

**Universidade Federal do Piauí**

**Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e  
estabilidade produtiva de grãos verdes**

**Teresinha de Jesus Feitosa de Sousa**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, área de concentração em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Mestre”.

**Teresina**

**2018**

**Teresinha de Jesus Feitosa de Sousa**  
**Licenciada em Ciências Biológicas**

**Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade  
produtiva de grãos verdes**

**Orientador:**

**Dr. Maurisrael de Moura Rocha**

**Dissertação apresentada à Universidade  
Federal do Piauí como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
graduação em Genética e Melhoramento,  
área de concentração em Genética e  
Melhoramento, para obtenção do título  
de “Mestre”.**

**Teresina**  
**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processamento Técnico

**S725s** Sousa, Teresinha de Jesus Feitosa de  
Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos verdes. - 2018.  
92 f. : il.

Dissertação ( Mestrado ) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Teresina, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

1. *Vigna unguiculata* 2. Feijão-verde 3. Interação genótipos x ambientes 4. Adaptação 5. Pervisibilidade I.Título.

**CDD 635.659 2**

**Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade  
produtiva de grãos verdes**

**Teresinha de Jesus Feitosa de Sousa**

**Licenciada em Ciências Biológicas**

**Aprovada em 30/04/2018**

**Comissão Julgadora:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Ribamar Assunção Filho- UEMA**

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes – CCA/UFPI**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Maurisrael de Moura Rocha – Embrapa Meio Norte  
(Orientador)**

À Deus, por ser meu refúgio e fortaleza,

**Ofereço.**

Aos meus pais João Batista Sousa e  
Antonia de Sousa Feitosa, por serem  
minha fonte de motivação,

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por tudo que Ele é na minha vida, por me fortalecer nos momentos mais difíceis dessa trajetória, e ter me dado a graça dessa conquista, toda honra e glória sejam dadas À Ele, por que até aqui me ajudou O Senhor!

À minha Mãezinha do Céu, Maria Santíssima, por sempre está ao meu lado, intercedendo por mim;

À Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

À Embrapa Meio-Norte, pela infraestrutura disponibilizada para que os ensaios fossem realizados;

Ao professor e orientador Dr. Maurisrael de Moura Rocha, por todos os ensinamentos, paciência e atenção, durante essa trajetória;

Aos professores da Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da UFPI, pelos ensinamentos durante o curso, tenho muita admiração por todos;

À professora Francielle Alline Martins e Professor Pedro Marcos de Almeida, pelos ensinamentos, pelo apoio durante a Graduação e por me conduzirem rumo a Pós-Graduação;

À equipe do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, em especial ao Manoel Gonçalves, Agripino Ferreira do Nascimento, Francisco Reis de França, Paulo Monteiro, Silvestre e as “mulheres do caupi” pela ajuda, carinho e atenção;

Aos estagiários do setor do Caupi da Embrapa Meio-Norte que se dispuseram a ajudar na coleta dos dados deste trabalho (Paulo Gomes, Samíria Pinheiro, Walter Frazão, Pablo Alves, Ana Flávia, Gabriel Santos, Daniel Bones e Tayanne Paula);

A todos os colegas da Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da UFPI, por todos os momentos compartilhados, tenho um carinho muito especial por vocês;

Aos meus pais por todo o amor e dedicação;

A minha amiga e mãe, Livramento, por compreender a minha ausência, principalmente nesses dois últimos anos;

Aos meus irmãos Antoniel Sousa e João Paulo Sousa, e todos os meus familiares por todo carinho e compreensão, principalmente devido a minha ausência;

A minha segunda família “Fraternidade Maria Mãe de Deus”, por todo o Amor;

A todos que de alguma maneira colaboraram com a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	12
1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISAO DE LITERATURA .....	17
2.1 Aspectos botânicos e socioeconômicos do feijão-caupi .....	17
2.2 Mercado de feijão-caupi para feijão-verde .....	18
2.3 Melhoramento de feijão-caupi para feijão-verde .....	21
2.4 Interação genótipos x ambientes (G x E) .....	23
2.5 Adaptabilidade e estabilidade. ....	25
2.5.1 Adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi .....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.1 Material genético .....	32
3.2 Ambientes de condução dos experimentos .....	32
3.3 Delineamento experimental .....	34
3.4 Manejo dos experimentos .....	34
3.5 Caracteres avaliados .....	35
3.6 Análise estatístico-genéticas .....	35
3.6.1 Análises de variância .....	35
3.6.2 Análises de agrupamento de médias .....	37
3.6.3 Análises de adaptabilidade e estabilidade .....	37
3.6.3.1 Metodologia de Eberhart e Russel .....	37
3.6.3.2 Metodologia GGE biplot .....	40
3.6.3.3 Metodologia REML/BLUP .....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1 Análises de variância individuais .....	44
4.2 Análises de variância conjunta .....	47
4.3 Agrupamento de médias .....	50

4.4. Análises de adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos verdes.....	54
4.4.1 Metodologia de Eberhart e Russel.....	54
4.4.2 Metodologia GGE Biplot.....	59
4.4.3 Metodologia REML/BLUP.....	70
5 CONCLUSÕES.....	77
REFERÊNCIAS.....	78
ANEXOS.....	92



## RESUMO

SOUSA, T. J. F. **Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos verdes**. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, 2018.

O mercado de vagens e grãos verdes tem crescido a cada dia, principalmente na região Nordeste do Brasil e representa uma alternativa de produção ao mercado de grãos secos. No entanto, predomina no comércio as cultivares locais, com baixa produtividade e qualidade comercial. O objetivo deste trabalho foi selecionar genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos verdes em ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, por meio de três diferentes metodologias. Foram avaliados 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes constituídos pela combinação de local (Pentecoste-CE, Acaraú-CE, Teresina-PI e Mossoró-RN) e ano (2012, 2013, 2014, 2015 e 2017). Em todos os ensaios adotou-se o delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes caracteres: números de dias para o início da floração e maturação, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, peso de cem grãos, índice de grãos e produtividade de vagens e grãos verdes. Foram realizadas análises de variâncias individuais e conjunta e agrupamento de médias para todos os caracteres, além de análise de adaptabilidade e estabilidade para a produtividade de grãos verdes, utilizando-se três metodologias: Eberhart e Russel, GGE Biplot e REML/BLUP. Observou-se variabilidade para todos os caracteres dentro de ambientes e, conjuntamente, exceto para o número de dias para a floração e a produtividade de vagens verdes. Os genótipos considerados ideais pela metodologia de Eberhart e Russel são MNC05-835B-16, MNC05-847B-123, MNC05-847B-126 e BRS Guariba, já pelas metodologias GGE Biplot e REML/BLUP são os genótipos MNC00-595F-27, MNC05-847B-123 e BRS Tumucumaque. As metodologias GGE Biplot e REML/BLUP, por conseguirem informar de forma mais direta os genótipos superiores em produtividade, adaptabilidade e estabilidade, são mais práticas do que a metodologia de Eberhart e Russel no processo de seleção. As linhagens MNC00-595F-27, MNC05-847B-123 e a cultivar BRS Tumucumaque foram superiores em precocidade, produtividade de grãos verdes, adaptabilidade e estabilidade, com maior probabilidade de sucesso de cultivo nas condições edafoclimáticas dos ambientes avaliados neste estudo.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, feijão-verde, interação genótipos x ambientes, adaptação, previsibilidade.

## ABSTRACT

SOUSA, T. J. F. **Selection of cowpea genotypes for yield adaptability and stability of green grains**. 2018. 92 f. Dissertation (Master in Genetics and Improvement) – Universidade Federal do Piauí, 2018.

The market for pods and green grains has been growing every day, mainly in the Brazil Northeast region and represents an alternative production to the dry grains market. However, local cultivars predominate in the trade, with low yield and commercial quality. The objective of this work was to select cowpea genotypes for green grain yield adaptability and stability in environments of the states of Ceará, Piauí and Rio Grande do Norte, through three different methodologies. Sixteen cowpea genotypes were evaluated in nine environments (Pentecoste-CE, Acaraú-CE, Teresina-PI and Mossoró-RN) and year (2012, 2013, 2014, 2015 and 2017). In all the trials the design of randomized complete blocks with four replications was adopted. The following traits were evaluated: number of days for flowering and maturation, pod length, number of grains per pod, weight of one hundred grains, grain index and green pod and grain yields. Analysis of individual and joint variances and grouping of averages for all traits, as well as adaptability and stability analysis were performed using three methodologies: Eberhart and Russel, GGE Biplot and REML / BLUP. Variability was observed for all traits within environments and together except for the number of days for flowering and green pod yield. The genotypes considered to be ideal by the Eberhart and Russel methodology are MNC05-835B-16, MNC05-847B-123, MNC05-847B-126, and BRS Guariba, and the GGE Biplot and REML / BLUP methodologies are the genotypes MNC00-595F-27, MNC05-847B-123, and BRS Tumucumaque. The GGE Biplot and REML / BLUP methodologies, because they can more directly inform the superior genotypes in yield, adaptability and stability, are more practical than the Eberhart and Russel methodology in the selection process. The MNC00-595F-27, MNC05-847B-123 lines and BRS Tumucumaque cultivar were superior in precocity, green grain yield, adaptability, and stability, with a greater probability of success in cultivation under the edaphoclimatic conditions of environments evaluated in this study.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, green bean, genotype x environment interaction, adaptation, predictability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Locais onde foram conduzidos os ensaios de feijão-verde.....	33
<b>Figura 2</b> - GGE Biplot para a produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	62
<b>Figura 3</b> - GGE Biplot mega-ambiente (which-won-where) para a produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	64
<b>Figura 4</b> - GGE Biplot “Média vs Estabilidade” para a produtividade de grãos verdes em 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	66
<b>Figura 5</b> - GGE Biplot para identificação do genótipo ideal em relação a produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	68
<b>Figura 6</b> - GGE Biplot “discriminação e representatividade” dos nove ambientes de teste nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, com base na produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados no período de 2012 a 2017.....	69
<b>Figura 7</b> - Características morfoagronômicas da linhagem de feijão-caupi de tegumento e cotilédone verde MNC00-595F-27.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Relação de genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão-verde com seus respectivos parentais/procedência e subclasses comerciais. Teresina, PI, 2017.....	32
<b>Tabela 2</b> - Descrição dos ambientes onde foram avaliados os ensaios de feijão-verde durante os anos de 2012 a 2017.....	33
<b>Tabela 3</b> - Classificação dos genótipos com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel (1966), segundo Barroso et al. (2013).....	39
<b>Tabela 4</b> - Resumo das análises de variâncias individuais, por ambiente, para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCG), índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	45
<b>Tabela 4</b> - Resumo das análises de variâncias individuais, por ambiente, para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCG), índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.(Continuação).....	45
<b>Tabela 5</b> - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF) avaliados em sete ambientes e número de dias para a maturação (NDM) avaliados em três ambientes de 16 genótipos de feijão-caupi nos estados do Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2014 a 2017.....	47
<b>Tabela 6</b> - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV) e peso de cem grãos (PCG) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove	

ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	49
<b>Tabela 7</b> - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	50
<b>Tabela 8</b> - Média dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), comprimento de vagem (COMPV) e número de grãos por vagem (NGV), obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	51
<b>Tabela 9</b> - Médias dos caracteres peso de cem grãos (PCG), índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV), obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	52
<b>Tabela 10</b> - Resumo da análise de variância conjunta referente à produtividade de grãos verdes obtida a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados de Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	54
<b>Tabela 11</b> - Estimativas de média ( $\beta_0$ ), coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ), variância dos desvios de regressão ( $\sigma^2_{di}$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), segundo o método de Eberhart e Russell (1966), para 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	56
<b>Tabela 12</b> - Médias da produtividade de grãos verdes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	59
<b>Tabela 13</b> - Proporção explicada e acumulada e a relação de informação (RI) dos nove componentes principais (CP), resultantes da análise de componentes principais, para a produtividade de grãos verdes, obtidas a partir da avaliação	

de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.....	60
<b>Tabela 14</b> - Estimativas dos componentes de variância (REML individual) e parâmetros genéticos obtidos a partir da avaliação da produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	70
<b>Tabela 15</b> - Componentes de média (BLUP individual) dos efeitos (g) e valores genotípicos preditos (u + g) livres de interação com ambientes, limite inferior de intervalo de confiança (LIIC), limite superior de intervalo de confiança (LSIC) e ganho genético (Gg) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	72
<b>Tabela 16</b> - Estabilidade dos valores genéticos (MHVG), adaptabilidade dos valores genéticos (PRVG), adaptabilidade e estabilidade dos valores genéticos simultaneamente (MHPRVG), valor genotípico capitalizando a adaptabilidade (PRVG $\mu$ ) e valor genotípico penalizado pela instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade (MHPRVG $\mu$ ) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017. ....	73

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é originário do continente africano e foi introduzido no Brasil no século XVI através dos colonizadores portugueses pelo estado da Bahia, de onde se disseminou por todo país (FREIRE FILHO, 1988). Constitui-se um componente alimentar básico das populações rurais e urbanas das Regiões Norte e Nordeste, no entanto o seu consumo vem se expandindo intensamente para as Regiões Centro-Oeste e Sudeste (FREIRE FILHO, 2011). É uma leguminosa importante nutricionalmente, visto que, representa uma excelente fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais, fibras alimentares e ácidos graxos insaturados (SALES; RODRIGUES, 1988).

Devido sua ampla variabilidade genética, constitui-se uma cultura versátil, utilizado para várias finalidades e em diferentes sistemas de produção (FREIRE FILHO et al., 2005a). Pode-se identificar, já bem estabelecidos no Brasil, três segmentos de mercado: grãos secos, feijão verde (vagem verde ou grão verde debulhado) e sementes (FREIRE FILHO, 2011).

Para a comercialização do feijão-caupi como feijão verde, a umidade do grão na fase imatura deve estar em torno de 60 a 70%. Ele é utilizado em vários pratos típicos no Nordeste do Brasil e o consumo pode ser de forma variada: em ensopados, farofas e no tradicional baião-de-dois, onde se cozinha o feijão junto com arroz. Os tipos comerciais preferidos para esse mercado são os tipos com grãos brancos e sempre-verde, mas cultivares de outras cores também são usadas, como o mulato, azulão e corujinha (ANDRADE et al., 2010).

O mercado brasileiro do feijão-caupi para feijão-verde atualmente é caracterizado pelo uso de cultivares locais, com baixa produtividade de grãos e baixa resistência a doenças. O desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adequadas ao mercado agrega mais valor ao produto, que contribui para o desenvolvimento e a sustentabilidade do agronegócio do feijão-verde na Região Nordeste do Brasil.

Quando se deseja recomendar uma cultivar para uma determinada região, é necessário conhecer o comportamento diferencial de um genótipo frente às variações ambientais, que se denomina como interação genótipo x ambiente (G x E) (ROCHA et al., 2007a). Ao se constatar a existência de interação G x E e esta

provoca mudanças no desempenho dos genótipos nos ambientes, a melhor estratégia para manejar a interação G x E é a seleção de genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade.

