes avaliados para estabilidade fenotípica.

Correlações altas positivas foram observadas entre o parâmetro  $S^2di$  e os parâmetros  $P_i$  e  $A_i$  (significativa), o que indica que esses parâmetros são diretamente dependentes e informam sobre as mesmas características genotípicas condenando o seu uso conjuntamente. Portanto, recomenda-se o uso de um desses parâmetros como medida da estabilidade agronômica. Como o  $S^2di$  é um parâmetro associado à regressão, ele garante maiores informações a respeito do comportamento individual de

cada genótipo, mas não é preferível em relação ao parâmetro  $A_i$ , por ser menos informativo com relação à interação G x E. Correlação alta negativa e significativa foi observada entre o  $S^2di$  e o  $R^2$  indicando que esses parâmetros estão inversamente associados, e informam sobre a estabilidade fenotípica dos materiais o que induz a utilização de apenas um dos dois parâmetros.

O parâmetro de estabilidade  $R^2$  apresentou correlação negativa baixa e significativa com o parâmetro  $P_i$ , evidenciando independência entre eles, e variação inversa, o que indica que ambos podem ser usados juntos no sentido de soma informações acerca dos genótipos avaliados. Já a correlação de  $R^2$  com  $A_i$  foi negativamente elevada, indicando que eles estão inversamente associados, caracterizando os genótipos quanto à estabilidade, o que exclui o uso dos dois parâmetros simultaneamente.

O parâmetro de estabilidade  $P_i$  apresentou correlação intermediária positiva com o parâmetro  $A_i$ , mas não significativa, ou seja, esses estão diretamente associados e informam sobre a estabilidade dos materiais, porém o  $A_i$  reporta sobre a contribuição de cada material para a interação G x E, enquanto o  $P_i$  mostra quanto cada material está distante do genótipo de desempenho máximo. Logo, apesar da correlação intermediária ( $r = 0,586$ ) esses parâmetros captam informações diferentes sobre os genótipos o que talvez justificasse o uso desses dois parâmetros ao mesmo tempo.

O uso de parâmetros pertencentes a diversas metodologias pode levar a diferentes ordenamentos de genótipos em termos de adaptabilidade e estabilidade. Os resultados das correlações observadas entre a média e os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade revelam que esses devem ser utilizados sempre juntos já que se procura genótipos com médias elevadas, adaptados e estáveis; alertando apenas para a direção da relação se é direta ou inversa.

Entre os parâmetros de adaptabilidade, pode-se usar  $b_i$  (EBERHART; RUSSELL, 1966) ou  $\beta_{1i}$  (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989). Ambos informam sobre as mesmas propriedades. O uso do  $b_i$  e do  $\beta_{1i} + \beta_2$  (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989) ao mesmo tempo é recomendado já que disponibilizam informações diferentes.

Com relação aos parâmetros de estabilidade recomenda-se o uso de um dos seguintes parâmetros:  $S^2 di$  (EBERHART; RUSSELL, 1966),  $R^2$  (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989),  $A_i$  (AMMI) ou  $P_i$  (LIN; BINNS, 1966); pois, ambos informam sobre as mesmas características genóticas indicando que estes parâmetros ordenam os genótipos de forma similar, evidenciando que eles utilizam um mesmo conceito de estabilidade (LIN; BINNS; LEFKOVICTH, 1986). O parâmetro  $R^2$  (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989) e o  $P_i$  (LIN; BINNS, 1966) podem ser usados simultaneamente no sentido de complementar as informações sobre a estabilidade dos genótipos.

A utilização de várias metodologias no estudo da adaptabilidade e estabilidade é importante e usual. No entanto deve-se ficar alerta para que se utilize metodologias que se complementem, ou seja, que disponibilizem informações diferentes acerca do conjunto de genótipos que se estar trabalhando. Esse é o tipo de informação que a correlação entre os diversos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de diferentes metodologias tenta mostrar, ou seja, pode-se escolher os parâmetros não correlacionados das diferentes metodologias com o objetivo de reunir o maior número de informações sobre os genótipos para tentar selecionar ou recomendar os melhores. Nesse sentido, com os resultados do presente trabalho pode-se indicar o uso dos parâmetros de adaptabilidade  $b_i$  (EBERHART; RUSSELL, 1966) para ambientes desfavoráveis e  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989) para ambientes favoráveis, e para estabilidade usa-se o  $S^2 di$  (EBERHART; RUSSELL, 1966), o  $A_i$  (AMMI) e  $P_i$  (LIN; BINNS, 1966). A utilização do  $A_i$  se justifica porque ele é o único que informa sobre a contribuição de cada material para a interação G x E, livre de ruídos; e a utilização do  $P_i$  pode ser justificada porque esse parâmetro reuni informações sobre adaptabilidade e estabilidade em um só parâmetro, disponibilizar diretamente um ordenamento ou classificação genotípica, além de ser facilmente manuseável.

No trabalho de Silva e Duarte (2006), o método de Eberhart e Russell apresentou altas correlações com outros métodos em estudo, exceto com o de Lin e Binns. O método de Lin e Binns não apresentou correlação com os outros métodos em estudo, e isto justificaria o uso dos métodos de Lin e Binns e Eberhart e Russell para o fornecimento de informações adicionais e complementares sobre a estabilidade fenotípica em diferentes espécies cultivadas. Resultado em parte semelhante foi encontrado no presente trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

- a) O efeito de ambientes foi mais importante do que o efeito da interação genótipos x ambientes (G x E), e este mais importante do que o efeito de genótipos;
- b) De acordo com a metodologia de Eberhart e Russell nenhum dos materiais testados foi classificado como de adaptação geral, nem estável nos ambientes avaliados;
- c) A regressão bissegmentada proposta pelo método de Cruz, Torres e Venconvsky caracterizou os genótipos quanto à adaptabilidade em condições específicas de ambientes favoráveis, desfavoráveis ou de adaptação geral, mas todos instáveis;
- d) O método de Lin e Binns caracterizou simultaneamente os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade com apenas um parâmetro ( $P_i$ ), mostrando-se um método prático e de fácil interpretação bastante utilizado atualmente pelos melhoristas;
- e) O método AMMI possibilitou a explicação da maior parte interação G x E nos dois primeiros CPIs, e classificou os genótipos e ambientes quanto a estabilidade de forma precisa e clara em dois *biplots*;
- f) A correlação de Spearman mostrou que alguns parâmetros das diferentes metodologias utilizadas estão diretamente associados não devendo ser utilizados simultaneamente, enquanto outros não associados devem ser usados em complementaridade;
- g) Os genótipos que reuniram mais adaptabilidade com estabilidade para produtividade de grãos foram: Inhuma, BR 17 – Gurguéia, BRS-Marataoã, Sempre Verde-CE, BRS-Paraguaçu e BRS-Rouxinol, podendo ter suas recomendações estendidas para o Estado do Ceará.



**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, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte.

ADU-DAPAAH, H.K., B.B. SINGH, C.A. FATOKUN. A fasciated mutant in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.). **Acta Agronomica Hungarica**, 47: 371–376, 1999.

ADUGNA, W., LABUSCHAGNE, M. T. Genotype x environment interactions and phenotypic stability analyses of linseed in Ethiopia. **Plant Breeding**, 121, 2002.

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, 2007.

ALBANO, I. A cultura algodoeira no Ceará. In: Conferência algodoeira, 1, 1916, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura, v. 2, p. 168-210.

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

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: USAID/Edgard Blucher, 381p. 1971.

ALLIPRANDINI, L.F. Estudo dos efeitos ambientais, estabilidade, adaptabilidade e ganho genético em linhagens de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Estado do Paraná. Londrina, 1992. 122p. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, 1992.

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 simensis* (L.) Savi, **Ciência Agronômica**, v.13, n.1/2, p.53-59, 1982.

ANDRADE F. N.; ROCHA M. M.; GOMES R. L. F.; FREIRE FILHO F. R.; RIBEIRO V. Q.; RAMOS S. R. R. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de vagem roxa e grão

branco para produção de feijão-verde. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006. **Resumo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte (CD-ROM).

ANNICHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, 1992.

ANNICCHIARICO, P. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of genotype-location interaction in variety trials repeated over years. **Theoretical and Applied Genetics**, v.94, n.8, p.1072-1077, 1997.

AQUINO, A. B. de A.; AQUINO, B. F. de A.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I. da; UCHÔA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Universidade Federal do Ceará -Edições UFC. 1993, 248 p.

ARAÚJO, F. M. M. Caracterização bioquímica de sementes de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). 1997. **Dissertação** (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 84 p.

ARAÚJO, J. P. P. de; RIOS, G. P.; WATT, E. E.; NEVES, B. P. das; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P. de; GUIMARÃES C. M.; SILVEIRA FILHO, A. Cultura do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: descrição e recomendações técnicas de cultivo. Goiânia: Empraba-CNPAP. 82 p. (Embrapa-CNPAP Circular Técnica, 18). 1984.

ARAÚJO, J. P. P. de. Melhoramento do caupi no Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. (org.). **O caupi no Brasil**. 1.ed. Brasília, 1988. 722p, cap. 8, p.249-283.

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**, Vol. 2 (8), p. 352-355, August 2007.

ARIAS, E.R.A. Adaptabilidade e estabilidade das cultivares de milho avaliado no Estado do Mato Grosso do Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 a 1993/94. Lavras, 1996. 118p. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

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

ATROCH, A. L., SOARES, A. A., RAMALHO, M. A. P. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro testadas no estado de minas gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.24, n.3, p.541-548, jul./set., 2000.

BAKER, R.J. Tests for crossover genotype-environment interactions. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n.2, p.405-410, 1988.

BARRACLOUGH, G. **Atlas de História do mundo da Folha de São Paulo / Times**. 4ª edição revisada. São Paulo: Folha da manhã, p. 154-157, 1995.

BARRETO, D. P. D.; SANTOS, A. A. dos; QUINDERÉ, M.A.W.; VIDAL, J. C.; ARAÚJO, J. P. P.; WALT, E.E.; RIOS, G.P.; NEVES, B.P. **EPACE-10: nova cultivar de caupi para o Ceará**. Fortaleza: EPACE, Folder.

BARRETO, P.D.; QUINDERÉ, M.A.W. **Cultivares não ramadoras de caupi em associação cultural com milho**. Fortaleza: EPACE, 1993. 17p. (EPACE. Comunicado Técnico, 40).

BARRETO, P.D.; QUINDERÉ, M.A.W.; QUENTAL, A.R.T. Influência do hábito de crescimento do caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., em seu cultivo associado a cana-de-açúcar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4., 1996, Teresina, PI. **Resumos...** Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1996. p.79-80. (EMBRAPA-CPAMN. Documentos, 18).

BARRETO, P.D.; QUINDERÉ, M.A.W.; SÁ, M.F.P.; SANTOS, A.A. CNCx 698-128G -Linhagem de caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., com alto potencial de produção e adaptabilidade às diferentes condições de cultivo do Ceará. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4., 1996, Teresina, PI. **Resumos...** Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1996a. p.83-84. (EMBRAPA-CPAMN. Documentos,18).

BARRETO, P.D.; QUINDERÉ, M.A.W.; SÁ, M.F.P.; SANTOS, A.A. **Comportamento de linhagens de feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., em quatro municípios do Ceará**. Fortaleza: EPACE, 1996b. 14 p. (EPACE. Comunicado Técnico, 50).

BARRETO, P. D. Recursos genéticos e programa de melhoramento de feijão-de-corda no Ceará: avanços e perspectivas. In: QUEIROZ, M. A. de ; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). Recursos genéticos de plantas no Nordeste brasileiro. Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semiárido, Brasília, DF; Embrapa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. Disponível em: < [http:// www.cpatsa.emb.br](http://www.cpatsa.emb.br) >. Acesso: junho de 2006.

BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T., TEIXEIRA, R. de C., CRUZ, C. D. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.299-309, 2008.

BASFORD, K.E.; COOPER, M. Genotype x environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.49, n.2, p.153-174, 1998.

BAUDOIN, J. P., MARECHAL, R. Genetic diversity in Vigna. In: SINGH, S. R., RACHIE, K. O. (Ed.). **Cowpea research, production and utilization**. Chechester, U. K.: Jonh Wiley & Sons, p. 11-21, 1985.

BECKER, H.C. Correlation among some statistical, measures of phenotypic stability. **Euphytica**, v.30, n.3, p.835-840, 1981.

BECKER, H.C., LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, 101: 1-23, 1988.

BELTRÃO, N.E. de M; SANTANA, J.D.F. de; CRISÓSTOMO, J.R.; ARAUJO, J. P. P de; SOUZA, R.P. de. Avaliação de cultivares de caupi para consórcio com algodoeiro herbáceo . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.11, p.1147-1153, 1986.

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 (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v.47, n.269, p.89-102, 2000.

BOXER, C. R. **O império colonial português (1415-1825)**. Lisboa: Edições 79, 1981, 406p.

BRASIL, E. M.; CHAVES, L. J. Utilizacion de un modelo cuadratico para el estudio de la respuesta de cultivares a la variacion ambiental. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GENÉTICA, 11., Monterrey, 1994. **Memorias**. Monterrey: Asociacion Lationoamericana de Genetica, 616 p.

BURATTO, J. S., MODA-CIRINO, V.; FONSECA JÚNIOR, N. S., PRETE, C. E. C., FARIA, R. T. Adaptabilidade e estabilidade produtiva em genótipos precoces de feijão no estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 373-380, jul./set. 2007.

BURTON, J. W. Soyabean (glycine max (l.) merrill) fields. **Crops Research**, v. 53, n 1/3, p. 171-186, 1997.

CAJAZEIRAS, J. B. Identificação de genótipos de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] resistentes ao caruncho (*Callosobruchus maculatus* Fabr., 1792). 2000. 89 f. **Dissertação** (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CÂMARA, G.M. Ecofisiologia da soja e rendimento. In: CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: Publique., p.256-277. 1998.

CAMPBELL B.T., JONES, M.A. Assessment of genotype  $\times$  environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. **Euphytica**, 144: 69–78, 2005.

CARDOSO, M. J.; SANTOS, A. S. A. dos; FREIRE FILHO, F. R.; FROTA, A. B.; **“BR 12-Canindé”**: cultivar de feijão macassar precoce com resistência múltipla a vírus. Teresina: EMBRAPA-UEPAE de Teresina, 1988. 3p. (EMBRAPAUEPAE de Teresina. Comunicado Técnico, 39).

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; ATHAYDE SOBRINHO, C. **BR 14-MULATO**: nova cultivar de feijão macassar para o estado do Piauí. Teresina: EMBRAPA-UEPAE de Teresina, 1990. 4p. (EMBRAPA-UEPAE de Teresina. Comunicado Técnico. 48).

CARDOSO, M. J., FREIRE FILHO, F. R., RIBEIRO, V. Q., FROTA, A. B., MELO, F. B. Densidade de plantas no consórcio milho x caupi sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 93-99, jan. 1993.

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V.Q.; FROTA, A. B.; MELO, F. de B. Arranjo populacional no consórcio milho x feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em regime de sequeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v.41, n.233, p.19-27, 1994.

CARDOSO, M.J.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MELO, F.B.; FROTA, A.B. **Avaliação agroeconômica da produção de sementes de caupi sob irrigação**. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1995. 6p. (EMBRAPA-CPAMN. Comunicado Técnico, 62).

CARDOSO, M. J., MELO, F. B., ANDRADE JÚNIOR, A. S. Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n.4, p. 399-405, abr. 1997.

CARNEIRO, P. C. S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. 1998. 168p. **Tese** (doutorado) – Curso de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa. 1998.

CARVALHO, H. W. L. de; FARIA, L. C. de; PELOSO, M. J. D.; RIBEIRO, F. E.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, V. D.de. Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares de Feijoeiro Comum na Zona Agreste do Nordeste Brasileiro. Aracaju : Embrapa Tabuleiros, Costeiros, 2007. 20 p. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, **26**. 2007.

CARVALHO, H. W. L. de, BRITO NETO, J., FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. M., RIBEIRO, V. Q., RODRIGUES, A. R. dos S., RIBEIRO, S. S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de porte prostrado de feijão-caupi no biênio 2004-2005. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006a, Teresina. **Anais...** (CD),Teresina: Embrapa Meio Norte.

CARVALHO, H. W. L. de, BRITO NETO, J., FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. 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, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006b, Teresina. **Anais...** (CD),Teresina: Embrapa Meio Norte.

CARVALHO, H. W. L. de, BRITO NETO, J., FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. M., RIBEIRO, V. Q., RODRIGUES, A. R. dos S., RIBEIRO, S. S., RODRIGUES, A. R. dos S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de porte ereto de feijão-caupi no biênio 2004-2005. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006c, Teresina. **Anais...** (CD),Teresina: Embrapa Meio Norte.

CARVALHO, H. W. L. de, BRITO NETO, J., FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. 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, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006d, Teresina. **Anais...** (CD),Teresina: Embrapa Meio Norte.

CARVALHO, H.W.L., FARIA, L. C., WARWICK, D. R. N., ALBUQUERQUE, M. M., PELOSO, M. J. D., MELO, L. C., RODRIGUES, A. R. S., OLIVEIRA, V. D., RIBEIRO, S. S., SOUZA, E. M. **Adaptabilidade e Estabilidade de Genótipos de Feijoeiro Comum no Nordeste Brasileiro no Ano Agrícola de 2005**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16. Embrapa, Aracaju, SE, 2006.