A adaptabilidade se refere à capacidade que os genótipos apresentam de aproveitarem de forma positiva os estímulos ambientais e a estabilidade é a capacidade de os genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em razão do estímulo ambiental (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Existe uma gama de métodos disponíveis para o estudo da adaptabilidade e estabilidade de um grupo de genótipos em uma série de ambientes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), dentre estes, estão os que se baseiam em análise de variância, regressão linear, regressão não-linear, análises multivariadas e estatísticas não paramétricas (BASTOS et al., 2007), assim como os que abordam modelos mistos.

No melhoramento para feijão-verde, a adaptabilidade e estabilidade da produção de vagens e de grãos verdes têm sido estudadas por meio das metodologias AMMI (ALLYENE et al., 1998; AQUINO; SANTOS; SILVA, 2016), de Eberhart e Russel (1966) (ROCHA et al., 2012; AQUINO; SANTOS; SILVA, 2016; PEKSEN; PEKSEN, 2012), Lin e Binns (1988) (ROCHA et al., 2007b; RODRIGUES et al., 2009; AQUINO; SANTOS; SILVA, 2016) e modelos mistos REML/BLUP (TORRES FILHO et al., 2016). Nesses estudos foram identificados genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade produtiva de vagens e grãos verdes.

O objetivo do presente trabalho foi selecionar genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos verdes em ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, por meio de três diferentes metodologias.



## 2 REVISAO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos botânicos e socioeconômicos do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), é uma *Dicotyledonea* pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *Catiang*, espécie *Vigna Unguiculata* (PADULOSI; NG, 1997). Dependendo da região no Brasil, o mesmo apresenta diversos nomes vulgares, sendo conhecido como feijão-de-macáçar ou macaça e feijão-de-corda na Região Nordeste; feijão-da-colônia, feijão-de-praia e feijão-de-estrada na Região Norte; feijão miúdo na Região sul; feijão catador e feijão gurutuba em algumas regiões da Bahia e no norte de Minas Gerais, e de feijão fradinho (tipo de grão que tem o tegumento branco com um grande halo preto) nos estados da Bahia e do Rio de Janeiro (FREIRE FILHO; CARDOSO; ARAÚJO, 1983; FREIRE FILHO et al., 2005a).

Essa cultura apresenta uma baixa exigência em fertilidade do solo, e uma capacidade única de fixar nitrogênio, mesmo em solos pobres, devido se beneficiar da associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* (SINGH; CHAMBLISS; SHARMA, 1997; ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

Segundo Freire Filho et al. (2011), o feijão-caupi é uma espécie de grande valor socioeconômico, pois possui ampla variabilidade genética, ampla capacidade de adaptação, alto potencial produtivo e excelente valor nutritivo. De forma que atua no suprimento das necessidades nutricionais, principalmente como fonte de proteínas para as pessoas de menor poder aquisitivo (TEÓFILO et al., 2008).

O feijão-caupi é cultivado em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia, América, Europa e Oceania, abrangendo mais de 97 países; dentre os quais, o Níger, a Nigéria e o Brasil são os que possuem maior área de cultivo (FREIRE FILHO et al, 2017). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil colheu em 2017 em uma área de 1.409.300 hectares, 713.300 toneladas, com uma produtividade de 506 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017).

Em referência a área cultivada com feijão-caupi no Brasil, 90% desta, está situada na Região Nordeste do país (LIMA et al., 2007). Para a safra 2016/2017, a maior produção, tal como a maior área cultivada encontrou-se nas Regiões Norte-Nordeste, produzindo em torno de 500,8 mil toneladas de grãos em uma área de

aproximadamente 1.179,9 milhões de hectares. A Região Nordeste destacou-se no cenário nacional, sendo responsável por mais da metade (55%) da produção total de grãos de feijão-caupi (CONAB, 2017). Esses dados são extremamente importantes, visto que refletem a atuação dessa cultura no âmbito de geração de empregos, de renda e da produção de alimentos no país, mostrando a necessidade de uma maior atenção por parte das políticas de abastecimento e por parte dos órgãos de apoio à pesquisa.

A média de produtividade de feijão-caupi (safra 2016/2017) na Região Nordeste foi de apenas 367 kg ha<sup>-1</sup>, em comparação aos 1.048 kg ha<sup>-1</sup> obtidos na Região Centro-Sul e 1.083 kg ha<sup>-1</sup> na Região Centro-Oeste (CONAB, 2017). Demonstrando a diferença da tecnologia aplicada nas distintas regiões do país, embora as condições edafoclimáticas também possam ser responsáveis por variações na produtividade.

Vale salientar que muito da produção de feijão-caupi não entra na estimativa da produção nacional, visto que na Região Nordeste grande parte da produção é realizada por pequenos agricultores, onde predomina o cultivo para o consumo próprio. Além do mais, há uma acentuada procura por grãos imaturos ou verdes, onde são vendidos principalmente em feiras populares, de modo que esses dados não são computados nas bases de produção nacional. Isso demonstra que a estimativa de produção nacional de feijão-caupi tem sido subestimada ao longo dos anos, indicando que essa espécie possui uma demanda e uma produção muito maior do que mostram as estatísticas oficiais.

## **2.2 Mercado de feijão-caupi para feijão-verde**

No Brasil, três segmentos de mercado para o feijão-caupi se destacam: grãos secos, feijão verde (vagem para a obtenção do grão verde ou o próprio grão verde, já debulhado) e sementes. Além desses mercados, há ainda o de feijão-vagem (feijão-de-metro), do cultigrupo *Sesquipedalis*, atualmente mais concentrado em alguns estados da Região Norte, porém com grandes possibilidades de expansão, e o de feijão processado industrialmente, o qual está em fase inicial e com boas perspectivas (FREIRE FILHO et al., 2017). A produção de feijão-caupi está voltada, basicamente, para atender o consumo de grãos secos, entretanto, têm aumentado a

demanda por vagens ou grãos verdes debulhados, promovendo maior importância para esse seguimento (ADEWALE et al., 2010).

Quando se fala em feijão-verde, o termo verde refere-se mais ao estágio em que a vagem é colhida do que diretamente à cor dos grãos (FREIRE FILHO et al., 2007). Na fase de colheita, os grãos apresentam em torno de 60 a 70% de umidade (ROCHA, 2009a), ou seja, um pouco antes ou depois da etapa em que param de acumular fotossintatos e desencadeiam o processo de desidratação natural. Através do intumescimento das vagens do feijão-caupi pode-se identificar o ponto para a colheita, além da leve alteração de tonalidade, quer sejam de cor verde quer de cor roxa, no qual o feijão é colhido e utilizado para o consumo ou comercializado na forma de vagem ou de grãos debulhados (FREIRE FILHO et al., 2005a).

Em relação a produção de vagens e grãos verdes, esta é realizada basicamente pela agricultura familiar, pois a comercialização das vagens e dos grãos verdes requer muito trabalho manual, principalmente na colheita e debulha, constituindo assim, uma fonte de renda alternativa, para esses pequenos agricultores.

A agricultura familiar utiliza baixo nível de tecnologia no cultivo e, geralmente, é praticada em condições de sequeiro; a colheita e pós-colheita são realizadas de forma totalmente manual e o comércio gira em torno de feiras, quitandas e pequenos mercados na forma de vagens verdes e grãos debulhados. O cultivo de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes, também vêm sendo realizada pela agricultura empresarial, utilizando média tecnologia no cultivo; geralmente é praticada tanto em condições de sequeiro, quanto em condições irrigadas; a colheita e pós-colheita é realizada de forma semi-mecanizada e o comércio envolve feiras, quitandas e supermercados na forma de vagens verdes, grãos debulhados e grãos ensacados (SOUSA, 2013).

Alguns entraves precisam ser resolvidos nas etapas que envolvem a produção de feijão-verde, uma vez que não se sabe o “ponto de colheita” exato, tendo sua representatividade prejudicada por um processo errôneo de colheita (ANDRADE, 2010), ademais, segundo Lima (2009), não se tem um conhecimento adequado, por parte dos produtores, distribuidores e, especialmente, consumidores, sobre as características ideais da cultura para o consumo na forma de feijão-verde.

Outro limitante para o cultivo do feijão-verde em grandes áreas é a colheita mecanizada, pois ainda não se dispõe de maquinário apropriado no mercado nacional.

Apesar do feijão-verde apresentar um elevado consumo, ele é desordenado, devido seu curto período de safra, que depende das variações pluviométricas. Para se incentivar a produção ordenada, em sistemas de irrigação, é necessário que se encontrem formas de conservação desse feijão para que a produção tenha mercado garantido. A conservação de feijão-caupi verde é também uma forma de agregar valor, garantir seu consumo em qualquer época do ano, especialmente, quando produzido na entressafra, ocasião em que o produto alcança elevados preços no mercado (BRITO, 2008).

O mercado de feijão-verde em Teresina-PI movimenta boa parte dos negócios da Central de Abastecimento do Piauí (CEAPI). A produção do feijão-verde vem basicamente de municípios piauienses (Agricolândia, Água Branca, José de Freitas, Palmeirais, São Pedro e Teresina), assim como do povoado Piranhas localizado no estado do Maranhão. Na CEAPI o preço do feijão-verde sofre uma grande variação durante os dias da semana, variando de acordo com a “feira”, ou seja, conforme a oferta e procura do produto. A comercialização do feijão-verde acontece tanto na forma de grãos debulhados como em vagens. Para a venda dos grãos debulhados, utiliza-se um recipiente como medida (litro). O preço de 1 litro de grãos debulhados varia de R\$ 3,00 a R\$ 6,00. Já as vagens são comercializadas no quilograma, o preço varia de R\$ 2,00 a R\$ 3,50. Aos sábados há uma maior procura do produto, refletindo, conseqüentemente, no dia que apresentam os preços mais elevados<sup>1</sup>. Diante disso, o feijão-verde é um segmento de mercado importante dentro do agronegócio do feijão-caupi, bem como oportunidade de renda para produtores e comerciantes.

---

<sup>1</sup> Informações fornecidas por comerciantes de feijão-verde da Central de Abastecimento do Piauí, Teresina- PI, à pós graduanda Teresinha de Jesus Feitosa de Sousa, em 20-09-2017

### 2.3 Melhoramento de feijão-caupi para feijão-verde

O melhoramento do feijão-caupi para o sistema de produção de grãos secos encontra-se amplamente desenvolvido, no entanto, o melhoramento para feijão-verde necessita ser implementado com o objetivo de melhorar características e selecionar cultivares mais adequadas a esse sistema de cultivo, visto a existência de uma grande demanda do produto pelo produtor, comerciante e consumidor (ANDRADE et al., 2010).

O tipo de cultivar a ser usada pelo produtor para o mercado de feijão-verde depende do sistema de cultivo que será adotado. Para a agricultura familiar, as cultivares devem apresentar, preferencialmente, crescimento indeterminado, porte semiprostrado, amplo ciclo produtivo, vagens grandes e atrativas. Nesse sistema, o pequeno produtor tem preferência por cultivares com longo período de floração e frutificação, que possibilite mais de uma colheita. Para a agricultura empresarial as cultivares devem apresentar, preferencialmente, crescimento determinado, porte ereto a semiereto, superprecoces a precoces, maturação uniforme, vagens de tamanho médio a grande, atrativas, preenchidas, uniformes, de fácil debulha e com longo período de preservação pós-colheita, devendo-se adotar o plantio escalonado (várias datas de plantios), de forma que se tenha regularidade na oferta do produto (SOUSA, 2013; ROCHA et al., 2017a). Além disso, deve possuir relação peso grão verde/vagens verdes superior a 60% (ROCHA et al., 2017a). Essa relação peso grãos verdes/vagens verdes corresponde ao índice de grãos, que mede a eficiência da cultivar na alocação de fotossintatos, servindo como referência para trabalhos de seleção (ALMEIDA, 2013).

Características como a cor, o brilho e a textura, que representam as qualidades físicas dos grãos, são importantes no melhoramento para feijão-verde, uma vez que estão intimamente relacionadas à preferência e ao hábito alimentar do consumidor (BUTCHER; MORELOCK, 2006). Para a produção de feijão-verde, normalmente as cultivares de grãos brancos ou do tipo sempre-verde, são as favoritas. Entretanto, cultivares com grãos de outras cores também têm sido usadas, como mulato, azulada e corujinha (FREIRE FILHO; CHAMBLISSE; HUNTER, 2002).

O desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi com grãos de tegumento verde e com a conservação dessa cor, constitui uma boa alternativa para o mercado

de feijão imaturo, pois tais cultivares podem ser colhidas próximo ao estágio de maturidade do grão seco com pouca perda de sua cor verde (EHLERS; FERY; HALL, 2002), além disso é importante que os grãos apresentem a capacidade de preservar um bom aspecto pós-colheita e pós debulha, pois grãos que escurecem rápido não são bem aceitos no mercado (FREIRE FILHO et al., 2005a; ROCHA et al. 2017a).

Estudos visando o melhoramento de feijão-caupi para o mercado de feijão-verde no Brasil, vêm sendo realizados com o intuito de avaliar e selecionar genótipos de feijão-caupi com características mais adequadas à esse mercado, sob diferentes regimes hídricos (OLIVEIRA et al., 2002; ANDRADE et al., 2005; ROCHA et al., 2006; ROCHA et al., 2007b; SOUZA et al., 2007; ANDRADE, 2010; ROCHA et al., 2012, RAMOS et al., 2014; 2015, SOUSA et al., 2015, FREITAS et al., 2016).

Silva et al. (2013) avaliaram oito cultivares de feijão-caupi nas condições de Serra Talhada - PE, onde obtiveram médias de produtividade de grãos verdes de 1.353,23 kg ha<sup>-1</sup> e índice de grãos de 50,3%, valores estes inferiores aos encontrados por Andrade et al. (2010) que foram de 2.816,61kg ha<sup>-1</sup> e 54,69 %, respectivamente. Isso pode ter ocorrido em virtude de altas temperaturas noturnas que foram observadas durante o experimento conduzido em Serra Talhada – PE, visto que, em períodos críticos de desenvolvimento da cultura (florescimento e enchimento dos grãos) proporciona redução no índice de grãos e produção.

Em um estudo realizado por Sousa et al. (2015), objetivando selecionar genótipos de feijão-caupi com potencial para o mercado de vagens e grãos verdes em sistema de sequeiro e irrigado, foram obtidos resultados de produtividade de grãos verdes de 3.217kg ha<sup>-1</sup> e 3.322kg ha<sup>-1</sup>, e índice de grãos de 62% e 64% em sistema de sequeiro e irrigação, respectivamente. Demonstrando que os diferentes regimes hídricos não influenciaram significativamente no desempenho dos genótipos.