CARVALHO, H. W. L., FARIA, L. C., PELOSO, M. J. D., RIBEIRO, F. E., MELO, L. C. VANICE DIAS DE OLIVEIRA, V. D. O., RIBEIRO, S. S. **Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares de Feijoeiro Comum na Zona Agreste do Nordeste Brasileiro.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26. Embrapa, Aracaju, SE, 2007.

CHAGAS, C. M. dos C. Tripes das inflorescências do feijoeiro macassar *Flanklinella schultzei* (Trybom). 3 p. 1993. Natal: EMPARN, **Comunicado Técnico, 21.**

CHAVES, L.J.; VENCOVSKY, R.; GERALDI, I.O. Modelo não-linear aplicado ao estudo da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.2, p.259-268, 1989.

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: plantas.** 2001.Rondonópolis: Fundação MT, 1183p.

CORNELIUS, P.L. Statistical tests and retention of terms in the additive main affects and multiplicative interaction model for cultivar trials. **Crop Science**, v.33, n.6, p.1186-1193, 1993.

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.

CORRÊA, M. P. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, v. 3, p. 70-111, 1952.

CRAUFURD, P.Q.; ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R.J.; MENIN, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, v.32, p.1-12, 1996.

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

CROSSA, J.; GAUCH, H, G.; ZOBEL, R.W. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. **Crop Science**, v.30, n.3, p.493-500, 1990.

CROSSA, J.; FOX, P.N.; PFEIFFER, W.H.; RAJARAM, S.; GAUCH, H.G. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, v.81, n.1, p.27-37, 1991.

CROSSA, J.A.; VARGAS, M.; VAN EEUWIJK, F.A; JIANG, C. Interpreting genotype x environment interaction in tropical maize using linked molecular markers and environmental covariables. **Theoretical and Applied Genetics**, v.99, n.3-4, p.611-625, 1999.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. **Cap. 3 e 4**. 3. ed., v. 1. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480 p.

CRUZ, C.D. **Programa GENES**: aplicativo computacional em genética e estatística (software). Viçosa: Imprensa Universitária, 2001. 442p.

DAIE, J. Mechanism of drought induced alterations in assimilate partitioning and transport in crops. *Critical Reviews in Plant Science*, v. 7. 1988, p. 117 – 137.

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

DE CAUWER, I. ORTIZ, R. Analyses of the genotype x environment in musa trials. **Experimental Agriculture**, V. 34, P. 177-188, 1998.

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

DUARTE, J.B. Aspectos gerais da interação genótipos x ambientes com ênfase na formação de redes de avaliação (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., Goiânia, 2001. **Resumos**. Goiânia: SBPM.

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

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

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Field Crops Research**. Amsterdam, Holanda, v.53, n.1-2, p.187-204, 1997.

EHLERS, J.D., W.C. MATTHEWS, A.E. HALL, AND P.A. ROBERTS. Inheritance of a broad-based form of nematode resistance in cowpea. **Crop Science**, 40: 611–618, 2000.

EHLERS, J.D., A.E. HALL, P.N. PATEL, P.A. ROBERTS, W.C MATTHEWS. Registration of ‘California Blackeye 27’ Cowpea. **Crop Science**, 40: 854–855, 2000.

ELIAS, H. T., BACKES, R. L., VIDIGAL, M. C. G., BALBINOT JR., A. A., HEMP, S. Estabilidade e adaptabilidade de linhagens e cultivares de Feijão do grupo carioca. **Scientia Agraria**, v.8, n.4, p.379-384, 2007.

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

EPACE (Fortaleza, CE). **Epace 11**: Fortaleza, ca. 1990, Folder.

FAGERIA, N. K. Ecofisiologia da cultura do caupi. In: FAGERIA, N. K. (Ed.) **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília, D F: Embrapa – DPU, p. 397-409, 1989.

FALCONER, D.S. The problem of environment and selection. **Am. Nat.** 86:293-298, 1952.

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

FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SIMPLÍCIO, A. A.; BEZERRA NETO, F.; TORRES, J.; REGO NETO, J. Comportamento ambiental e estabilidade produtiva de cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p. 1555- 1560, nov. 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**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 33-37, jan. 1993.

FERNANDEZ, G.C.J. Analysis of genotype x environment interaction by stability estimates. **Hort Science**, 26(8): 947-950, 1991.

FERY, R.L., P.D. DUKES. Registration of US-566, US-567, and US-568 root-knot nematode resistant cowpea germplasm lines. **Crop Science**, 35: 1722, 1995.

FERY, R.L. AND P.D. DUKES. 'Tender Cream' southernpea. **HortScience**, 31: 1250-1251, 1996.

FERY, R.L. 'Charleston Greenpack', a pinkeye-type southernpea with a green cotyledon phenotype. **HortScience**, 33: 907-908, 1998.

FERY, R.L. 'Petite-N-Green', a small-seeded, full-season, green cotyledon, pinkeye-type southernpea. **HortScience**, 34: 938-939, 1999.

FERY, R.L. 'Green Pixie', a small-seeded, green cotyledon, cream-type southernpea. **Hort-Science**, 35: (in press), 2000.

FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; KVITSCHAL, M. V.; RIMOLDI, F.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. ; ZUIN, G. C. Estabilidade produtiva de cultivares de mandioca-de-mesa coletadas no Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 551-562, out./dez. 2007.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, n.5, p.742-754, 1963.

FLORES, F.; MORENO, M.T.; CUBERO, J.I. A comparasion of univariate and multivariate methods to analyse G x E interaction. **Field Crops Research**, v.56, n.3, p.271-286, 1998.

FORNI-MARTINS, E. R. Citogenética de *Vigna Unguiculata* (L.) Walp. In: ARAÚJO, J. P. P. de, WATT, E. E. (org.) **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa – CNPAF; Ibadan: IITA, p. 141-157, 1988.

FOX, P. N., CROSSA, J., RAMOGOSA, I. Mutil-environment testing and genotype x environment interactions. IN: KEMPTON, R. A., FOX, P. N. (Ed.). **Statistical methods for plant variety evaluation**. New York: Chapman and Hall, 1997, cap. 8, p. 117-138. 1997.

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M.J.; ARAÚJO, A. G. de; SANTOS, A. A. dos; SILVA, P. H. S. da. **Características botânicas e agronômicas de cultivares de feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Teresina: EMBRAPA-UEPAE de Teresina, 1981. 40p. (EMBRAPA-UEPAE de Teresina. Boletim de Pesquisa, 4).

FREIRE FILHO, F.R. Genética do caupi. In: ARAUJO, J.P.P. de; WATT, E.E., org. **O caupi no Brasil**. Brasília: EMBRAPA/IITA, 1988. cap.6, p.159-229. 1988.

FREIRE FILHO, F. R.; SANTOS, A. A. dos, ARAÚJO, A. G. de; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **BR 17-Gurguéia: nova cultivar de caupi com resistência a vírus para o Piauí**. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1994. 6p. (EMBRAPA-CPAMN. Comunicado Técnico, 61).

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, 1996a. p. 97-98. (EMBRAPA-CPAMN. Documentos, 18).

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Análise da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de caupi de porte moita. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4., 1996, Teresina: **Resumos...** Teresina, EMBRAPA-CPAMN, 1996b. p.96-97. (EMBRAPA-CPAMN. Documentos, 18).

FREIRE FILHO, F.R., V.Q. RIBEIRO, P.H.S. DA SILVA, E, P.A.C. CARVALHO. **Monteiro: cultivar de caupi de tegumento branco para cultivo irrigado**. Teresina: Embrapa-Cpamn. Embrapa-Cpamn, Comicado Técnico 85: 1–3, 1998.

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, p.31-39, 2001.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, A. A. dos. Cultivares de caupi para a região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 264p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28). 2000.

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

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

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

FREIRE FILHO, F. R., RIBEIRO, V. Q., ROCHA, M. M., LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.24-30, jan-fev, 2005.

FURTADO, M. R., CARDOSO, A. A., CRUZ, C. D., GALVÃO, J. D., VIEIRA, C. Competição entre linhas de feijoeiro selecionadas em populações segregantes no monocultivo e no consórcio com milho, nos dois sistemas de cultivo. Parte I – Avaliação de linhas selecionadas no monocultivo. In: **Simpósio da pesquisa na UFV**, 2. Viçosa, 1990. Resumos. Viçosa, UFV, p. 68-69, 1990.

GABRIEL, K.R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, v.58, n.3, p.453-467, 1971.

GANDAVO, P. de M. Dos mantimentos de terra. In: GANDAVO, P. de M. Tratado da terra do Brasil. Disponível em < <http://www.br.br/> > Acesso em 13 de junho /2001;

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

GAUCH, H.G. Full and reduced models for yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.80, n.1, p.153-160, 1990.

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

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (ed.) **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press, 416p.1996.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.76, n.1, p.1-10, 1988.

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, F.M.A. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho avaliado em “safrinha” no período de 1993 a 1995. Lavras, 1997. 86p. **Dissertação** (Mestrado)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

GONÇALVES, J. A. Relações hídricas em cultivares de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas à deficiência hídrica do solo. 1999. 74 f. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

HANSON, W.D. Distance statistics and interpretation of Southern states regional soybean tests. **Crop Science**, v.34, n.6, p.1498-1504, 1994.

HILL, J. Genotype-environment – a challenge for plant breeding. **J. Agric. Sci.** 85: 477-493, 1975.

HINSON, K., HANSON, W. D. Competition studies in soybeans. **Crop Science**. V. 2, n. 2, p. 117-23, 1962.

HUEHN M. Beitrage 2 ur Erfassung der phanoty pischan stabilitat I. Vorshchlag einiger auf Rangin formationen beruhender stabilitats parameter. **EDV in Medizin und Biologie**. 10: 112-117. 1979.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stabilit. Part I: theory. **Euphytica**, v.47, n.3, p. 189-194, 1990.

HUEHN, M. Nonparametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. **Genotype-by-environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, p.235-270, cap.9, 1996.

ISMAIL, A.M., A.E. HALL, T.J. CLOSE. Chilling tolerance during emergence of cowpea associated with a dehydrin and slow electrolyte leakage. **Crop Science**, 37: 1270–1277, 1997.

JOHNSON, R. A., WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analyses**. 1998. Madison: Prentice Hall International, 816p.

KANG, M.S. A rank-sum method for selecting high-yielding stable corn genotypes. **Cereal Research Communications**, v.16, n.1-2, p.113-115, 1988.

KANG, M.S.; HARVILLE, B.G.; GORMAN, D.P. Contribution of weather variables to genotype x environment interaction in soybean. **Field Crops Research**, v.21, n.3-4, p.297-300, 1989.

KANG M, PHAM HN. Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. *Agron. J.* 83: 161-163, 1991.

KANG, M.S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, v.62, p.199-252, 1998.

KAYA, Y., PALTA, E., TANER, S. Additive Main Effects and Multiplicative Interactions Analysis of Yield Performances in Bread Wheat Genotypes across Environments. **Turk J Agric For**, 26, 275-279, 2002.

KEARSEY, M.J.; POONI, H.S. **The Genetical analysis of quantitative traits**. London: Stanley Thornes Publishers, 1998. cap.12, p.241-245: Genotype by environment interaction. 1998.

KOLAWALE, G.O., G. TIAN, B.B. SINGH. Differential response of cowpea varieties to aluminum and phosphorus application. **Journal of Plant Nutrition**, 23: 731–740, 2000.

KRUTMAN, S.; VITAL, A. F.; BASTOS, E. G. Variedades de feijão macáçar “Vigna sinensis”: características e reconhecimento. Recife: IPEANE, 46 p., 1968;

LATUNDE-DADA, A.O., R.J. O'CONNELL, P. BOWYER, J.A. LUCAS. Cultivar resistance to anthracnose disease of cowpea caused by *Colletotrichum destructivum* O'Gara. **European Journal of Plant Pathology**, 105: 445–450, 1999.

LAVORANTI, O. J. Adaptabilidade e estabilidade genética de *Eucalyptus grandis* comparações de resultados: Eberhart e Russell, 1966 e AMMI – additive main effects and multiplicative interaction analysis. Piracicaba, [s.n.], 2000. 70 p. **Dissertação** (Mestrado), Universidade Federal de São Paulo/ESALQ. Piracicaba, São Paulo.

LAVORANTI, O. J., DIAS, C. T. S., VENCOVSKY, R. Estudo comparativo: AMMI x Eberhart e Russell. IN: reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 46. Simpósio de Estatística Aplicada a Experimentação Agrônômica, 9. Piracicaba, 2001A. **ANAIS**. Piracicaba: ESALQ, p. 114-117.

LAVORANTI, O. J., DIAS, C. T. S., VENCOVSKY, R.. Estudo da adaptabilidade e estabilidade genética de progênies de *Eucalyptus grandis*, através da metodologia AMMI. IN: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 46. Simpósio de Estatística Aplicada a Experimentação Agrônômica, 9. Piracicaba, 2001B. **ANAIS**. Piracicaba: ESALQ, p. 118-121.

LAVORANTI, O. J., SANTOS DIAS, C. T. DOS S., VENCOVSKY, R. Adaptability study and phenotypic stability of progeny of *eucalyptus grandis* via ammi methodology. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 44, p. 107-124, jan/jun, 2002.

LAVORANTI, O. J. Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI. 2003. 184 f. **Tese** (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003;

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: **IBGE**, janeiro 2008; .

LIMA, M. B., ALVES, E. J., BORGES, A. L., NASCIMENTO, F. H. A. Efeitos das culturas de milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e caupi (*Vigna unguiculata*) na agregação de valor ao cultivo da bananeira ‘terra’, em Teolândia, litoral sul da Bahia. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 55-59, Abril 2005.

LIN, F. H., WU, Y. L. analysis of the adaptability os strains of hybrids progenies of indica rice under diverse cultural environment. **Journal Agricultural Associates of China**. v. 86, n. 1, p. 9-18, 1974.

LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVICHTH, L.P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, v.26, n.5, p.894-900, 1986.

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

LOPES, 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, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte, 2006.

MACHADO, E. C.; LGOA, A. M. M.; AZZINI, L. E. Trocas gasosas e relações hídricas em dois cultivares de arroz de sequeiro submetido à deficiência hídrica, em diferentes fases do crescimento reprodutivo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, PR, v. 8, n. 2, p. 139-147, 1996.

MAGARI, R.; KANG, M.S. SAS STABLE: stability analysis of balanced and unbalanced data. **Agronomy Journal**, v.89, n.5, p.929-932, 1997.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ROCHA, M de M.; PINHEIRO, J. B.; NELSON JÚNIOR, F da S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agrônômicos através de método uni-multivariado. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.215-226, 2006.

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

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.

MARQUES, G. V. Características fisiológicas em cultivares de feijão-de-corda submetidas ao estresse hídrico e salino. Fortaleza, 2005. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2005.

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



MEHTA, D.R., P.P. ZAVERI. Single seed versus single plant selection in cowpea. **Legume Research**, v. 20, n. 2, p. 130–132, 1997.

MELO, F. de B., CARDOSO, M. J., NEVES, A. C. das. Avaliação agroeconômica do sistema de produção do consórcio mamona e feijão-caupi. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte, 2006.

MIRANDA, P.; COSTA, A. F. da; OLIVEIRA, L. R. de; TAVARES, J. A., PIMENTEL, M. de L. SANTOS, V. F. dos. Competição de cultivares de feijoeiro macáçar, tipo ramador e semi-ramador em Pernambuco. **Resquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 11, n. especial, p. 61-67, 1999;

MIRANDA, F.T.S. Interação genótipos x ambientes em linhagens de soja selecionadas para resistência ao nematóide de cisto. Piracicaba, 1999. 141p. **Dissertação** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1999.

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 Agrônômica**. v.23, n.1/2, p.9-19, 1992.

MIRANDA, P.; COSTA, A.F.; OLIVEIRA, L.R.; TAVARES, J.A.; PIMENTEL, M.L.; LINS, G.M.L. Comportamento de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., nos sistemas solteiro e consorciado – III: tipo ramador. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.10, p.67-76, 1997.

MOHAMMADI, R., HAGHPARAST, R., AGHAEI, M., ROSTAEI, M., POURDAD, S. S. Biplot Analysis of Multi-Environment Trials for Identification of Winter Wheat Mega-environments in Iran. **World Journal of Agricultural Sciences**, 3 (4): 475-480, 2007.

MORAES, L. Z., PINHEIRO, J. B., MOURA, M. F., AGUIAR, A. V., DUARTE, J. B., CARBONELL, S. A. M., ZUCCHI, M. I., MOURA, N. F. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de soja em diferentes de semeaduras utilizando a metodologia AMMI. **Biosci. Journal. Uberlândia**, V. 19, N. 1, P. 7-14, JAN/ABR, 2003.

MURAKAMI, D. M., CARDOSO, A. A., CRUZ, C. D., BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, **Ciência Rural**, jan/fev, v.34, n. 001, p. 71-78, 2004.

NACHIT, M. M.; NACHIT, G.; KETATA, H.; GAUCH, H.G. ZOBEL, R.W. Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype-environment interaction in durum wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v.83, n.5, p.597-601, 1992.