No mercado brasileiro de feijão-verde, ainda não há cultivares melhoradas e lançadas comercialmente para essa finalidade. A falta de cultivares adequadas representa perdas para o produtor, visto que muitas não apresentam características apropriadas para esse mercado (ROCHA, 2009a). O feijão-verde ainda não é comprado pela cultivar e nem pelos seus atributos de qualidade, o que determina a

escolha do consumidor é o preço (OLIVEIRA et al., 2001). Isso mostra que a qualidade do feijão-verde deixa a desejar e o melhoramento pode contribuir para agregação de valor e conquista de novos mercados (SOUSA, 2013).

Apesar de ainda não haver cultivares de feijão-caupi lançadas exclusivamente para o mercado de feijão-verde, vários estudos apontaram algumas cultivares e linhagens, que a priori foram selecionadas para o mercado de grãos secos, apresentando também dupla finalidade, ou seja, potencial para grãos secos e verdes, como é o caso das cultivares BRS Paraguaçu, BRS Guariba, BRS Milênio, BRS Tumucumaque e BRS Aracê, (ANDRADE, 2010; SILVA et al., 2013; SOUSA et al., 2015) e das linhagens MNC00-595F-27 e MNC05-834B-15 (TORRES FILHO et al., 2017), que se destacaram com produtividades de grãos verdes acima de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>.

#### **2.4 Interação genótipos x ambientes**

O fenótipo consiste no resultado da ação do genótipo e do ambiente ( $F = G + E$ ), no entanto, quando um determinado genótipo é avaliado em mais de um ambiente, a manifestação fenotípica será influenciada por um novo componente resultante da interação dos genótipos por ambientes ( $G \times E$ ). A interação  $G \times E$  é decorrente da variação do desempenho particular de cada genótipo nos vários ambientes, ou seja, representa as diferentes sensibilidades dos genótipos às mudanças ambientais (RAMALHO et al., 2012).

Os valores genotípicos podem aumentar ou diminuir de um ambiente para outro, provocando uma classificação diferente dos genótipos entre os ambientes. Diante disso, para reduzir o efeito da interação  $G \times E$ , a condução dos experimentos no maior número possível de locais e anos se faz necessária, de forma a avaliar a magnitude da interação  $G \times E$  e o seu possível impacto sobre a seleção e a recomendação de cultivares (SILVA; DUARTE, 2006).

A interação  $G \times E$  pode ser classificada em interação simples e complexa. A interação simples é ocasionada pela diferença de variabilidade genética entre genótipos dentro dos ambientes, e a interação complexa configura 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,

representando em dificuldade adicional à seleção e recomendação de cultivares (CRUZ et al., 2012).

O processo tradicional de investigar as interações G x E é pela análise conjunta de variância, em grupos de experimentos. Em termos do melhoramento, a ocorrência significativa da interação G x E do tipo complexa, não é desejável, existindo várias opções para atenuar os efeitos dessa interação, tais como: (a) identificar genótipos específicos para cada ambiente; (b) promover subdivisões de uma área heterogênea em sub-regiões mais uniformes, de modo que os genótipos não interajam significativamente com os ambientes; e (c) identificar genótipos com maior estabilidade fenotípica (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Devido a infinidade de ambientes nos locais de clima tropical, a opção “a” se torna limitada, visto que onera e dificulta as etapas de produção de sementes e manutenção dos inúmeros genótipos necessários para os programas de melhoramento e também para a produção comercial de sementes (SANTOS, 2012).

A subdivisão em regiões mais homogêneas ou análise de estratificação de ambientes constituem maneiras de verificação da existência de discrepâncias ambientais, de forma que essas análises podem ser realizadas do ponto de vista agroecológico, o qual considera o tipo de solo, topografia, altitude, temperatura, precipitação pluviométrica, entre outros, ou ainda do ponto de vista da genética quantitativa em que há possibilidades de agrupamento ambiental naqueles locais, cuja interação G x E, seja não significativa (MURAKAMI et al., 2004).

O processo de estratificação ambiental consiste na subdivisão de regiões heterogêneas em sub-regiões mais uniformes, onde se exclui qualquer interação G x E significativa ou, em outras situações, uma interação significativa com predominância de porção simples, ou seja, que não venha a comprometer a recomendação das cultivares. Busca-se, assim, reunir ambientes de classificação genotípica similar, independentemente da qualidade ambiental. Porém, este método apresenta consistência apenas para interação de genótipos x locais e não para genótipos x anos, genótipos x safras ou genótipos x locais x anos (OLIVEIRA et al., 2005).

A análise de variância é o método mais utilizado para a avaliação da interação G x E por meio da análise conjunta dos experimentos. A significância da interação G



x E é determinada pelo teste F e detectada estatisticamente como um padrão de resposta diferencial dos genótipos entre os ambientes. No entanto, uma simples análise da interação G x E não garante informações completas e exatas sobre cada genótipo diante das variações ambientais, de forma que devem ser realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade, possibilitando a identificação de cultivares com comportamentos previsíveis e responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

## **2.5 Adaptabilidade e estabilidade**

A existência da interação G x E é uma dificuldade adicional à seleção e recomendação de genótipos, pois o melhor genótipo em um ambiente pode não o ser em outro (CRUZ; REGAZZI, 1997). Diante disso, Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) relatam que a alternativa utilizada constantemente para amenizar a influência dessa interação G x E é a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade.

A adaptabilidade consiste na capacidade dos genótipos responderem de forma positiva os estímulos ambientais, enquanto que a estabilidade refere-se à capacidade dos genótipos mostrarem previsibilidade frente às variações ambientais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

É fundamental o conhecimento da adaptabilidade e estabilidade de genótipos, principalmente na fase de lançamentos de cultivares, visando reduzir os efeitos da interação G x E, e facilitando a recomendação de cultivares produtivas, adaptadas, e estáveis às diferentes condições ambientais de cultivo (FREIRE FILHO et al., 2005b; OLIVEIRA; FONTES; ROCHA, 2015).

Diversos métodos são propostos para estimar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Neste aspecto, a escolha do método para a caracterização dos genótipos depende dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada pelo melhorista (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Basicamente, as metodologias para o estudo da adaptabilidade e estabilidade diferem quanto aos conceitos associados, aos parâmetros estimados, procedimentos biométricos adotados, exigências para utilização e número de parâmetros a serem interpretados (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Portanto, a utilização de mais de uma metodologia de avaliação é interessante, devido às peculiaridades que cada uma possui, contribuindo para o aprimoramento da análise e em alguns casos, as metodologias podem ser complementares entre si (PEREIRA et al., 2009).

Os principais métodos desenvolvidos para estudar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos, podem ser paramétricos ou não paramétricos. Dentre os paramétricos, os mais utilizados são os baseados em regressão linear, por exemplo, o de Eberhart e Russel (1966), que considera a regressão de cada variedade no experimento, em relação a um índice de ambiente e uma função de desvios desta regressão. A adaptabilidade de cada variedade é dada em função do coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ) de modo que: quando  $\beta_{1i} = 1$ , os genótipos são de adaptabilidade ampla ou geral;  $\beta_{1i} > 1$ , os genótipos apresentam adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e  $\beta_{1i} < 1$ , os genótipos são de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. A estabilidade está relacionada com a previsibilidade de comportamento dado pelo componente de variância devido aos desvios da regressão ( $\sigma^2_{di}$ ), sendo estáveis quando  $\sigma^2_{di} = 0$  e pouco estáveis ou instáveis quando  $\sigma^2_{di} \neq 0$  (EBERHART; RUSSEL, 1966).

As análises não paramétricas caracterizam-se por não exigir as pressuposições básicas preconizadas nas análises das variâncias tradicionais paramétricas. Dentre os métodos que se baseiam em análises não paramétricas, destaca-se o proposto por Lin e Binns (1988), neste a adaptabilidade e estabilidade são estimadas através do quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente. Caracteriza os genótipos superiores por meio do parâmetro  $P_i$ , associado à estabilidade e à produtividade, e define um genótipo superior como aquele que apresenta performance próxima do máximo nos ambientes testados (LIN; BINNS, 1988).

Carneiro (1998) fez algumas modificações no método proposto por Lin e Binns (1988) visando facilitar a interpretação e a recomendação de cultivares. Desse modo, para que a recomendação pudesse abranger os ambientes favoráveis e desfavoráveis, o estimador  $P_i$  do método proposto por Lin e Binns (1988), foi decomposto em  $P_{if}$  e  $P_{id}$ , para ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente. A classificação destes ambientes foi feita com base nos índices

ambientais, definidos como a diferença entre a média das cultivares avaliadas em cada ambiente e a média geral dos experimentos.

Metodologias baseadas em análises multivariadas para avaliar a adaptabilidade e estabilidade têm sido utilizadas, destacando-se a de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa - AMMI e de efeitos principais de genótipos + efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes - GGE Biplot.

Na metodologia AMMI há a associação da análise de variância dos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação genótipo x ambiente, descrevendo melhor a interação genótipo x ambiente, mediante o descarte de ruídos adicionais, presentes nas estimativas tradicionais da interação G x E (ZOBEL, WRIGHT; GAUCH, 1988; DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Segundo Zobel, Wright e Gauch (1988), a metodologia AMMI permite uma análise mais detalhada da interação G x E; garante a seleção de genótipos capitalizando suas interações positivas com os ambientes; propicia estimativas mais precisas das respostas genotípicas; e possibilita fácil interpretação gráfica dos resultados, nos chamados biplots (representação gráfica simultânea dos genótipos e ambientes).

A metodologia GGE Biplot proposto por Yan et al. (2000) considera os efeitos de genótipos e interação G x E no modelo, de modo que, busca agrupar o efeito do genótipo (efeito aditivo), com a interação (efeito multiplicativo) e submete estes efeitos às análises de componentes principais (YAN et al., 2000). A técnica Biplot, desenvolvida por Gabriel (1971), é empregada para aproximar e exibir o GGE biplot de um ensaio multi-ambiental, daí o termo GGE Biplot (YAN; RAJCAN, 2002). Nos gráficos do GGE Biplot visualizam-se aspectos importantes, como por exemplo, a relação entre os genótipos e ambientes, de forma que é permitido o agrupamento de genótipos e ambientes em cada subgrupo de ambientes (mega-ambientes); facilita a identificação do melhor ambiente na avaliação das cultivares e indica qual ambiente pode ser menos favorável; além de facilitar a comparação dos genótipos e do ordenamento para os parâmetros de rendimento e estabilidade (YAN, 2001; YAN; RAJCAN, 2002).

A abordagem de modelos mistos também vem sendo bastante empregada. Um dos procedimentos com essa abordagem é o REML/BLUP, o procedimento

REML (*Restricted Maximum Likelihood*), ou máxima verossimilhança restrita, estima componentes de variância necessários ao modelo e o BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), melhor preditor linear não viesado, estima o valor genotípico (RESENDE, 2007a).

Na metodologia REML/BLUP quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico entre dois locais, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos entre dois locais. Assim, a seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente seleção para produtividade e estabilidade. Em termos de adaptabilidade, refere-se à performance relativa dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes. Nesse caso, os valores genotípicos preditos são expressos como proporção da média geral de cada local e, posteriormente, obtém-se o valor médio dessa proporção através dos locais. A seleção simultânea por produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto dos modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) (RESENDE, 2007a; CARBONELL et al., 2007; SILVA et al., 2011).

O MHPRVG considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece a estabilidade e a adaptabilidade genotípica, o que permite a análise de dados desbalanceados e de delineamentos não ortogonais e com heterogeneidade de variâncias. Além disso, o modelo permite considerar erros correlacionados dentro de locais, bem como a estabilidade e a adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênies; fornece valores genéticos já descontados da instabilidade; e pode ser aplicado a qualquer número de ambientes. Fornece resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado, que podem ser interpretados diretamente como valores genéticos, o que os outros métodos não permitem. Esse modelo também permite inferências adicionais, tais como: seleção de genótipos específicos para cada local; seleção de genótipos estáveis através dos locais e seleção de genótipos responsivos (com alta adaptabilidade) à melhoria do ambiente (RESENDE, 2007a).

### 2.5.1 Adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi

Diversos métodos têm sido utilizados para o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijão-caupi. Estudos foram desenvolvidos utilizando a metodologia de Eberhart e Russel (1966), como o de Fernandes et al. (1990; 1993), Santos, Araújo e Meneses (2000), Freire Filho et al. (2001; 2002), Abreu et al. (2006), Aremu, Ariyo e Adewale (2007), Santos et al. (2008), Oliveira (2008), Yousaf e Sarwar (2008), Mano (2009), Sarvamangala et al. (2010), Nunes et al. (2014), Peksen e Peksen (2012), Rocha et al. (2012), El-Shaieny et al. (2015), Oliveira, Fontes e Rocha (2015), Santos et al. (2015), Aquino, Santos e Silva (2016) e Sousa et al. (2017). Esses autores identificaram genótipos de feijão-caupi com ampla adaptabilidade e adaptação específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis.

Com relação aos métodos não paramétricos, Mano (2009), Rocha et al. (2009b; c), Rodrigues et al. (2009), Adewale et al. (2010), Nunes et al. (2014), Silva et al. (2013b), Santos et al. (2015), Sousa et al. (2017) e Aquino, Santos e Silva (2016), utilizaram a metodologia de Lin e Binns (1988) na avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi.

Estudos utilizando os métodos multivariados em avaliações de adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi, são mencionados na literatura: Freire Filho et al. (2002; 2003; 2005c), Mano (2009), Rocha et al. (2007a; 2011), Barros et al. (2013), DDamulira et al. (2015) e Santos et al. (2015). Utilizando a metodologia GGE Biplot, encontram-se os trabalhos de Akande (2007), Aremu, Adebayo e Adeniji (2008), Oladejo, Akinwale e Obisesan (2011), Carvalho (2015), Olayiwola, Soremi e Okeleye (2015), Okoronkwo e Nwofia (2016), Oliveira et al. (2016), Santos et al. (2016), Sousa et al. (2018), de modo que, têm subsidiado o melhoramento e o lançamento de cultivares de feijão-caupi em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo.

Na literatura também foram encontrados estudos sobre a avaliação da adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi via modelos mistos, como: Carvalho et al. (2017), Rocha et al. (2016, 2017b, 2017c), Santos et al. (2016), Torres et al. (2015, 2016) e Torres Filho et al. (2017). Em modelos mistos, a metodologia REML/BLUP é eficiente para a seleção de genótipos superiores, pois envolve simultaneamente, a predição dos valores genéticos e estimação de componentes de

variância, sendo o procedimento ótimo de estimação/predição para estimação de componentes de variância/predição de valores genéticos (BORGES et al., 2009).

Santos et al. (2015) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi para a Região Centro-Oeste do Brasil, por meio das metodologias de Lin e Binns modificado por Carneiro (1988), Eberhart e Russel (1966) e AMMI (DUARTE; VENCOVSKY, 1999; ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988). Os genótipos MNC03-737F-5-1, BRS-Tumucumaque, BRS-Guariba, MNC02-684F-5-6, MNC03-725F-3, MNC02-682F-2-6, BRS-Cauamé, BRS-Itaim e MNC03-737F-5-11 foram os que apresentaram adaptação e estabilidade de rendimento, suficiente para recomendação para o Centro-Oeste brasileiro. Essas metodologias podem ser utilizadas de forma complementar para melhor prever o desempenho dos genótipos em vários ambientes.

Silva, Santos e Boiteux (2016) investigaram a adaptabilidade e estabilidade para o teor de proteína e produtividade de grãos, em 44 linhagens de feijão-caupi, em sete ambientes da região semi-árida, e também verificaram que as metodologias de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988), mostraram resultados semelhantes no que se refere à seleção de materiais superiores.

Barros et al. (2013), utilizando a metodologia AMMI, consideraram a combinação entre 6 locais e 2 anos (locais x anos) como fator ambiental para avaliar a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos em 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado. Esses autores obtiveram valores significativos para os efeitos de genótipos, ambientes e interação G x E, onde o primeiro componente principal explicou 41,36% da  $SQ_{G \times E}$  mostrando que todo o padrão da variação G x E está presente neste componente.

Em um estudo realizado por Santos et al. (2016), tanto a metodologia GGE Biplot, como de modelos mistos REML/BLUP, foram utilizadas com o objetivo de selecionar genótipos de feijão-caupi ereto que apresentassem simultaneamente alta produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade nos ambientes de Mato Grosso do Sul. Neste estudo, de acordo com a metodologia GGE Biplot, e a de modelos mistos, a cultivar BRS Tumucumaque, exibiu o melhor desempenho, seguido pela cultivar BRS Guariba, observando que houve concordância entre as

metodologias GGE Biplot e REML/BLUP na identificação dos melhores genótipos de feijão-caupi.

Rocha et al. (2017b) avaliaram 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiereto/ereto, em 27 ambientes da Região Norte, no período de 2013 a 2015, com o objetivo de selecionar e desenvolver cultivares para essa região com alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade, utilizando a metodologia REML/BLUP. Verificaram que de acordo com MHPRVG, as linhagens MNC04-795F-168 e MNC04-795F-154, juntamente com as cultivares BRS Novaera e BRS Guariba, foram as que apresentaram simultaneamente alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade às condições edafoclimáticas da Região Norte do Brasil.

Aplicando a metodologia de modelos mistos, Torres Filho et al. (2017) avaliaram 23 genótipos de feijão-caupi, com o objetivo de analisar a interação genótipos por ambientes e identificar genótipos que reunissem alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de vagens e grãos verdes nas condições de Mossoró-RN. Os autores concluíram que as cultivares BRS Xiquexique, BRS Aracê e a linhagem MNC05-835B-15, foram as que apresentaram tais características, podendo as mesmas ser cultivadas nas duas épocas de plantio consideradas no estudo

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

O material genético constituiu-se de dezesseis genótipos de feijão-caupi (linhagens e cultivares), sendo três cultivares (G14 a G16) utilizadas como testemunhas, atualmente comercializadas como feijão-verde (Tabela 1). Todos os genótipos são oriundos do Banco Ativo de Germoplasma e do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte.

**Tabela 1** - Relação de genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão-verde com seus respectivos parentais/procedência e subclasses comerciais. Teresina, PI, 2017.

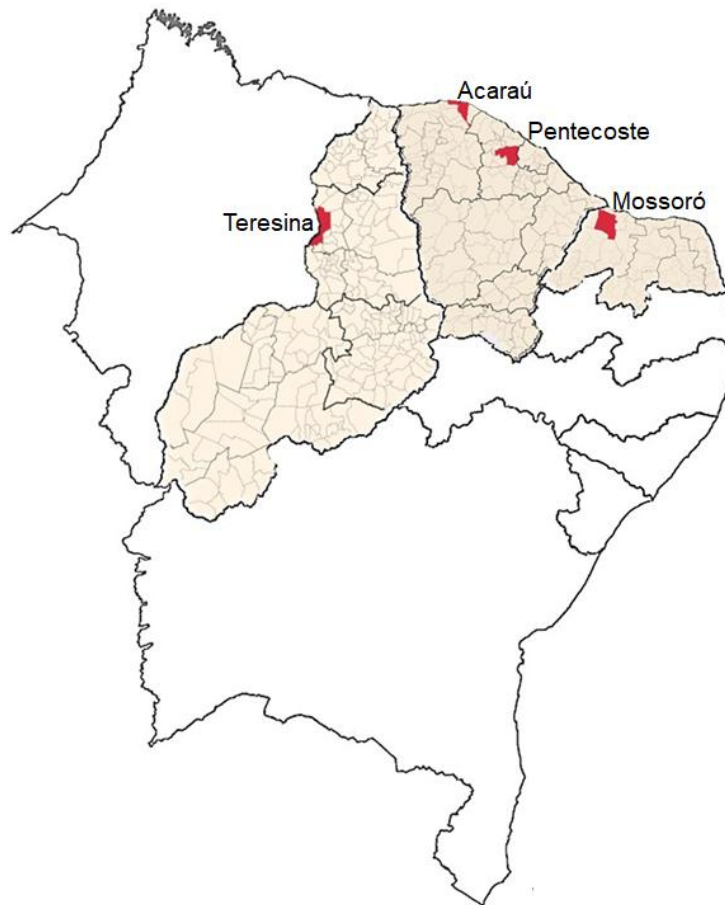
Código	Genótipos	Parentais/Procedência	Subclasse comercial
G1	MNC00-586F-303-9	Capela x IT85F-2687	Verde
G2	MNC00-595F-2	BR2 - Bragança x GV-10-91-1-1	Verde
G3	MNC00-595F-27	BR2 - Bragança x GV-10-91-1-1	Verde
G4	MNC05-835-B-15	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
G5	MNC05-835B-16	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
G6	MNC05-841B-49	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
G7	MNC05-847B-123	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
G8	MNC05-847B-126	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
G9	MNC99-541F-15	TE93-210-13F x TE96-282-22G	Branco Liso
G10	BRS Guariba	IT85F-2687 x TE87-98-8G	Branco Liso
G11	BRS Tumucumaque	TE96-282-22G x IT87D-611-3	Branco Liso
G12	BRS Xiquexique	TE87-108-6G x TE87-98-8G	Branco Liso
G13	Paulistinha	Juazeiro - CE	Canapu
G14	Vagem Roxa - THE <sup>(1)</sup>	Teresina - PI	Branco Liso
G15	Azulão - MS <sup>(1)</sup>	Dourados - MS	Azulão
G16	Sempre Verde - CE <sup>(1)</sup>	Fortaleza - CE	Sempre – verde

<sup>(1)</sup>Testemunha.

#### 3.2 Ambientes de condução dos experimentos

Os ensaios foram conduzidos nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, nos municípios de Teresina-PI situado a 05°05'S, 42°48'W e a 72m de altitude com clima tropical subúmido quente; Acaraú-CE situado a 2°53'S, 40°6'W e a 24m de altitude com clima tropical; Pentecoste-CE situado a 3°47'S, 39°16'W e a 45m de altitude com clima semiárido seco e Mossoró-RN situado a 5°11'S, 37°20'W e a 18m de altitude com clima seco e muito quente, durante os anos de 2012 a 2017 sob condição de irrigação, exceto Acaraú-CE no ano de 2015, que foi conduzido sob condição de sequeiro (período das chuvas) (Figura 1).





**Figura 1** - Locais onde foram conduzidos os ensaios de feijão-verde.

Os ambientes de avaliação dos ensaios experimentais consistiram da combinação de local e ano, resultando em nove ambientes (Tabela 2).

**Tabela 2** - Descrição dos ambientes onde foram avaliados os ensaios de feijão-verde durante os anos de 2012 a 2017.

Ambiente	Local	Ano	Cultivo
CE1	Pentecoste-CE	2013	Irrigado
CE2	Acaraú-CE	2013	Irrigado
CE3	Acaraú-CE	2015	Sequeiro
PI1	Teresina-PI	2012	Irrigado
PI2	Teresina-PI	2013	Irrigado
PI3	Teresina-PI	2017	Irrigado
RN1	Mossoró-RN <sup>(1)</sup>	2014 (Época 1)	Irrigado
RN2	Mossoró-RN <sup>(2)</sup>	2014 (Época 2)	Irrigado
RN3	Mossoró-RN	2015	Irrigado

<sup>(1)</sup>Ensaio conduzido entre março e maio de 2014; <sup>(2)</sup>Ensaio conduzido entre agosto e outubro de 2014.

Os ensaios foram conduzidos no período de março a maio e de agosto a outubro em Mossoró-RN e de junho a agosto em Pentecoste-CE, Acaraú-CE e Teresina-PI.

### 3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. A parcela experimental teve as dimensões de 2,0 m x 5,0 m e constou de quatro fileiras, tendo como área útil as duas fileiras centrais. Adotou-se o espaçamento de 0,50 m entre fileiras e de 0,25 m entre covas dentro da fileira, resultando em 20 covas por fileira.

### 3.4 Manejo dos experimentos

No preparo do solo foram utilizadas as práticas convencionais de aração e gradagem. No plantio, colocaram-se quatro sementes por cova, realizando-se o desbaste 15 dias após a semeadura, com compensação das falhas, deixando-se duas plantas por cova. Para o controle de plantas daninhas, aplicou-se um herbicida pré-emergente após a semeadura a base de S-METOLACLORO, na dosagem de 1L ha<sup>-1</sup>; herbicidas pós emergentes a base de PARAQUATE, na dosagem de 2L ha<sup>-1</sup> e capinas manuais complementares. Quando necessário, aplicaram-se inseticidas (Dimetoato, na dosagem de 0,6 L ha<sup>-1</sup>; Deltametrina, na dosagem de 0,3 L ha<sup>-1</sup> e Thiamethoxam, na dosagem de 100g ha<sup>-1</sup>) para o controle de insetos-praga associados à cultura, como pulgão (*Aphis craccivora*); vaquinha (*Cerotoma arcuata*); percevejo (*Crinocerus sanctus*); cigarrinha (*Empoasca kraemerie*) e mosca branca (*Bemisia* spp). Nos ensaios irrigados, adotou-se o método por aspersão convencional, por um período de acordo com as necessidades da cultura em cada local.

As colheitas foram realizadas manualmente, sempre que as vagens se apresentavam no ponto de maturação para feijão-verde. Embora o ponto de colheita ideal seja difícil de ser definido no campo, principalmente nos genótipos que não desenvolvem uma maturação uniforme, buscou-se seguir um padrão de maturação para efeito de colheita. No caso dos genótipos de vagem verde, o ponto de colheita

era quando as vagens começavam a mudar da cor verde para a amarela; no caso dos genótipos com vagens roxas, a colheita era realizada quando as vagens apresentavam 50% de pigmentação verde e 50% de pigmentação roxa.

### **3.5 Caracteres avaliados**

Foram avaliados na unidade experimental, os seguintes caracteres:

- Número de dias para o início da floração (NDIF) – número de dias da semeadura à floração de 50% das plantas da área útil da parcela;
- Número de dias para a maturação (NDM) – número de dias da semeadura ao ponto de colheita para o feijão-verde;
- Comprimento de vagem (COMPV) – comprimento médio, em cm, obtido por meio da medição de cinco vagens verdes tomadas ao acaso, na área útil da parcela;
- Número de grãos por vagem (NGV) – número de grãos verdes obtido por meio da contagem em cinco vagens verdes tomadas ao acaso, na área útil da parcela;
- Peso de cem grãos (P100G) – peso médio, em gramas, de 100 grãos verdes tomados ao acaso dos grãos colhidos, na área útil da parcela;
- Produtividade de vagens verdes (PVV) – produtividade de vagens verdes em gramas/área útil da parcela, extrapolada para  $\text{kg ha}^{-1}$ ;
- Produtividade de grãos verdes (PGV) – produtividade de grãos verdes em gramas/área útil da parcela, extrapolada para  $\text{kg ha}^{-1}$ ;
- Índice de grãos (IG) – obtido por meio da relação peso da vagem verde/peso do grão verde x 100.

### **3.6 Análises estatístico-genéticas**

#### **3.6.1 Análise de variância**

Foram realizadas análises de variância individuais e conjunta para todos os caracteres. As análises individuais destinaram-se à verificação da existência de variabilidade genética entre os tratamentos (genótipos), a obtenção das estimativas

dos erros experimentais visando testar a homogeneidade de variâncias (RAMALHO et al., 2012) e a precisão dos experimentos. Adotou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + E_{ij},$$

em que,

$\mu$  = média geral;

$G_i$  = efeito do  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, g$ );

$B_j$  = efeito do  $j$ -ésimo bloco ( $j = 1, 2, \dots, r$ );

$E_{ij}$  = erro experimental médio com  $E_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2_e)$ .

Antes da realização da análise conjunta, verificou-se a existência de homogeneidade de variâncias dos erros experimentais por meio da relação entre o maior e menor quadrado médio do resíduo do grupo de experimentos. Segundo Cruz (2006), quando essa relação é menor que sete, indica que as variâncias são homogêneas e, neste caso, a análise conjunta pode ser realizada sem maiores problemas. Quando essa relação for maior que sete, indica a existência de heterogeneidade entre as variâncias dos erros experimentais. Neste caso, recomenda-se que os experimentos sejam separados em subgrupos, nos quais os quadrados médios residuais sejam homogêneos, ou que se realize o agrupamento dos experimentos, mas procedendo-se a um ajuste nos graus de liberdade.

A análise conjunta teve como objetivo analisar os efeitos de genótipos, ambientes e interação genótipos x ambientes, considerando todos os experimentos. Adotou-se o seguinte modelo estatístico:

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

em que,

$Y_{ijk}$  = a observação do  $i$ -ésimo genótipo no  $k$ -ésimo bloco dentro do  $j$ -ésimo ambiente;

$\mu$  = a média geral;

$G_i$  = o efeito do  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, g$ );

$A_j$  = o efeito do  $j$ -ésimo ambiente ( $j = 1, 2, \dots, a$ );

$G/A_{ij}$  = o efeito da interação do  $i$ -ésimo genótipo com o  $j$ -ésimo ambiente;

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

$\varepsilon_{ijk}$  = o erro experimental médio com  $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

As análises de variância individuais e conjunta foram realizadas utilizando o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2010).