NG, N. Q.; MARÉCHAL, R. Cowpea taxonomy, origin germ plasm. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O. (Ed.) **Cowpea research, production and utilization**. Cheichecter: Johm Wiley, p. 11-21, 1985.

OLIVEIRA, A. B. de O., DUARTE, J. B., PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 357-364, mar. 2003.

OLIVEIRA, A.C. Comparação de alguns métodos de determinação da estabilidade em plantas cultivadas. Brasília, 1976. 64p. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 1976.

OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.275-265, fev. 2006.

OLIVEIRA, J. S., SOBRINHO, F. S., FERNADES, S. B. V., WUNSCH, J. A., LAJÚS, C. A., DUFLONTH, J. H., ZANATTA, J. C., MOLETTA, J. L., PEREIRA, A. V., LEDO, F. J. S., BOTREL, M. A. AUAD, M. V. Estratificação de ambientes, adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho para silagem no sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, jul-ago, p. 997-1003, 2004.

ORTIZ, R.; MADSEN, S.; WAGOIRE, W.W.; HILL, J.; CHANDRA, S.; STOLEN, O. Additive main effect and multiplicative interaction model for a diallel-cross analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v.102, n.6-7, p.1103-1106, 2001.

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

PADULOSI, S.; NG N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B .B.; MOHAN, R.; DASHIELL, K. E; JACKAI, L. E. N., eds. **Advances in Cowpea Research**. Tsukuba; IITA JIRCAS, p.1-12, 1997.

PAIVA, J. B.; TEÓFILO, E. M; SANTOS. J. H. R. dos, LIMA J. A. A.; GONÇALVES, M. F. B; SILVEIRA, L. de F. S. “**Setentão**”: nova cultivar de feijão-de-corda para o estado do Ceará. 1988. Fortaleza: UFC, Folder.

PINHO, J. N. de; TAVORA, F. J. A. F.; GONÇALVES, J. A. Aspectos Fisiológicos. Capítulo 4. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. 2005. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 519p.

PEREIRA, A.S.; COSTA, D.M. Análise de estabilidade de produção de genótipos de batata no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.4, p.405- 409, 1998.

PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. Environmental and genotype-environmental components of ariability. III. Multiple lines and crosses. **Heredity**, v.23, n.3, p.339-356, 1968.

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 ed. Piracicaba: Degaspari/ ESALQ. SÃO PAULO, 477 p, 2000.

PINTHUS, M.J. Estimate of genotypic value: a proposed method. **Euphytica**, v.22, n.1, p.121-123, 1973.

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.36, n.2, p.381-385, 1959.

PRADO, E.E.; HIROMOTO, D.M.; GODINHO, V.P.C.; UTUMI, M.M.; RAMALHO, A.R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.625-635, 2001.

QUIN, F. M. Introduction. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.) **Advances in cowpea research**. Ibadan: IITA-JIRCAS, p. ix-xv, 1997.

RACHIE, K.O. Introduction. In: SINGH, S.H.; RACHE, K.O. **Cowpea, research, production and utilization**. Chichester: John Wiley. p.21-28, 1985.

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

ROCHA, M.M., J. A. A LIMA, F. R. FREIRE FILHO, C. J. S. ROSAL, V. C. V. LIMA. Resistência de caupi de tegumento branco a algumas estirpes de comovírus, potyvírus e cucumovírus. Pages100–101 in **Reunião nacional de pesquisa de caupi**, 4. Teresina. Resumos. Teresina: EMBRAPA CPAMN. (EMBRAPA-CPAMN, Documentos 18).

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

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. 2002. 173 f. **Tese** (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROCHA, M.M.; VELLO, N.A.; LOPES, A.C.A.; MAIA, M.C.C. Yield stability of soybean lines using additive main effects and multiplicative interaction analysis – AMMI. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.4, p.391-398, 2004.

ROCHA, M. de M., ANDRADE, F. N., GOMES, R. L. F., FREIRE FILHO, F. R., RIBEIRO, V. Q., RAMOS, S. R. R. Estabilidade fenotípica da produção de feijão-verde de genótipos de feijão-caupi. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006a, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte.

ROCHA, M. de M.; MACHADO, C. F.; 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.; LOPES, A. C. de A. e BARRETO, A. L. H. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade em grãos de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região nordeste. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006b, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte.

ROCHA, M. de M.; ROCHA, M. de M.; VELLO, N. A.; LOPES, A. C. de A.; UNEDA, S. H.; MAIA, C. M. **Correlações entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de óleo em soja**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.3, p.772-777, mai-jun, 2006c.

ROCHA, M.M.; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; CARVALHO, H. W. L., FILHO, J. B., RAPOSA, J. A. A., ALCÂNTARA, J. DOS P. RAMOS, S. R. R., MACHADO, C. F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1283-1289, set. 2007.

ROMAGOSA, I.; FOX, P.N. Genotype x environment interaction and adaptation. In: HAYWARD, M.D.; BOSEMARK, N.O.; ROMAGOSA, I. **Plant breeding: principles and prospects**. London: Chapman & Hall, 1993. chap. 20, p. 375-390.

ROSSE, L.N.; VENCOVSKY, R. Modelo de regressão não-linear aplicado ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no Estado do Paraná. **Bragantia**, v.59, n.1, p.99-107, 2000.

SAGRILO, E., AZEVEDO, J. N. de A., SOUSA, V. F. DE S., RAMOS, G. M., BARBOSA, F. J. V., ARAÚJO, R. O. da C., JAIR ALVES dos SANTOS, J. A. dos, ARAÚJO, F. S. **Consórcio de mandioca + feijão-caupi adaptado à agricultura familiar**. Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 47, 2003.

SAMPAIO, L. S., CRAVO, M. S., F. R. FREIRE FILHO, F. R., M. M. 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, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte.

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

SANTOS, C. A. F., BARROS, G. A. de A., SANTOS, Y. C. N. dos, FERRAZ, M. G. de S. Competição de linhagens de feijão-caupi avaliadas na área de influência de petrolina e juazeiro. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio Norte, 2006.

SAS (SAS INSTITUTE - Cary, Estados Unidos). **Software and services**: system for Windows, versão 8.0: software. Cary, 2002.

SHADE, R.E., L.L. MURDOCK, L.W. KITCH. Interactions between cowpea weevil (Coleoptera:Bruchidae) populations and *Vigna* (Leguminosae) species. **Journal of Economic Entomology**, 92(3): 740–745, 1999.

SHAFII, B.; PRICE, W.J. Analysis of genotype-by-environment interaction using the additive main effects and multiplicative interaction model and stability estimates. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v.3, n.3, p.335-345, 1998.

SHUKLA, G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. **Heredity**, 29, 237-245, 1972.

SILVA, J.G.C. Análise da adaptabilidade por regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.7, p.1013-1029, 1998.

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

SILVA, P. S. L. e; OLIVEIRA, C. N. de. Rendimento de “feijão verde” e maduro de cultivares de caupi. **Horticultura Brasileira**. v.11, n.2, p.133-135, 1993.

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

SINGH, B.B.; D’ HUGHES, J. Sources of multiples virus resistance. **IITA Annual Report 1999**. Project 11. Page 30, 1999.

SINGH, B.B. Screening for heat tolerance. **IITA Annual Report 1999. Project 11**. Page 40, 1999a.

SINGH, B.B. Improved breeding lines with resistance to bruchid. **IITA Annual Report 1999**. Project 11. Pages 29–30, 1999b.

SINGH, B.B. Breeding for improved quality. **IITA Annual Report 1999**. Project 11. Pages 31–32, 1999c.

SINGH, B.B. Breeding cowpea varieties for wide adaptation by minimizing genotype x environment interactions. Pages 173–181. In: **Genotype × environment interactions analysis of IITA mandate crops in sub-Saharan Africa**, edited by I.J. Ekanayake and R. Ortiz. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 2000.

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. (Ed.). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, 2002. p.287-300. 2002.

SNELLER, C.H.; KILGORE-NORQUEST, L.; DOMBEK, D. Repeatability of yield stability statistics in soybean. **Crop Science**, v.37, n.2, p.383-390, 1997.

SOUSA, G. de. Em que se apontam os legumes que se dão na Bahia. In: SOUSA, G. S. de. *Notícia do Brasil*. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, p. 94-95, 1974.

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

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Stability analysis on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**, v.17, n.1, p.75-81, 1994.

SUDENE (Recife, PE). **As secas do Nordeste**: uma abordagem histórica de causas e efeitos. Recife, 81p., 1981;

SUMMERFIELD, R. J.; PATE, J. S.; ROBERTS, E. H. The physiology of cwpea. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O. (Ed.). *Cowpea research, production and utilization*. Great Britain: a Wiley – Interscience Publications, 1985;

TAI , G. C. C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, v. 11, n. 2, p – 184-90, 1971.