### 3.6.2 Análises de agrupamento de médias

As médias dos genótipos, para cada caráter, foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). As análises de agrupamento de médias foram realizadas utilizando o programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

### 3.6.3 Análises de adaptabilidade e estabilidade

As análises da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados, foram realizadas somente para a produtividade de grãos verdes. Em tais análises, considerou-se como ambiente, a combinação de ano e local. Portanto, pela combinação dos mesmos, obtiveram-se nove ambientes: Teresina – PI Irrigado 2012 (PI1), Teresina - PI Irrigado 2013 (PI2), Teresina - PI Irrigado 2017 (PI3), Pentecoste - CE Irrigado 2013 (CE1), Acaraú – CE Irrigado 2013 (CE2), Acaraú - CE Sequeiro 2015 (CE3), Mossoró – RN Irrigado / 1ª Época 2014 (RN1), Mossoró - RN Irrigado / 2ª Época 2014 (RN2) e Mossoró - RN Irrigado 2015 (RN3).

Foram utilizadas três metodologias para avaliar a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos verdes dos genótipos de feijão-caupi: Eberhart e Russel (1966), GGE Biplot (YAN et al., 2000) e REML/BLUP (RESENDE, 2007b).

#### 3.6.3.1 Metodologia de Eberhart e Russel

O método de Eberhart e Russel (1966) baseia-se na análise de regressão linear simples. A adaptabilidade e a estabilidade são expressas pela média, resposta linear à variação ambiental e o desvio da regressão para cada genótipo. O modelo adota a equação abaixo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que,

$Y_{ij}$  = a média estimada da cultivar  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\beta_{0i}$  = a média da cultivar  $i$ ;

$\beta_{1i}$  = o coeficiente de regressão linear, cuja estimativa representa a resposta da cultivar  $i$  à variação do ambiente  $j$ ;

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

$\delta_{ij}$  = o desvio de regressão

$\mathcal{E}_{ij}$  = é o erro experimental médio associado à observação  $Y_{ij}$ .

O parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_{1i}$ ) foi estimado de acordo com a seguinte expressão:

$$\beta_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}$$

em que,

$i_j$  = média do  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente;

$I_j$  = índice ambiental, estimado conforme a equação abaixo:

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

em que,

$Y_j$  = média de todos os genótipos no  $j$ -ésimo ambiente;

$Y$  = média geral;

$n$  = número de genótipos;

$p$  = número de ambientes.

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

O parâmetro de estabilidade ( $\sigma_{di}^2$ ) foi estimado de acordo com a seguinte expressão:

$$(\sigma_{di}^2) = [(QMD_i - QMR)/r]$$

em que,

$QMD_i$  = quadrado médio dos desvios de regressão do  $i$ -ésimo genótipo;

$QMR$  = quadrado médio do resíduo;

$r$  = número de repetições.

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

$$F = QMD_i / QMR$$

Como medida auxiliar de comparação entre genótipos, utilizou-se o coeficiente de determinação  $R^2$  (CRUZ, 2006), obtido de acordo com a seguinte expressão:

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

em que,

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

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

Segundo Eberhart e Russel (1966), os genótipos podem ser classificados quanto à estabilidade em genótipos de alta estabilidade ( $\sigma_{di}^2 = 0$ ) e genótipos de baixa estabilidade ( $\sigma_{di}^2 \neq 0$ ). Dentro dessa concepção, uma cultivar ideal, apresenta média alta para o caráter em estudo ( $\beta_{0i}$ ),  $\beta_{1i} = 1$  (adaptação ampla) e  $\sigma_{di}^2 = 0$  (estabilidade). Barroso et al. (2013) apresentou uma outra classificação do genótipos, após a avaliação das hipóteses de interesse, em seis classes, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3** - Classificação dos genótipos com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel (1966), segundo Barroso et al. (2013).

Classe	Classificação prática	Valores paramétricos
1	Adaptabilidade geral e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma_{di}^2 > 0$
2	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma_{di}^2 > 0$
3	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma_{di}^2 > 0$
4	Adaptabilidade geral e previsibilidade alta	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$
5	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$
6	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$

As análises de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel (1966) foram realizadas utilizando o programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

### 3.6.3.2 Metodologia GGE biplot

Utilizou-se a metodologia GGE Biplot, proposto por Yan et al. (2000), que usa o efeito principal de genótipos mais a interação genótipos x ambientes, de forma que essa análise se baseia em gráfico biplot (SILVA; BENIN, 2012). Gabriel (1971) desenvolveu o conceito de biplot, que é uma representação gráfica com ambas as entradas (cultivares) e os testadores (ambientes) de um conjunto de dados em uma tabela de dupla entrada. O modelo GGE representa o efeito principal de genótipos (G) mais a interação genótipos x ambientes (G x E) que é uma fonte de variação na avaliação de cultivares. O modelo adotado foi conforme a seguinte equação:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \phi_{ij}$$

em que,

$Y_{ij}$  = o rendimento esperado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\mu$  = a média geral das observações;

$\alpha_i$  = o efeito principal do genótipo  $i$ ;

$\beta_j$  = o efeito principal do ambiente  $j$ ;

$\phi_{ij}$  = a interação entre o genótipo  $i$  e o ambiente  $j$ .

Nessa análise, a variação fenotípica é resultante do efeito genotípico ( $\alpha_i$ ), do ambiente ( $\beta_j$ ) e da interação entre genótipo e ambiente ( $\phi_{ij}$ ) (YAN; KANG, 2003). Nessa abordagem, apenas o efeito principal de genótipos e da interação G x E são importantes, devendo ser considerados concomitantemente. Considera-se que o efeito principal de ambientes não é relevante na seleção de cultivares. Isso se deve ao fato de que, na seleção de cultivares e formação de mega-ambientes, a capacidade adaptativa dos genótipos é mais importante em relação às condições agroclimáticas. O modelo GGE Biplot não separa G da G x E, mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos como pode ser visualizado:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{i1} + g_{i2}e_{i2} + \varepsilon_{ij}$$

em que,



$Y_{ij}$  = o rendimento esperado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\mu$  = a média geral das observações;

$g_i$  = o efeito principal do genótipo  $i$ ;

$\beta_j$  = o efeito principal do ambiente  $j$ ;

$g_{i1}$  e  $e_{i1}$  = escores principais do genótipo  $i$  e ambiente  $j$ , respectivamente;

$g_{i2}$  e  $e_{i2}$  = escores secundários para o genótipo  $i$  e ambiente  $j$ , respectivamente;

$\varepsilon_{ij}$  = o resíduo não explicado por ambos os efeitos.

Dessa forma, a construção do gráfico biplot no modelo GGE se dá através da dispersão simples de  $g_{i1}$  e  $g_{i2}$  para genótipos e  $e_{i1}$  e  $e_{i2}$  para ambientes. O escore primário é obtido através da decomposição do valor singular (SVD) nas três matrizes oriundas de uma tabela que apresenta os valores de genótipos e ambientes. A SVD é importante na análise biplot, pois permite computar os componentes principais, e também fornece uma medida da variabilidade capturada por cada um dos componentes (YAN; RAJCAN, 2002; YAN; TINKER, 2006).

A análise GGE biplot foi realizada computacionalmente no ambiente R (R Development Core Team, 2014) a partir de um *script* (Anexo 1) que utiliza os pacotes do R *agricolae* (MENDIBURU, 2014) e *GGEBiplotGUI* (FRUTOS; GALINDO; LEIVA, 2014).

Durante a realização da análise no ambiente R, visando a geração dos gráficos biplot via pacote GGEBiplotGUI, selecionou-se o modelo: sem escalamento (*no scaling*); com G+GE centrado pelo testador (*tester-centered G+GE*), que corresponde ao modelo GGE; o método de particionamento por valor singular (SPV) do tipo preservação métrica por coluna (*column metric preserving*); e o tipo de biplot PC1 vs PC2, que mostra o primeiro contra o segundo componente principal (CP).

Yan e Tinker (2006) propuseram uma Relação de Informação (RI) para avaliar a adequação de um biplot em exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada, com “g” genótipos e “e” ambientes. A RI pode ser calculada para cada CP, que é a proporção da variação total explicada por cada CP multiplicado por  $k$  (número de CPs totais). A interpretação é a seguinte: um CP com  $RI > 1$  contém padrões (associações entre ambientes), e um CP com  $RI < 1$  não contém qualquer padrão. O

biplot de dimensão 2 (CP1 vs CP2) representa adequadamente os padrões nos dados, se pelo menos um dos dois primeiros CPs tiver um RI > 1.

### 3.6.3.3 Metodologia REML/BLUP

A metodologia de Máxima Verossimilhança Restrita Residual - REML e Melhor Predição Não Viciada – BLUP, baseada na abordagem de modelos mistos, estima os seguintes valores: média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), que avalia simultaneamente a produtividade e a estabilidade; performance relativa dos valores genotípicos (PRVG), que avalia a adaptabilidade e a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), que avalia simultaneamente a produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade (RESENDE, 2007b).

Para o delineamento de blocos ao acaso com uma observação por parcela e em vários ambientes, adotou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y = X_r + Z_g + W_i + e$$

em que,

$Y$  = o vetor de dados,

$r$  = o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, e contempla todas as repetições de todos os locais,

$g$  = o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios),

$i$  = o vetor dos efeitos da interação populações x locais (aleatórios), sendo  $e$  o vetor de erros (aleatórios).  $X$ ,  $Z$  e  $W$ , representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Os preditores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), performance relativa dos valores genotípicos (PRVG) e média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), foram obtidos conforme as expressões abaixo:

$$\text{MHVG}_i = \frac{a}{\sum_{j=1}^a \frac{1}{Vg_j}} \quad \text{PRVG}_i = \frac{1}{a} \left( \frac{\sum Vg_j}{M_j} \right) \quad \text{MHPRVG}_i = \frac{a}{\sum_{j=1}^a \frac{1}{Vg_{ij}}}$$

em que,

$a$  = número de ambientes de avaliação do genótipo  $i$ ;

$Vg_{ij}$  = o valor genotípico no  $i$ -ésimo genótipo do  $j$ -ésimo ambiente;

$Vg_j$  = a média genotípica no  $j$ -ésimo ambiente;

A análise REML/BLUP foi realizada utilizando o modelo estatístico 54 do software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007a).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises de variância individuais

As análises de variância individuais, por ambiente, são apresentadas na Tabela 4. O efeito de blocos não foi apresentado devido a sua pouca importância em termos de resultados.

Observaram-se diferenças significativas ( $0,01 \leq P \leq 0,05$ ) para todos os caracteres para o efeito de tratamentos, em todos os ambientes, exceto para os caracteres COMPV e PVV no ambiente PI1, NDM no ambiente PI3 e NDIF no ambiente RN2 (Tabela 4). Isso indica a presença de variabilidade genética entre tratamentos para a maioria dos caracteres avaliados em todos os ambientes de teste.

Diferenças significativas ( $0,01 \leq P \leq 0,05$ ) também foram observadas para o efeito de genótipos em todos os ambientes, exceto para os caracteres COMPV nos ambientes CE1 e PI1; NDIF nos ambientes CE3, PI1, PI2, RN1 e RN2; NDM nos ambientes PI2, PI3 e RN2; e PVV e PGV no ambiente PI1 (Tabela 4). Isso evidencia a existência de variabilidade entre genótipos e a possibilidade de seleção para a maioria dos caracteres dentro dos ambientes de teste. Andrade (2010) e Almeida (2013), avaliando genótipos de feijão-caupi para feijão-verde, respectivamente no Piauí e Ceará, também encontraram variabilidade genética entre os genótipos avaliados.

Com relação ao efeito de testemunhas, estas, mesmo em menor quantidade, apresentaram diferenças significativas entre si ( $0,01 \leq P \leq 0,05$ ) para a maioria dos caracteres nos ambientes CE1, CE2, CE3 e RN3 (Tabela 4). Nos demais ambientes, foram similares para a maioria dos caracteres, principalmente em PI1, PI2, PI3, RN1 e RN2. A existência de diferenças entre as testemunhas para alguns caracteres em alguns ambientes, demonstra que elas contribuíram de certa forma para as diferenças observadas para o efeito de tratamentos.

Observou-se contraste G vs T significativo ( $0,01 \leq P \leq 0,05$ ) para a maioria dos caracteres nos ambientes CE1, CE3, RN1, RN2 e RN3 (Tabela 4). Nestes ambientes, os genótipos diferiram das testemunhas para a maioria dos caracteres avaliados em termos de seus comportamentos, principalmente para a PGV.

Contrariamente, nos demais ambientes (CE2, PI1, PI2 e PI3), os genótipos foram similares às testemunhas para a maioria dos caracteres, principalmente para o PCG.

**Tabela 4** - Resumo das análises de variâncias individuais, por ambiente, para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCG), índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Pentecoste-CE Irrigado 2013 (CE1)									
Fonte de variação	G.L.	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	-	-	3,18**	8,00**	91,82**	447,49**	3322053,49**	1243343,19**
Genótipos	12	-	-	1,70 <sup>ns</sup>	5,59**	78,80**	359,17**	3794205,06**	1524678,23**
Testemunhas (Test.)	2	-	-	3,80*	0,65 <sup>ns</sup>	203,45**	1032,48**	2106854,08*	59601,58 <sup>ns</sup>
G vs Test.	1	-	-	19,69**	51,61**	24,88 <sup>ns</sup>	337,26**	86633,42 <sup>ns</sup>	234805,96 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	-	-	0,98	0,92	8,65	8,61	597057,82	205957,44
Média geral		-	-	23,10	15,16	36,88	61,30	2878,92	1591,92
CV(%)		-	-	4,28	6,34	7,97	4,79	26,84	28,51
Acarau-CE Irrigado 2013 (CE2)									
Fonte de variação	G.L.	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	-	-	5,25**	4,48**	102,65**	78,90**	558403,47**	295808,53**
Genótipos	12	-	-	5,22**	4,95**	51,23**	74,49**	615587,60**	315258,38**
Testemunhas (Test.)	2	-	-	4,37*	0,13 <sup>ns</sup>	436,01**	142,66**	492975,58 <sup>ns</sup>	321378,25 <sup>ns</sup>
G vs Test.	1	-	-	7,41*	7,63*	52,94 <sup>ns</sup>	4,30 <sup>ns</sup>	3049,71 <sup>ns</sup>	11271,00 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	-	-	1,13	1,62	17,41	8,62	155326,22	102249,64
Média geral		-	-	21,40	15,08	34,80	65,76	2183,80	1342,88
CV(%)		-	-	4,97	8,45	11,99	4,46	18,05	23,81
Acarau-CE Sequeiro 2015 (CE3)									
Fonte de variação	G.L.	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	1,37*	-	6,40**	9,78**	70,12**	243,08**	877805,76**	246049,92**
Genótipos	12	1,19 <sup>ns</sup>	-	5,75**	10,15**	51,04**	197,01**	653512,78**	254143,43**
Testemunhas (Test.)	2	3,00*	-	3,37 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	165,84**	601,72**	2478772,75**	314021,33**
G vs Test.	1	0,23 <sup>ns</sup>	-	20,34**	23,81**	107,63**	78,66*	367387,63 <sup>ns</sup>	12984,88 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	0,65	-	2,07	2,91	12,58	12,03	125047,53	47030,33
Média geral		46,38	-	20,90	13,60	23,17	69,93	1457,03	992,27
CV(%)		1,73	-	6,88	12,55	15,31	4,96	24,27	21,86
Teresina-PI Irrigado 2012 (PI1)									
Fonte de variação	G.L.	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	7,39*	-	2,67 <sup>ns</sup>	4,10**	107,34**	112,99**	1453369,05 <sup>ns</sup>	710494,77*
Genótipos	12	4,17 <sup>ns</sup>	-	2,25 <sup>ns</sup>	3,85**	107,64**	114,45**	1124061,74 <sup>ns</sup>	569422,38 <sup>ns</sup>
Testemunhas (Test.)	2	27,08**	-	4,44 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	158,38**	44,49 <sup>ns</sup>	1768022,33 <sup>ns</sup>	188572,33 <sup>ns</sup>
G vs Test.	1	6,77 <sup>ns</sup>	-	4,22 <sup>ns</sup>	14,80**	1,66 <sup>ns</sup>	232,45**	4775750,16 <sup>ns</sup>	3447208,37**
Resíduo	45	3,78	-	1,45	1,34	16,01	30,97	988365,54	358535,61
Média geral		43,41	-	22,14	15,02	35,45	63,49	3765,56	2389,95
CV(%)		4,48	-	5,44	7,70	11,29	8,77	26,40	25,05
Teresina-PI Irrigado 2013 (PI2)									
Fonte de variação	G.L.	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	3,52**	-	3,77**	8,79*	44,34*	111,96**	4212909,39**	1513202,60**
Genótipos	12	1,99 <sup>ns</sup>	-	4,63**	10,23*	44,72*	121,90**	2839450,73**	1223095,47**
Testemunhas (Test.)	2	12,58**	-	0,04 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	45,49 <sup>ns</sup>	84,15 <sup>ns</sup>	3927839,08*	1255494,33*
G vs Test.	1	3,77 <sup>ns</sup>	-	0,89 <sup>ns</sup>	8,06 <sup>ns</sup>	37,55 <sup>ns</sup>	48,24 <sup>ns</sup>	21264553,96**	5509904,64**
Resíduo	45	1,08	-	1,43	4,04	21,47	37,33	824283,50	279892,50
Média geral		35,58	-	22,38	15,13	35,76	55,58	3911,58	2125,63
CV(%)		2,93	-	5,34	13,29	12,96	10,99	23,21	24,89

\*, \*\*Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo.

**Tabela 4 - Continuação.**

<b>Teresina-PI Irrigado 2017 (PI3)</b>									
Fonte de variação	G.L	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	7,63**	1,23 <sup>ns</sup>	4,00**	10,28**	67,22**	65,98**	2619869,10**	416587,53*
Genótipos	12	4,05**	0,99 <sup>ns</sup>	4,46**	11,11**	43,77**	51,53**	1892529,57*	427908,88*
Testemunhas (Test.)	2	32,33**	2,25 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	240,03**	130,40**	8229706,33**	537073,08 <sup>ns</sup>
G vs Test.	1	1,26 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	5,34**	16,79**	2,91 <sup>ns</sup>	110,55**	128269,01 <sup>ns</sup>	39760,19 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	42,25	0,71	0,63	0,85	3,40	3,01	801404,83	176121,65
Média geral		36,63	55,38	19,92	11,89	36,58	55,09	4282,14	2237,22
CV(%)		2,64	1,52	4,00	7,77	5,04	3,15	20,91	18,76
<b>Mossoró-RN Irrigado 2014 1ª Época 2014 (RN1)</b>									
Fonte de variação	G.L	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	20,60*	31,07**	4,78**	6,16**	50,11**	234,26**	1544663,77**	445238,43**
Genótipos	12	19,67 <sup>ns</sup>	27,44*	5,88**	5,63**	32,92**	194,10**	1242811,21**	331059,81**
Testemunhas (Test.)	2	13,58 <sup>ns</sup>	20,08 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	11,53**	85,10**	310,01**	206595,08 <sup>ns</sup>	192404,33*
G vs Test.	1	45,77*	96,59**	0,07 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	186,46**	564,68**	7843031,74**	2321050,08**
Resíduo	45	10,40	12,22	1,54	1,90	9,31	28,45	81356,91	41318,43
Média geral		47,16	54,10	19,15	12,87	36,05	40,45	1315,39	766,09
CV(%)		6,84	6,46	6,48	10,71	8,46	13,19	21,68	26,53
<b>Mossoró-RN Irrigado 2014 2ª Época 2014 (RN2)</b>									
Fonte de variação	G.L	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	16,61 <sup>ns</sup>	29,81*	5,16**	6,38**	54,87**	195,91**	1821172,55**	418361,47**
Genótipos	12	18,67 <sup>ns</sup>	25,64 <sup>ns</sup>	6,34**	5,97**	33,83**	92,05**	1447950,10**	321673,55**
Testemunhas (Test.)	2	3,08 <sup>ns</sup>	15,75 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	11,49**	97,01**	385,62**	214614,25 <sup>ns</sup>	119945,08*
G vs Test.	1	18,87 <sup>ns</sup>	107,92**	0,07 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	223,20**	1062,90**	9512958,52**	2175449,26**
Resíduo	45	10,45	13,24	1,34	1,60	11,10	9,43	143764,59	29286,41
Média geral		47,20	54,30	19,21	12,82	36,11	55,25	1351,81	706,38
CV(%)		6,85	6,70	6,02	9,86	9,22	5,56	28,05	24,23
<b>Mossoró-RN Irrigado 2015 (RN3)</b>									
Fonte de variação	G.L	NDIF	NDM	COMPV	NGV	PCG	IG	PVV	PGV
Tratamentos	15	16,96**	-	11,24**	5,40**	56,34**	320,09**	4092852,43**	1832057,77**
Genótipos	12	4,81**	-	12,96**	2,71**	65,71**	90,77**	2406717,44**	932276,88**
Testemunhas (Test.)	2	65,33**	-	5,78*	23,82**	9,16 <sup>ns</sup>	1328,15**	10876806,33**	4881468,58**
G vs Test.	1	66,04**	-	1,58 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	38,28 <sup>ns</sup>	1055,86**	10758564,46**	6530606,94**
Resíduo	45	0,95	-	1,31	1,03	22,83	15,58	619345,55	237966,34
Média geral		42,22	-	19,71	14,45	31,70	60,25	3659,16	2239,05
CV(%)		2,31	-	5,82	7,02	15,07	6,55	21,51	21,79

\*,\*\*Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo.

As estimativas para o coeficiente de variação experimental variaram de acordo com o caráter e com o ambiente de teste. O NDIF variou de 1,73 (CE3) a 6,85 (RN2), o NDM de 1,52 (PI3) a 6,70(RN2), o COMPV de 4,00 (PI3) a 6,88 (CE3), o NGV de 6,34 (CE1) a 13,29 (PI2), o PCG de 5,04 (PI3) a 15,31 (CE3), o IG de 3,15 (PI3) a 13,09 (RN1), o PVV de 18,05 (CE2) a 28,05 (RN2), e o PGV de 18,76 (PI3) a 28, 51 (CE1) (Tabela 4).

Observou-se que os caracteres relacionados com o ciclo da cultura (floração e maturação) e os componentes de produção (COMPV, NGV, PCG e IG) foram os menos afetados pelos fatores microambientais e, portanto, com maior precisão experimental (Tabela 4). Já os caracteres PVV e PGV foram os mais afetados por esses fatores e, conseqüentemente, apresentaram menor precisão experimental.

As estimativas de CV% estão de acordo com as observadas por Sousa et al. (2015), avaliando genótipos de feijão-caupi para feijão-verde em Teresina, Piauí. No entanto, foram menores do que as observadas para PGV por Freitas et al. (2016), avaliando um grupo de cultivares locais em Mossoró, Rio Grande do Norte, e maiores do que as encontradas por Ramos et al. (2015), avaliando um grupo de genótipos de feijão-caupi para a produção de grãos verdes em Gurupi, Tocantins.

Observou-se que o quociente entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo para os caracteres NDIF, NDM, IG, PVV e PGV foi maior do que 7. Neste caso, segundo CRUZ (2006), rejeita-se a hipótese de que existe homogeneidade entre as variâncias residuais e aceita-se a hipótese alternativa de que existe heterogeneidade entre tais variâncias. Neste caso, optou-se por realizar a análise conjunta, seguindo uma sugestão apresentada por Cochran (1964) e Pimentel Gomes (1990), bastante utilizada pelos pesquisadores, que foi realizar o agrupamento dos experimentos, mas procedendo-se a um ajuste nos graus de liberdade, realizado via programa GENES (CRUZ, 2006), quando da realização da análise conjunta.

#### **4.2 Análises de variância conjunta**

O resumo da análise de variância conjunta para os caracteres NDIF e NDM é apresentado na Tabela 5. Houve diferenças significativas para o efeito de tratamentos em ambos os caracteres e para o efeito de genótipos apenas para o NDM. Isso indica a existência de variabilidade entre os genótipos e a possibilidade de ganho com a seleção.

Para o efeito de ambientes e a interação testemunhas x ambientes, apenas o caráter NDIF apresentou diferenças significativas, indicando que a floração apresentou comportamento diferencial com os ambientes.

A ausência de interação G x E para o NDM indica que os genótipos apresentaram comportamento previsível frente aos ambientes no que se refere à maturação.

**Tabela 5** - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF) avaliados em sete ambientes e número de dias para a maturação (NDM) avaliados em três ambientes de 16 genótipos de feijão-caupi nos estados do Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2014 a 2017.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		NDIF (dia)	NDM (dia)
Blocos/ (E)	21	47,61**	105,69**
Tratamentos (Trat.)	15	32,70**	43,17**
Genótipos (G)	12	19,15 <sup>ns</sup>	35,73*
Testemunhas (Test.)	2	84,30 <sup>ns</sup>	31,19 <sup>ns</sup>
G vs Test.	1	92,02 <sup>ns</sup>	156,35 <sup>ns</sup>
Ambientes (E)	6	1514,48**	29,86 <sup>ns</sup>
Trat. x E	48	12,99*	11,48 <sup>ns</sup>
G x E	38	11,11 <sup>ns</sup>	11,11 <sup>ns</sup>
Test. x E	6	22,82*	4,17 <sup>ns</sup>
(G vs Test.) x E	3	15,91 <sup>ns</sup>	30,44 <sup>ns</sup>
Resíduo	153	8,31	12,40
Média geral		42,65	54,59
CV (%)		6,76	6,45

\*, \*\*Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo.

O resumo da análise de variância conjunta considerando todos os ambientes para os caracteres COMPV, NGV e PCG, é apresentado na Tabela 6. A decomposição das estimativas dos quadrados médios de tratamentos, em genótipos, testemunhas e no contraste G vs Test., mostrou diferenças significativas para todos os caracteres, com exceção de COMPV e NGV para testemunhas, e PCG para o contraste G vs Test.

Para os caracteres COMPV e NGV, observam-se diferenças significativas para genótipos, mas não entre testemunhas, demonstrando que o efeito de genótipos foi o principal responsável pela variabilidade para ambos os caracteres. Para COMPV, NGV e PCG, observou-se a existência de variabilidade entre os genótipos e a possibilidade de ganho com seleção. Além disso, há diferenças significativas entre os ambientes e na interação tratamentos x ambientes, havendo



assim, contraste entre os ambientes de teste e comportamento diferencial dos tratamentos diante dos ambientes.

**Tabela 6** - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV) e peso de cem grãos (PCG) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Fonte de variação	Quadrado médio					
	GL	COMPV (cm)	GL	NGV (unid.)	GL	PCG (g)
Blocos/ (E)	27	2,59**	27	3,05**	27	46,44**
Tratamentos (Trat.)	15	16,53**	15	33,07**	15	344,20**
Genótipos (G)	12	17,82**	12	34,19**	12	316,33**
Testemunhas (Test.)	2	1,18 <sup>ns</sup>	2	14,99 <sup>ns</sup>	2	670,03**
G vs Test.	1	31,70*	1	55,77*	1	26,95 <sup>ns</sup>
Ambientes (E)	8	136,62**	8	98,48**	8	1216,82**
Trat. x E	120	3,74**	120	3,79**	120	37,58**
G x E	96	3,92**	96	3,25**	96	24,17**
Test. x E	16	2,80**	16	4,51**	16	96,30**
(G vs Test.) x E	8	3,49**	8	8,81**	8	81,07**
Resíduo	405	1,32	405	1,80	405	13,64
Média geral		20,88		14,00		34,06
CV (%)		5,50		9,58		10,84

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

O resumo da análise de variância conjunta para os caracteres IG, PVV e PGV, para todos os ambientes, pode ser visualizado na Tabela 7. A decomposição das estimativas dos quadrados médios de tratamentos, em genótipos, testemunhas e no contraste G vs Test., mostrou diferenças significativas para todos os caracteres, com exceção de PVV para testemunhas e o contraste G vs Test., e PGV apenas para testemunhas. Houve diferenças significativas para ambientes, assim como para interação tratamentos x ambientes. Isto indica a existência de contraste entre os ambientes testados e comportamento diferencial dos tratamentos frente às variações ambientais.

**Tabela 7** - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Fonte de variação	Quadrado médio					
	GL	IG	GL	PVV	GL	PGV
		(%)		(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )
Blocos/ (E)	27	305,89**	27	1021594,91**	27	459739,75**
Tratamentos (Trat.)	15	771,95**	15	5605351,94*	15	2081302,29**
Genótipos (G)	12	413,29**	12	4506038,65*	12	1580407,56*
Testemunhas (Test.)	2	2267,48**	2	2106779,19 <sup>ns</sup>	2	78951,51 <sup>ns</sup>
G vs Test.	1	2084,89*	1	25794256,88 <sup>ns</sup>	1	12096740,52*
Ambientes (E)	8	4605,06**	8	92610538,98**	8	29153702,60**
Trat. x E	87	179,83**	84	2655302,97**	86	878192,26**
G x E	69	152,73**	67	2051627,56**	69	752604,65**
Test. x E	12	310,28**	11	5025414,02**	11	1357582,74**
(G vs Test.) x E	6	244,11**	6	5159185,80**	6	1426462,59**
Resíduo	281	24,67	272	717345,08	279	238444,89
Média geral		58,57		2756,15		1599,00
CV (%)		8,48		30,72		30,54

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

### 4.3 Agrupamento de médias

As estimativas de médias dos genótipos para os caracteres NDIF, NDM, COMPV e NGV são apresentadas na Tabela 8. Observa-se que, para esses caracteres, houve agrupamento de médias apenas para o NGV, onde os genótipos diferiram entre si. A média dos genótipos para os caracteres restantes foram similares à média das cultivares.