TÁVORA, F. J. A.; MARQUES, G. V.; MENDES NETO, J.; SOARES, R. B. Produção e componentes de produção e características de florescimento de cultivares de feijão-de-corda. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 28, n.1/2, p.44-50, 1997.

TARAKANOVAS, P., RUZGAS, V. Additive Main Effects and Multiplicative Interactions Analysis of Grain Yield of wheat varieties in Lithuania. **Agronomy research**, v. 4, n. 1, p. 91-98, 2006.

TARAKANOVAS, P., SPRAINAITIS, A. Main additive effect and multiplicative interaction analysis of white clover genetic resources. **BIOLOGIJA**. n. 4, p. 38–42, 2005.

TEIXEIRA, S. M.; MAY, P. H.; SANTANA, A. C. de. Produção e importância econômica do caupi no Brasil. In: ARAÚJO, J.P.P. de; WATT, E.E., org. **O caupi no Brasil**. (Goiânia: EMBRAPA-CNPAP/Ibadan: IITA, 1988, p.101-136.

THILLAINATHAN, M.; FERNANDEZ, G.C.J. SAS application for Tai's stability analysis and AMMI model in genotype x environmental interaction (GEI) effects. **Journal of Heredity**, v.92, n.4, p.367-373, 2001.

TOLER, J.E. Patterns of genotypic performance over environmental arrays. 1990. 154p. **Thesis** (Ph.D.) – Clemson University, South Carolina, USA. 1990.

TOLER, J.E.; BURROWS, P.M. Genotypic performance over environmental arrays: a non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, v.25, n.1, p.131-143, 1998.

TURK, K. J.; HALL, A. E. Drought adaptation of cowpea.II. Influence of drought on plant water status and relations with seed yield. *Agronomy Journal*, Madison, WI, v. 72, n. 3, p. 421-427, 1980.

TYAGI, D.K., H.S. CHAWALA. Effect of season and hormones on crossability barriers and in vitro hybrid development between *Vigna radiata* and *Vigna unguiculata*. **Acta Agronomica Hungarica**, 47: 147–154, 1999.

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

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



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

VERDCOURT, B. Studies in the Leguminosae – Papilionoidae for the flora of tropical East Africa. IV. Kew Bulletin, Londres, v. 24, p. 597-569, 1970; 1970

VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis, a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v.53, n.2, p.89-91, 1978.

VICENTE, D.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A. Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. **Acta Scientiarum, Agronomy**. Maringá, v. 26, n. 3, p. 301-307, 2004.

VILARINHO, A. A., FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. M., RIBEIRO, V. Q., VILARINHO, O.L. B. adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte prostrado em Roraima – safras 2004 e 2005. ANAIS DO CONAC 2006.

WATT, E. E.; ZIMMERMANN, F. J. P.; FONSECA, J. R.; FREIRE, M. S. Coleções de germoplasma de caupi: conservação e avaliação no Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. de, WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa – CNPAF; Ibadan; IITA, p. 234-248, 1988.

WESTCOTT, B. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. **Journal of Agricultural Sciences**, v.108, n.2, p.267-274, 1987.

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei someerweizen und hafer. **Z. Planzenzuechtung**, v. 52, p. 127-138, 1965.

WRICKE, G.; WEBER, E.W. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. Berlin: Walter de Gruyter, 406p., 1986.

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.; CORNELIUS, P.L.; CROSSA, J.; HUNT, L.A. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. **Crop Science**, v.41, n.3, p.656-663, 2001.

YATES, F.; COCHRAN, W. G. The analysis of groups of experiments. **Journal of Agricultural Sciences**, v.28, n.4, p.556-580, 1938.

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

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

ZOBEL, R.W.; MADISON, J.W.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.388-393, 1988.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A** – Informações sobre procedência, cor dos grãos e peso de 100 grãos dos genótipos de porte prostrado avaliados no presente estudo.

<b>Genótipos</b>	<b>Procedência</b>	<b>Cor dos grãos</b>	<b>Peso de 100 grãos</b>
<b>EPACE 10</b>	UFC, CE	Mulato	21,1
<b>Setentão</b>	UFC, CE	Sempre-verde	20,3
<b>Sempreverde/UFC</b>	UFC, CE	Sempre-verde	17,9
<b>Aparecido/UFC</b>	UFC, CE	Mulato	20,6
<b>Lisão/CE</b>	Iguatu, CE	Mulato claro	21,0
<b>Sempre verde /CE</b>	Iguatu, CE	Sempre-verde	16,5
<b>Pingo-de-ouro -1/2</b>	Iguatu, CE	Mulato-claro	25,3
<b>Pingo-de-ouro-1</b>	Iguatu, CE	Mulato-claro	22,9
<b>Inhuma</b>	Inhumas, PI	Mulato-claro	22,6
<b>BRS – Rouxinol</b>	EBDA, BA	Sempre-verde	16,8
<b>BRS – Paraguaçu</b>	EBDA, BA	Branco	16,4
<b>BRS – Guariba</b>	Embrapa Meio-Norte, PI	Branco	19,6
<b>BRS – Marataoã</b>	Embrapa Meio-Norte, PI	Mulato-claro	19,6
<b>BR 17 – Gurguéia</b>	Embrapa Meio-Norte, PI	Sempre-verde	12,4
<b>Frade preto</b>	UFC, CE	Preto	20,9

**APÊNDICE B** – Informações com base nos agropólos de desenvolvimento agrícola, segundo Secretaria de Agricultura do estado do Ceará, sobre os municípios utilizados no presente estudo.

MUNICÍPIOS	REGIÃO	DISTÂNCIA (km)	ALTITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	SOLO
<b>Alto Santo</b>	Médio Jaguaribe	243,10	79,5 m	39° 15' W	5° 31' S	Podzólico Vermelho- Amarelo e Litófico, Podzólico
<b>Barreira</b>	Maçiço de Baturité	72,00	415,7 m	04° 17' W	38° 38' S	Vermelho- Amarelo Eutrófico e Planossolo Podzólico
<b>Crateús</b>	Inhamuns Norte	354,00	274,7 m	40° 40' W	5° 12' S	Vermelho- Amarelo Eutrófico e Planossolo Podzólico
<b>Itapipoca</b>	Litoral oeste	130,30	108,7 m	39° 34' W	3° 30' S	Vermelho- Amarelo Eutrófico e Planossolo Podzólico
<b>Limoeiro do Norte</b>	Baixo Jaguaribe	196,10	30,2 m	38° 06' W	5° 08' S	Vermelho- Amarelo Eutrófico

**APÊNDICE C** - Precipitação pluvial (mm), no período de janeiro a junho dos anos agrícolas de 2006/2007, relativos à avaliação de genótipos de feijão-de-corda no estado do Ceará.

<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Mês</b>						<b>Total</b>
		<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maió</b>	<b>Junho</b>	
<b>2006</b>	<b>Alto Santo</b>	0	79,6	299,7	227,8	170	47,4	824,5
	<b>Barreira</b>	0	117	173	247	227	71	835
	<b>Crateús</b>	69	107	164	192	75	22	629
	<b>Itapipoca</b>	19,6	298,5	373,1	358,2	149,6	68,2	1267,2
	<b>Limoeiro do Norte</b>	3	104,2	198,9	162,9	149,9	21	639,9
<b>2007</b>	<b>Alto Santo</b>	0	203	55,5	79,4	44,6	0	382,5
	<b>Barreira</b>	0	218	142	261,8	0	0	621,8
	<b>Crateús</b>	0	268	49	65	30	0	412
	<b>Itapipoca</b>	41,6	288,4	153,2	176,8	55,4	0	715,4
	<b>Limoeiro do Norte</b>	2	86,1	154,4	146,1	78,7	0	467,3

FONTE: FUNCEME (2006/2007).