Foram formados dois grupos para o NGV. O grupo 1 compreendeu os genótipos com médias de números de grãos por vagem entre 12,08 a 13,45 (G1, G5, G10 e G11) e o grupo 2 com médias de número de grãos por vagem entre 13,64 a 15,37 (maioria dos genótipos). Este apresentou médias variando de 12,08 (G11 – BRS Tumucumaque) a 15,37 (G14 – Vagem Roxa - THE), média geral de 14 grãos por vagem, média esta, superior à das cultivares nacionais que é de 13 grãos, segundo Freire Filho (2011).

**Tabela 8** - Média dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), comprimento de vagem (COMPV) e número de grãos por vagem (NGV), obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Código	Genótipo	NDIF (dia)	NDM (dia)	COMPV (cm)	NGV (unid.)
G1	MNC00-586F-303-9	42,54 a	53,58 a	20,33 a	13,45 b
G2	MNC00-595F-2	43,00 a	55,33 a	21,07 a	14,80 a
G3	MNC00-595F-27	42,39 a	53,66 a	21,16 a	14,77 a
G4	MNC05-835-B-15	41,57 a	51,83 a	21,08 a	13,64 a
G5	MNC05-835B-16	42,64 a	55,16 a	20,56 a	12,89 b
G6	MNC05-841B-49	43,54 a	56,50 a	19,87 a	13,89 a
G7	MNC05-847B-123	42,17 a	53,16 a	20,32 a	13,86 a
G8	MNC05-847B-126	42,00 a	53,92 a	19,92 a	14,06 a
G9	MNC99-541F-15	43,25 a	56,08 a	20,60 a	14,25 a
G10	BRS Guariba	42,32 a	54,75 a	19,96 a	12,34 b
G11	BRS Tumucumaque	40,43 a	50,83 a	21,89 a	12,08 b
G12	BRS Xiquexique	42,39 a	53,00 a	21,17 a	15,29 a
G13	Paulistinha	43,39 a	56,25 a	22,00 a	14,76 a
G14	Vagem Roxa - THE <sup>(1)</sup>	42,03 a	55,58 a	21,19 a	15,37 a
G15	Azulão - MS <sup>(1)</sup>	45,46 a	58,33 a	21,55 a	14,14 a
G16	Sempre Verde - CE <sup>(1)</sup>	43,28 a	55,50 a	21,35 a	14,44 a
Média dos genótipos		42,43 a	54,16 a	20,17 a	13,85 a
Média das testemunhas		43,59 a	56,47 a	21,37 a	14,65 a
Média geral		42,65 a	54,59 a	20,88 a	14,00 a

<sup>(1)</sup>Testemunha. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Os genótipos com maior número de vagens por planta tendem a ter vagens menores e, portanto, com menor número de grãos por vagem. Esse ideotipo é mais demandado pelos agricultores empresariais, que preferem cultivares de porte ereto e vagens menores, o que facilita a colheita mecanizada. Já os agricultores familiares, que geralmente adotam a colheita manual, preferem cultivares com vagens maiores e, portanto, com maior número de grãos por vagem.

As estimativas de médias dos genótipos para os caracteres PCG, IG, PVV e PGV são apresentadas na Tabela 9. Observa-se que, para esses caracteres, houve agrupamento de médias, exceto para PVV e PGV, onde os genótipos não diferiram entre si.

**Tabela 9** - Médias dos caracteres peso de cem grãos (PCG), índice de grãos (IG), produtividade de vagens verdes (PVV) e produtividade de grãos verdes (PGV), obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Código	Genótipo	PCG (g)	IG (%)	PVV (kg ha <sup>-1</sup> )	PGV (kg ha <sup>-1</sup> )
G1	MNC00-586F-303-9	36,32 a	51,33 b	2.780,97 a	1.426,75 a
G2	MNC00-595F-2	32,00 b	58,84 a	2.922,42 a	1.573,94 a
G3	MNC00-595F-27	31,24 b	60,46 a	3.455,08 a	2.006,97 a
G4	MNC05-835-B-15	32,78 b	57,90 a	3.049,61 a	1.665,42 a
G5	MNC05-835B-16	32,87 b	55,95 b	2.821,47 a	1.622,69 a
G6	MNC05-841B-49	31,17 b	58,39 a	2.635,11 a	1.587,47 a
G7	MNC05-847B-123	33,77 b	60,36 a	3.135,05 a	1.839,94 a
G8	MNC05-847B-126	31,50 b	59,50 a	3.042,72 a	1.791,28 a
G9	MNC99-541F-15	36,00 a	63,62 a	2.493,78 a	1.569,05 a
G10	BRS Guariba	35,47 a	60,59 a	2.789,22 a	1.705,47 a
G11	BRS Tumucumaque	40,63 a	62,99 a	3.250,08 a	2.018,61 a
G12	BRS Xiquexique	32,09 b	64,19 a	2.067,67 a	1.275,58 a
G13	Paulistinha	38,24 a	59,13 a	2.686,97 a	1.609,36 a
G14	Vagem Roxa - THE <sup>(1)</sup>	28,62 b	60,02 a	2.125,25 a	1.301,69 a
G15	Azulão - MS <sup>(1)</sup>	35,95 a	45,85 b	2.578,19 a	1.248,53 a
G16	Sempre Verde - CE <sup>(1)</sup>	36,24 a	57,68 a	2.242,94 a	1.341,89 a
Média dos genótipos		34,16	59,48	2.857,81	1.668,66
Média das testemunhas		33,61	54,61	2.315,64	1.297,37
Média Geral		34,05	58,55	2.754,78	1.599,04

<sup>(1)</sup>Testemunha. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para o PCG, o teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ) separou os genótipos em dois grupos, sendo o grupo 1 com os genótipos de maior tamanho de grão, entre 35 a 40 gramas/100 grãos (G1 – MNC00-586-303-9, G9 – MNC99-541F-15, G10 – BRS Guariba, G11 – BRS Tumucumaque, G13 – Paulistinha, G15 – Azulão - MS e G16 – Sempre Verde - CE) e o grupo 2, com os genótipos de menor tamanho do grão, entre 28 a 33 gramas/100 grãos (G2 – MNC00-595F-2, G3 – MNC00-595F-27, G4 – MNC05-835-B-15, G5 – MNC05-835B-16, G6 – MNC05-841B-49, G7 – MNC05-847B-123, G8 – MNC05-847B-126, G12 – BRS Xiquexique e G14 – Vagem Roxa - THE) (Tabela 9).

A média dos genótipos foi similar à média das testemunhas para o PCG, o que indica que os genótipos apresentam qualidade de grão com potencial de

mercado. A média geral desse caráter foi de 34,05 g sendo acima do peso exigido pelo mercado de feijão verde, que é de 30 g (SOUSA, 2013). Os genótipos do grupo 1 são os mais indicados, visto que essa faixa de tamanho é mais preferida pelo consumidor e, portanto, mais valorizada no mercado de feijão-verde.

O caráter IG obteve médias variando de 45,85% (G15 – Azulão - MS) a 64,19% (G12 - BRS Xiquexique) (Tabela 9). Foram estabelecidos dois grupos pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). O grupo 1 contemplou as maiores médias (G2 – MNC00-595F-2, G3 – MNC00-595F-27, G4 – MNC05-835-B-15, G6 – MNC05-841B-49, G7 – MNC05-847B-123, G8 – MNC05-847B-126, G9 – MNC99-541F-15, G10 – BRS Guariba, G11 – BRS Tumucumaque, G12 – BRS Xiquexique, G13 – Paulistinha, G14 – Vagem Roxa – THE e G16 – Sempre Verde - CE) e o grupo 2 englobou os genótipos com as menores médias (G1 – MNC00-586-303-9, G5 – MNC05-835B-16 e G15 – Azulão - MS).

A média dos genótipos foi ligeiramente acima da média das testemunhas para o IG, indicando que os genótipos trazem um acréscimo na relação grão/casca. A média geral do caráter foi de 58,55%, média esta, superior às médias encontradas por Silva et al. (2013) e Ramos et al. (2015), que obtiveram médias de 50,35% e 36,42%, respectivamente, em estudos de avaliação de genótipos de feijão-caupi para a produção de grãos verdes, ambos sob condições de irrigação.

Os tratamentos (genótipos e testemunhas) não apresentaram diferenças significativas para as produtividades de vagens e grãos verdes, provavelmente pelo fato de terem passado por vários ciclos de seleção, todos apresentando altos níveis de produtividade. A média de produtividade de grãos verdes foi de aproximadamente 1.600 kg ha<sup>-1</sup>. Essa média foi abaixo da encontrada por Sousa et al. (2015), avaliando 16 genótipos de feijão-caupi em Teresina-PI, que obtiveram produtividades de 1.957 kg ha<sup>-1</sup> (cultivo sequeiro) e 2.390 kg ha<sup>-1</sup> (cultivo irrigado) e Freitas et al. (2016), avaliando 12 genótipos de feijão-caupi para feijão-verde, que encontraram uma média de 2.827 kg ha<sup>-1</sup> em cultivo irrigado e nas condições edafoclimáticas de Mossoró-RN. Por outro lado, a produtividade média de grãos verdes observada no presente trabalho foi maior do que a verificada por Silva et al. (2013), avaliando oito cultivares de feijão-caupi para feijão-verde, que obtiveram

uma produtividade média de grãos verdes de 1.353 kg ha<sup>-1</sup> em cultivo de sequeiro nas condições edafoclimáticas de Serra Talhada-PE.

#### 4.4. Análise de adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos verdes

##### 4.4.1 Metodologia de Eberhart e Russel (1966)

O resumo da análise de variância conjunta resultante da avaliação da adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos verdes de feijão-caupi pelo método de Eberhart e Russel (1966) é apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10** - Resumo da análise de variância conjunta referente à produtividade de grãos verdes obtida a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados de Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	P	% de variação <sup>(1)</sup>
Genótipos (G)	15	2081302,28	0,00	9,18
Ambientes (E)	8	29153702,60	0,00	68,59
G x E	120	629980,24	0,00	22,23
E/G	128	2412712,89	0,00	-
Ambiente Linear	1	233229620,81	0,00	75,00
G x E Linear	15	972395,42	0,00	04,72
Desvio combinado	112	544747,30	0,00	20,28
Resíduo	279	238444,89	-	-

<sup>(1)</sup>Estimada com base na soma de quadrados das fontes de variação.

Diferenças significativas foram observadas para os efeitos de genótipos (G), ambientes (E) e interação G x E para a produtividade de grãos verdes. Esses resultados mostram a existência de variabilidade selecionável entre os genótipos avaliados e diferença entre os ambientes estudados. A significância da interação G x E indicou que os genótipos apresentaram comportamento diferenciado frente às variações ambientais. Diante disso, vê-se a importância de um estudo mais aprofundado sobre o comportamento individual dos genótipos, no sentido de identificar as suas magnitudes de interação com os ambientes.

Aquino, Santos e Silva (2016) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de 30 genótipos de feijão-caupi para a produtividade de grãos verdes na região Meio-Norte do Brasil e também encontraram diferenças significativas entre os genótipos, ambientes e interação G x E.

Com base nas somas de quadrados total ( $SQ_G + SQ_E + SQ_{G \times E}$ ), os efeitos de ambientes explicaram a maior parte da variação total, 68,59%, seguido dos efeitos de interação G x E, com 22,23% e de genótipos, com 9,18% (Tabela 10).

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) também foram significativos.

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 genotípicas 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 e como estes foram também 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 (75%), explicou a maior parte da variação em relação à fonte E/G, outra parte importante da variação ficou com o desvio combinado (20,28%) e a menor parte da variação foi explicada pela G x E linear (4,72 %) (Tabela 10). 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. Resultado semelhante foi encontrado por Mano (2009), avaliando 15 genótipos de feijão-caupi para a produtividade de grãos secos em ambientes no Ceará.

As estimativas de médias dos genótipos ( $\beta_0$ ), os coeficientes de regressão ( $\beta_{1i}$ ), as variâncias dos desvios de regressão ( $\sigma_{di}^2$ ) e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) resultantes da análise de adaptabilidade e estabilidade segundo o método de Eberhart e Russel (1966) para a produtividade de grãos verdes são mostradas na Tabela 11.

**Tabela 11** - Estimativas de média ( $\beta_0$ ), coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ), variância dos desvios de regressão ( $\sigma_{di}^2$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), segundo o método de Eberhart e Russell (1966), para 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Genótipo	$\beta_0$	$\beta_{1i}$	$\sigma_{di}^2$	$R^2$
G1 - MNC00-586F-303-9	1.427	0,94 <sup>ns</sup>	29423,40 <sup>ns</sup>	83,76
G2 - MNC00-595F-2	1.574	1,03 <sup>ns</sup>	-23581,18 <sup>ns</sup>	93,85
G3 - MNC00-595F-27	2.007	1,24*	50956,09 <sup>ns</sup>	87,84
G4 - MNC05-835-B-15	1.665	0,52**	25993,25 <sup>ns</sup>	61,94
G5 - MNC05-835B-16	1.623	0,84 <sup>ns</sup>	-19025,96 <sup>ns</sup>	90,00
G6 - MNC05-841B-49	1.587	1,21 <sup>ns</sup>	20959,61 <sup>ns</sup>	90,45
G7 - MNC05-847B-123	1.840	1,07 <sup>ns</sup>	-12414,76 <sup>ns</sup>	92,63
G8 - MNC05-847B-126	1.791	1,14 <sup>ns</sup>	-39479,41 <sup>ns</sup>	97,11
G9 - MNC99-541F-15	1.569	1,20 <sup>ns</sup>	27202,46 <sup>ns</sup>	89,66
G10 - BRS Guariba	1.705	0,96 <sup>ns</sup>	-31854,96 <sup>ns</sup>	94,59
G11 - BRS Tumucumaque	2.019	1,59**	415489,45**	73,56
G12 - BRS Xiquexique	1.276	0,66**	104031,44**	57,95
G13 - Paulistinha	1.609	1,01 <sup>ns</sup>	114681,31**	75,43
G14 - Vagem Roxa-THE <sup>(1)</sup>	1.302	0,84 <sup>ns</sup>	-27600,15 <sup>ns</sup>	91,99
G15 - Azulão - MS <sup>(1)</sup>	1.249	0,73*	416123,98**	36,62
G16 - Sempre Verde - CE <sup>(1)</sup>	1.342	1,02 <sup>ns</sup>	174305,04**	69,90
Média geral	1.599			

<sup>(1)</sup>Testemunha. \*\*; \* significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo.

A produtividade média de grãos verdes variou de 1.249 kg ha<sup>-1</sup> (G15 - Azulão - MS) a 2.019 kg ha<sup>-1</sup> (G11 - BRS Tumucumaque), com média geral de aproximadamente 1.600 kg ha<sup>-1</sup>, evidenciando um bom desempenho produtivo dos genótipos nos ambientes em estudo (Tabela 11).

Observa-se que as testemunhas, cultivares atualmente comercializadas no mercado, apresentaram uma produtividade média de grãos verdes inferior à média geral, o que reforça a importância da seleção de genótipos que apresentem uma maior produtividade para o mercado de grãos verdes.