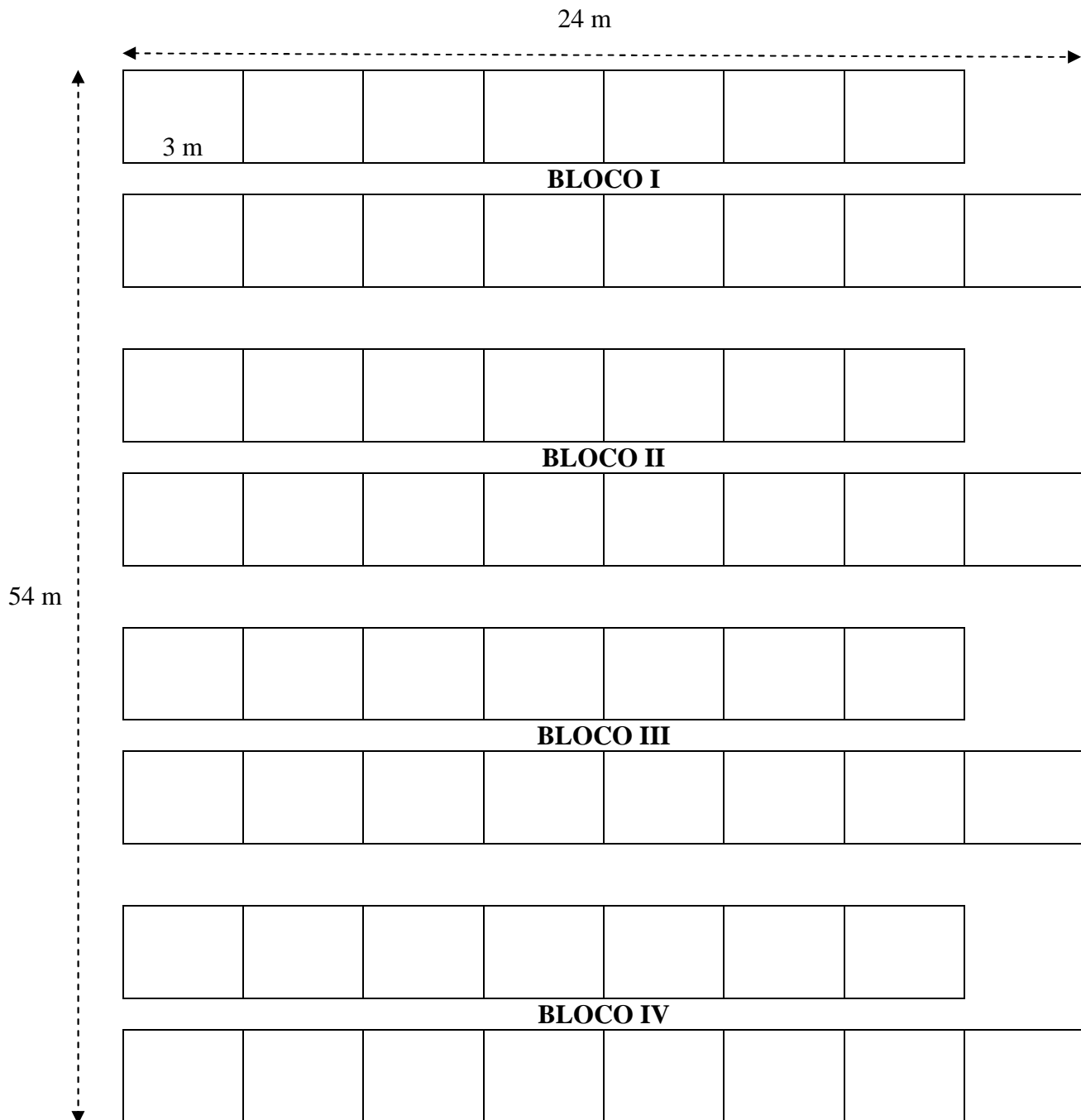
**APÊNDICE D** - Análises químicas dos solos nos locais Alto Santo, Barreira, Crateús, Itapipoca e Limoeiro do Norte, do estudo com feijão-de-corda no estado do Ceará, 2006/2007.

Local	pH	MO	P (mg/dm <sup>3</sup> )	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				SB	CTC	V (%)	PST (%)	
				K	Ca	Mg	Al					Na
Alto Santo	7,8	8,28	150	5,8	47	29	nd	3,6	85,4	9,3	90	4
Barreira	5,6	6,6	1	2,4	12	11	1	5,9	31,3	52,7	59	11
Crateús	6,3	15,9	125	14,8	15	79	nd	8,7	117,5	151,3	78	6
Itapipoca	6,0	8,3	1	2,6	6	29	2	3,5	41,1	62,5	66	6
Limoeiro do Norte	6,8	20,5	1	7,0	131	44	nd	5,3	187,3	221,9	84	2

**APÊNDICE E** - Critérios utilizados para a interpretação de análises de solos para o Estado do Ceará (Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará. Fortaleza. UFC. 1993. 248 p.).

Determinações	Unidade	Classificação					
		Baixo	Médio	Alto	Muito alto		
Alumínio	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0 - 5,0	6 - 10	> 10	-		
Cálcio	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0 - 15	16 - 40	> 40	-		
Magnésio	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0 - 5	6 - 10	> 10	-		
Potássio	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0 - 1,15	1,16 - 2,30	2,31 - 4,6	> 4,6		
Fósforo	mg/dm <sup>3</sup>	0 - 45	46 - 90	91 - 180	> 180		
Matéria orgânica	g/kg	0 - 15	16 - 30	> 30	-		
pH em água (1:2,5)	Acidez		Neutralidade		Alcalinidade		
	Baixa	Média	Alta		Baixa	Média	Alta
	< 5	5,1-5,9	6-6,9	7,0	7,1-7,4	7,5-7,9	>7,9
Teor	Micronutrientes						
	Cu	Zn	Mn	Fe	B		
Baixo	0 - 0,2	0 - 0,5	0 - 1,2	0 - 4	0 - 0,2		
Médio	0,3 - 0,8	0,6 - 1,2	1,3 - 5	5 - 12	0,2 - 0,6		
Alto	> 0,8	> 1,2	> 5,0	> 12	> 0,6		

**APÊNDICE F** – Esquema de campo com delineamento em blocos casualizados dos experimentos realizados no presente estudo de adaptabilidade e estabilidade com feijão-de-corda no estado de Ceará, 2006/2007.





**APÊNDICE G** - Esquema da análise de variância individual para os genótipos em blocos ao acaso, ao nível de parcelas.

Fontes de variação	GL	QM	F
Bloco (B)	$r - 1$	$Q_1$	$Q_1/Q_3$
Genótipo (G)	$g - 1$	$Q_2$	$Q_2/Q_3$
Resíduo	$(r - 1)(g - 1)$	$Q_3$	
Total	$(rg - 1)$		

**APÊNDICE H** - Esquema da análise de variância conjunta/ano para os genótipos, em blocos ao acaso, ao nível de parcelas.

Fontes de variação	GL	QM	F
Local (L)	$l - 1$	$Q_1$	$Q_1/Q_5$
Bloco (B)/(L)	$l(r - 1)$	$Q_2$	$Q_1/Q_2$
Genótipo (G)	$g - 1$	$Q_3$	$Q_3/Q_5$
G x L	$(g - 1)(l - 1)$	$Q_4$	$Q_4/Q_5$
Resíduo	$l(g - 1)(r - 1)$	$Q_5$	
Total	$(rgl) - 1$		

**APÊNDICE I** - Esquema da análise de variância conjunta geral para os genótipos, em blocos ao acaso, ao nível de parcelas.

Fontes de variação	GL	QM	F
B/L/A	$(r - 1)al$	$Q_1$	$Q_1/Q_9$
Anos (A)	$a - 1$	$Q_2$	$Q_2/Q_9$
Local (L)	$l - 1$	$Q_3$	$Q_3/Q_9$
Genótipo (G)	$g - 1$	$Q_4$	$Q_4/Q_9$
G x A	$(g - 1)(a - 1)$	$Q_5$	$Q_5/Q_9$
G x L	$(g - 1)(l - 1)$	$Q_6$	$Q_6/Q_9$
A x L	$(a - 1)(l - 1)$	$Q_7$	$Q_7/Q_9$
G x A x L	$(g - 1)(a - 1)(l - 1)$	$Q_8$	$Q_8/Q_9$
Resíduo	$al(r - 1)(g - 1)$	$Q_9$	
Total	$(rgal) - 1$		

**APÊNDICE J** - Esquema da análise de variância com a decomposição da soma de quadrados de ambientes/genótipos, conforme a metodologia de Eberhart e Russell (1966).

Fontes de variação	GL		SQ
Genótipo (G)	g - 1		
Ambiente (E)	e - 1		
G x E	(g - 1) (e - 1)		
E/A	g (e - 1)		$SQ_E + SQ_{G \times E}$
E linear	1		$SQ_{E \text{ linear}}$
G x E linear	(g - 1)		$SQ_{G \times E \text{ linear}}$
Desvio combinado(E/G)	g (e - 1)		$SQ_D$
Resíduo	ge (r - 1)		$SQ_R$

**APÊNDICE K** - Esquema da análise de variância AMMI ao nível de médias de ambientes, adotando o critério de Gollob para atribuição de graus de liberdade aos componentes principais da interação (CPI).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Genótipo (G)	g - 1	$SQ_G$	$QM_G$	
Ambiente (E)	e - 1	$SQ_E$	$QM_E$	
G x E	(g - 1) (e - 1)	$SQ_{G \times E}$	$QM_{G \times E}$	
CPI1	g + e - 1 - (2.1)	$\lambda_1^2$	$QM_{CPI1}$	$QM_{CPI1} / QM_R$
CPI2	g + e - 1 - (2.2)	$\lambda_2^2$	$QM_{CPI2}$	$QM_{CPI2} / QM_R$
CPI3	g + e - 1 - (2.3)	$\lambda_3^2$	$QM_{CPI3}$	$QM_{CPI3} / QM_R$
...		...		
CPIp	g + e - 1 - (2.p)	$\lambda_p^2$	$QM_{CPIp}$	$QM_{CPIp} / QM_R$
Resíduo	ge (r - 1)	$SQ_R$	$QM_R$	

**APÊNDICE L – Visão geral do ensaio em Barreira no ano de 2007.**

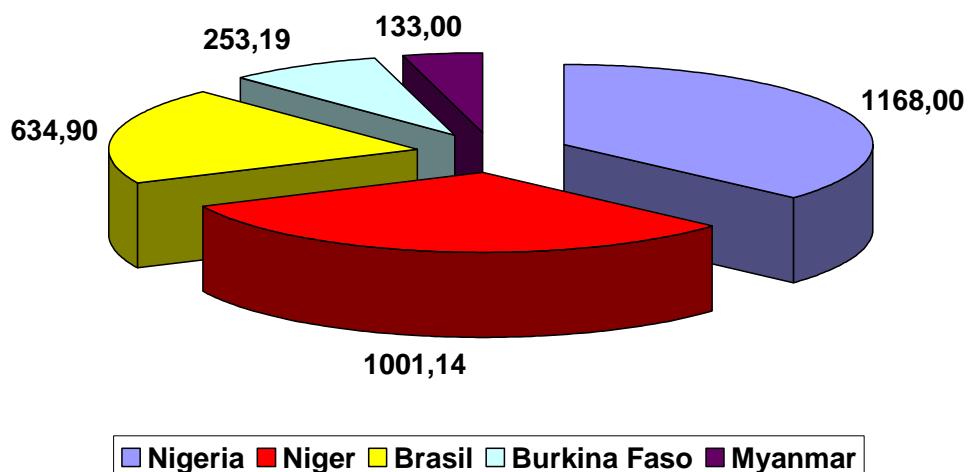


**APÊNDICE M – Visão geral do ensaio em Limoeiro do Norte no ano de 2007.**



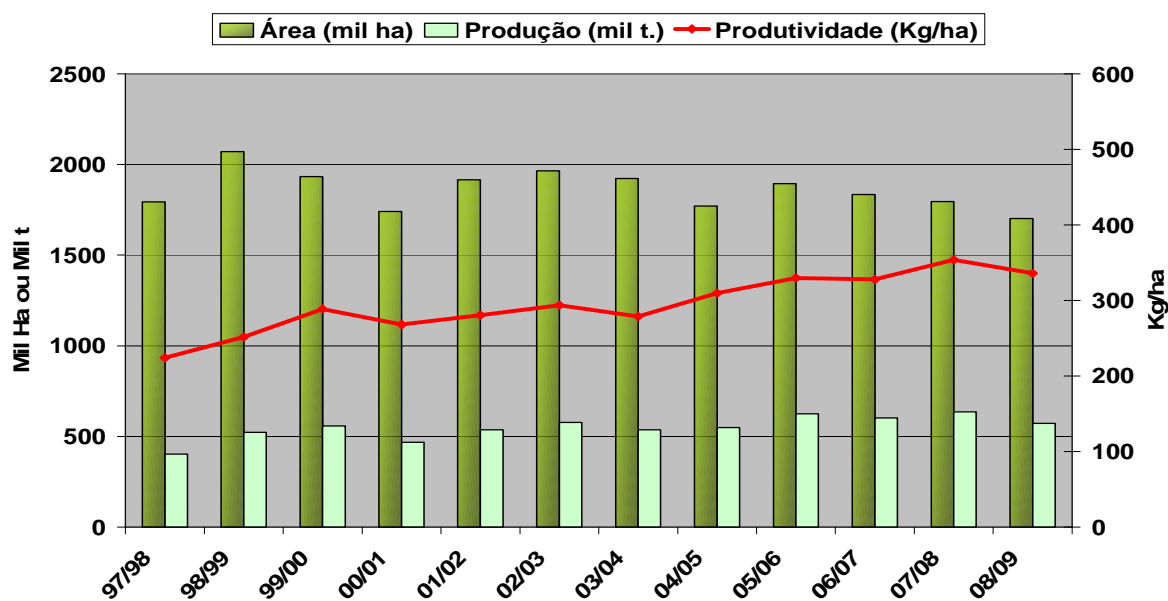
**ANEXOS**

**ANEXO A:** Estimativas da produção de feijão-de-corda dos maiores produtores mundiais safra 2007/2008 (em mil toneladas).



**Fonte:** FAO/FAOSTAT/CONAB (2008).

**ANEXO B:** Feijão-de-corda no Brasil: área, produção e produtividade de 1997/98 a 2008/09.



**Fonte:** CONAB (Companhia Nacional de abastecimento), 2008.

**ANEXO C:** Parâmetros sócio-econômicos da cultura do feijão-de-corda no Brasil. Média do período de 2004 a 2008.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>2004/2008</b>
Área colhida <sup>(1)</sup>	ha	1.319.168
Produção <sup>(1)</sup>	t	482.324
Nº de empregos gerados	0,8 emprego/ha/ano	1.055.334
Potencial de suprimento alimentar	18,21 kg/pessoa/ano <sup>(2)</sup>	26.486.755
Valor da Produção (R\$)	80,00/saco 60 kg <sup>(3)</sup>	643.098.417
<sup>(1)</sup> Estimativas obtidas a partir de dados do IBGE (LEVANTAMENTO...2004-2008).		
<sup>(2)</sup> Fonte: Hetzel (2009).		
<sup>(3)</sup> Preço mínimo da seca de 60 kg (Hetzel, 2009).		

**ANEXO D:** Estimativa da produção de feijão-de-corda no Brasil. Média do período de 2004 a 2008.

<b>Região</b>	<b>Área cultivada (ha)</b>	<b>Área cultivada (% do Brasil)</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Produção (% do Brasil)</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>	<b>Produtividade (% do Brasil)</b>
<b>Norte</b>						
Feijão-comum + feijão-caupi	165.330	4,5	120.008	3,7	726	83,0
Feijão-caupi	55.824	1,5	47.915	1,5	858	98,1
<b>Nordeste</b>						
Feijão-comum + feijão-caupi	2.140.073	58,2	919.230	28,6	430	49,1
Feijão-caupi	1.285.826	35,0	421.199	13,1	328	37,4
<b>Centro-Oeste <sup>(2)</sup></b>						
Feijão-comum + feijão-caupi	209.782	5,7	390.311	12,1	1.861	212,6
Feijão-caupi	17.852	0,5	22.017	0,7	1.233	141,0
<b>Brasil</b>						
Feijão-comum + feijão-caupi	2.515.185	100,0	3.218.487	100,0	875	100,0
Feijão-caupi	1.319.168	35,9	482.324	15,0	366	41,8
<sup>(1)</sup> Dados de feijão-caupi estimados a partir de dados do IBGE (LEVANTAMENTO...2004-2008).						
<sup>(2)</sup> Média do período de 2006 a 2008.						

**ANEXO E:** Feijão-de-corda (1ª, 2ª e 3ª safras) ranking da produção por estados safra 2007/2008 e 2008/2009.

UF	Safra 2007/08 Mil t.		UF	Safra 2008/09 Mil t		Var (%) 08/09 s/ 07/08
	Part. %			Part. %		
CE	239,6	37,7	CE	165,2	28,9	-31,07
MT	75,5	11,9	MT	105,9	18,5	40,16
PI	64,7	10,2	PI	71,5	12,5	10,56
PE	58,6	9,2	PE	67,1	11,7	14,42
PB	41,7	6,6	MA	43,9	7,7	5,26
PA	41,0	6,5	PA	38,5	6,7	-5,98
MA	39,2	6,2	BA	24,1	4,2	-38,52
RN	33,5	5,3	RN	23,1	4,0	-31,04
BA	27,1	4,3	PB	22,0	3,8	-18,82
AL	13,5	2,1	AL	10,0	1,7	-26,07
SE	0,6	0,1	SE	0,6	0,1	0,00
<b>BRASIL</b>	<b>634,9</b>	<b>100,0</b>	<b>BRASIL</b>	<b>571,7</b>	<b>100,0</b>	<b>-10,0</b>

**Fonte:** CONAB (Companhia Nacional de abastecimento), 2008.