De acordo com a classificação de Barroso et al. (2013), que considera apenas os parâmetros coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ) e desvios de regressão ( $\sigma_{di}^2$ ), a maioria dos genótipos (nove) ficou dentro da classe 4 - adaptabilidade geral e previsibilidade alta (G1 – MNC00-586-303-9, G2 – MNC00-595F-2, G5 – MNC05-835B-16, G6 –



MNC05-841B-49, G7 – MNC05-847B-123, G8 – MNC05-847B-126, G9 – MNC99-541F-15, G10 – BRS Guariba e G14 – Vagem Roxa – THE), dois genótipos na classe 1 - adaptabilidade geral e previsibilidade baixa (G13 – Paulistinha e G16 – Sempre Verde – CE), dois genótipos na classe 3 - adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e previsibilidade baixa (G12 – BRS Xiquexique e G15 – Azulão - MS), um genótipo na classe 5 - adaptabilidade a ambientes favoráveis e previsibilidade alta (G3 – MNC00-595F-27), um genótipos na classe 2 - adaptabilidade a ambientes favoráveis e previsibilidade baixa (G11 – BRS Tumucumaque) e um genótipo na classe 6 - adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta (G4 – MNC05-835-B-15).

Analisando apenas as estimativas do coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ), segundo a metodologia de Eberhart e Russel (1966), observou-se que a maioria dos genótipos avaliados apresentou adaptabilidade geral, isto é, não mostraram diferenças significativas em relação à unidade ( $\beta_{1i} = 1$ ) (Tabela 11), destacando-se os genótipos G5 (MNC05-835B-16), G7 (MNC05-847B-123), G8 (MNC05-847B-126), G10 (BRS Guariba) e G13 (Paulistinha), que reuniram adaptabilidade geral e média acima da média geral e das testemunhas. Isto indica que esses genótipos aproveitam vantajosamente os efeitos de ambientes, resultando em altas produtividades.

O genótipo G4 (MNC05-835-B-15) apresentou coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ) estatisticamente inferior à unidade ( $\beta_{1i} < 1$ ) e média superior à média geral (Tabela 11), mostrando ser adaptado a ambientes desfavoráveis, não havendo acréscimo na produtividade de grãos com a melhoria do ambiente, devendo ser indicado para regiões com baixo uso de tecnologia. Entretanto, segundo Santos et al. (2015), deve-se ter cautela no uso deste tipo de genótipo, visto que para condições ambientais com baixo nível tecnológico ou desfavoráveis do ponto de vista edafoclimático pode haver uma diminuição da produtividade.

Os genótipos G3 (MNC00-595F-27) e G11 (BRS Tumucumaque) apresentaram as maiores produtividades de grãos verdes e coeficientes de regressão maior que a unidade ( $\beta_{1i} > 1$ ) (Tabela 11), indicando que estes apresentam adaptação específica a ambientes favoráveis, ou seja, respondem vantajosamente

às melhorias do ambiente, sendo recomendadas para regiões que utilizam alta tecnologia ou que são favoráveis do ponto de vista edafoclimático.

Analisando apenas o parâmetro variância dos desvios da regressão ( $\sigma^2_{di}$ ), a maioria dos genótipos apresentou desvios de regressão não significativos ( $\sigma^2_{di} = 0$ ) (Tabela 11), indicando que apresentam previsibilidade alta de comportamento (estabilidade) e que o seus comportamentos em termos de produtividade terão baixa variação frente às diferentes condições ambientais.

Outro parâmetro que mede a estabilidade é o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que corresponde a uma medida auxiliar na avaliação da estabilidade dos genótipos, quando os desvios de regressão são estatisticamente diferentes de zero ( $\sigma^2_{di} \neq 0$ ) (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

No presente estudo, cinco genótipos apresentaram os desvios de regressão significativos ( $\sigma^2_{di} \neq 0$ ), além disso, estes também exibiram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) inferior à 80% (Tabela 11), evidenciando um comportamento imprevisível nos ambientes estudados. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2015), ao avaliarem a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi, na Região Centro-Oeste do Brasil. Segundo Raizer e Vencovsky (1999), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 80% configura uma baixa dispersão dos dados, refletindo em uma maior segurança no tipo de resposta ambiental estabelecida pelas regressões. Este coeficiente deve ser usado como referência, para que a regressão explique de forma satisfatória o comportamento de um genótipo em função de um ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Os genótipos G1 (MNC00-586F-303-9), G2 (MNC00-595F-2), G5 (MNC05-835B-16), G7 (MNC05-847B-123), G8 (MNC05-847B-126), G9 (MNC99-541F-15), G10 (BRS Guariba) e G14 (Vagem Roxa - THE), apresentaram adaptabilidade geral e previsibilidade alta, além disso, apresentaram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superiores a 80%. No entanto, apenas os genótipos G5 (MNC05-835B-16), G7 (MNC05-847B-123), G8 (MNC05-847B-126) e G10 (BRS Guariba), apresentaram produtividades médias de grãos verdes superiores à média geral e às médias das testemunhas (Tabela 11).

Segundo a metodologia de Eberhart e Russel (1966), o genótipo ideal consiste em um genótipo que apresente produtividade média superior a média geral

( $\beta_0$  elevada), adaptabilidade ampla ( $\beta_{1i}=1$ ) e previsibilidade ou estabilidade alta ( $\sigma^2_{di}=0$ ). Assim sendo, no presente estudo, pode-se considerar como genótipos ideais G5, G7, G8 e G10, onde os desempenhos destes melhoram em resposta às condições ambientais favoráveis, sendo capazes de manter as suas produtividades diante de diferentes condições ambientais.

#### 4.4.2 Metodologia GGE Biplot

As médias das produtividades de grãos verdes dos 16 genótipos de feijão-caupi nos nove ambientes podem ser observadas na Tabela 12.

**Tabela 12** - Médias da produtividade de grãos verdes (kg ha<sup>-1</sup>) de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande Norte, no período de 2012 a 2017.

Genótipo	Ambiente <sup>(1)</sup>								
	CE1	CE2	CE3	PI1	PI2	PI3	RN1	RN2	RN3
G1	927	1.183	781	2.139	1.678	2.064	744	779	2.544
G2	1.161	1.242	1.064	2.382	2.150	2.477	763	727	2.199
G3	2.018	1.695	1.005	3.322	2.988	2.168	880	1.194	2.791
G4	1.600	1.559	938	2.298	2.216	2.048	1.494	1.302	1.531
G5	1.342	1.225	929	2.365	2.166	2.332	1.190	994	2.062
G6	1.912	1.804	646	2.600	1.978	2.178	416	411	2.341
G7	1.573	1.449	1.349	2.926	2.694	2.264	1.001	890	2.412
G8	1.941	1.430	1.139	2.799	2.285	2.674	858	719	2.276
G9	1.180	1.057	1.099	2.390	2.047	2.893	613	519	2.324
G10	1.829	1.359	1.090	2.492	2.450	2.372	942	815	1.999
G11	3.244	1.024	792	2.749	3.360	2.249	649	579	3.520
G12	870	872	555	2.148	1.156	1.612	1.045	1.020	2.212
G13	1.474	1.641	1.422	1.908	2.297	1.917	552	384	2.888
G14	1.388	989	769	1.677	2.091	1.822	618	517	1.843
G15	1.403	1.453	1.323	2.108	1.481	2.555	288	264	360
G16	1.606	1.503	973	1.935	972	2.178	202	186	2.519
Média	1.592	1.343	992	2.390	2.126	2.237	766	706	2.239

<sup>(1)</sup>CE1 (Pentecoste – CE/2013); CE2 (Acarauá-CE/2013); CE3 (Acarauá - CE/2015); PI1 (Teresina-PI/2012); PI2 (Teresina – PI/2013); PI3 (Teresina – PI/2017); RN1 (Mossoró - RN/2014 – 1ª época) RN2 (Mossoró - RN/2014 – 2ª época); RN3 (Mossoró – RN/2015).

O ambiente com maior média foi o PI1 (2.390 kg ha<sup>-1</sup>) e o de menor média o RN2 (706 kg ha<sup>-1</sup>). No geral, os ambientes do Piauí apresentaram maior média, do Ceará, médias intermediárias e do Rio Grande do Norte as menores médias.

De acordo com a relação de informação (RI) dos nove componentes principais apenas os três primeiros CPs contêm padrões ( $RI > 1$ ) (Tabela 13). Segundo Hongyu (2015), mesmo neste caso, onde existe padrão também no CP3, o biplot é considerado adequado para representar os padrões ( $RI_{CP1} > RI_{CP2} > 1$ ).

Observa-se que a Análise de Componentes Principais (ACP) decompôs o efeito de Genótipos + interação G x E (GGE) em nove componentes (Tabela 13), onde os dois primeiros, CP1 e CP2, explicaram, respectivamente, 48,93% e 18,28% da variação total GGE, os quais exploram 67,21% da variação GGE e 82,47% da variação GGE padrão. Isso significa que da variação total GGE, 81,50% corresponde ao padrão e o restante representa ruídos, variação esta não relacionada com esses efeitos e, portanto, sem importância agrônômica.

**Tabela 13** - Proporção explicada e acumulada e a relação de informação (RI) dos nove componentes principais (CP), resultantes da análise de componentes principais, para a produtividade de grãos verdes, obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

CP	Variação explicada (%)	Variação acumulada (%)	RI
1	48,93	48,93	4,40
2	18,28	67,21	1,64
3	14,29	81,50	1,29
4	6,82	88,32	0,61
5	4,98	93,30	0,45
6	4,05	97,35	0,36
7	1,37	98,72	0,12
8	0,89	99,61	0,08
9	0,39	100,00	0,03

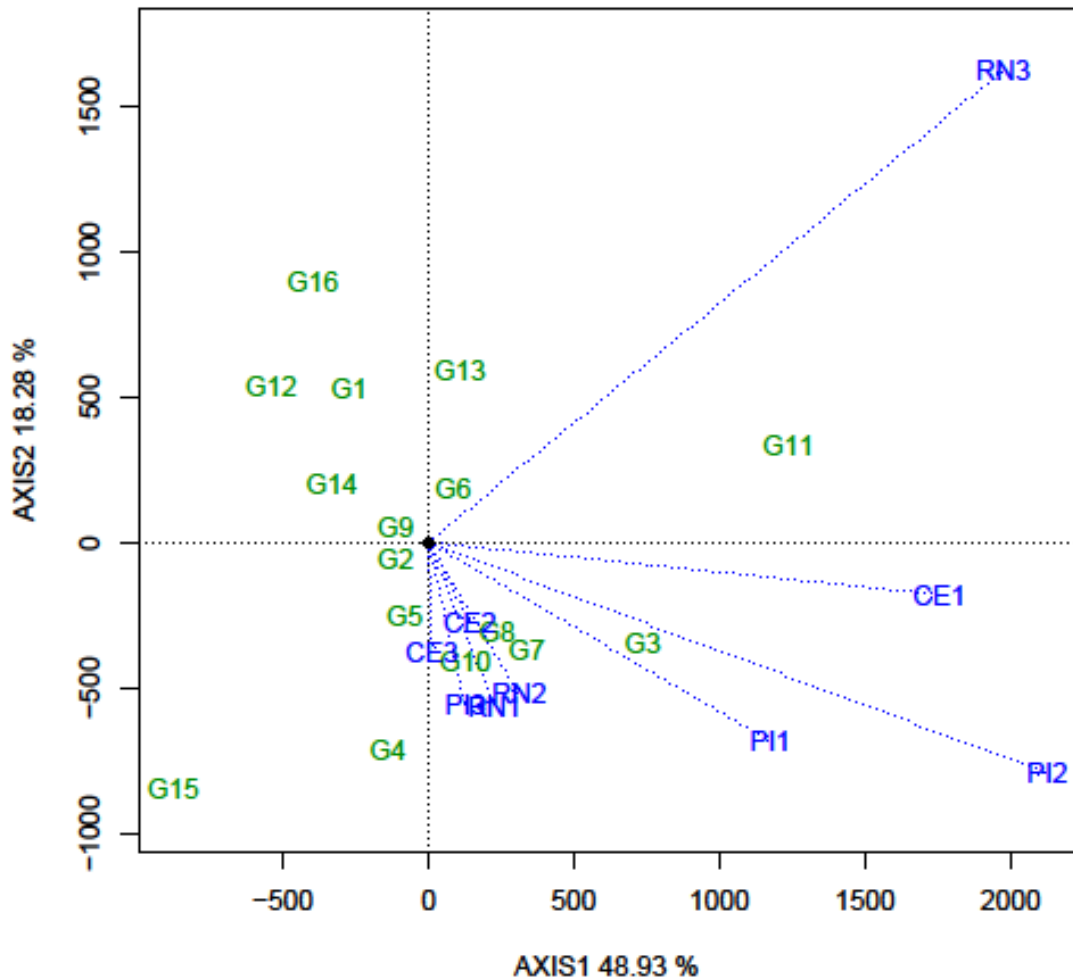
Esse resultado diferiu dos obtidos por Akande (2007), Aremu, Adbayo e Adeniji (2008), Olayiwola, Soremi e Okeleye (2015) e Okoronkwo e Nwofia (2016), que avaliando a adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos secos de genótipos de feijão-caupi na Nigéria, via GGE Biplot, obtiveram alta proporção da variação

GGE explicada pelos dois primeiros componentes, respectivamente, 85,3% (quatro ambientes), 93,1% (três ambientes), 91% (quatro ambientes) e 100% (dois ambientes) do total da variação GGE. No entanto, esses trabalhos foram conduzidos em poucos ambientes, o que contribui para uma alta proporção explicada pelos dois primeiros componentes principais.

Carvalho (2015), utilizando a metodologia GGE Biplot para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de grãos secos de 20 genótipos de feijão-caupi em multiambientes no Brasil, obteve baixa eficiência dessa metodologia, pois os dois primeiros eixos explicaram apenas 35% da variação GGE.

O resultado do presente trabalho concorda mais com os resultados obtidos por Sousa et al. (2018), que avaliando a produtividade de grãos secos de genótipos de feijão-caupi, encontraram variação de 66,05% explicada pelos dois primeiros componentes principais. Oliveira et al. (2017), avaliaram a concentração de zinco no grão de 12 genótipos de feijão-caupi e utilizaram a metodologia GGE Biplot. Esses autores encontraram 77,81% de variação explicada pelos dois primeiros componentes principais, sendo estes, os únicos a apresentar uma  $RI > 1$ .

As adaptabilidades e estabilidades da produtividade de grãos verdes dos genótipos aos ambientes de teste são apresentadas nas Figuras 2, 3, 4 e 5. A identificação dos genótipos a partir do desempenho em qualquer ambiente, assim como a identificação de ambientes acerca do desempenho relativo dos genótipos pode ser feita a partir da visualização da Figura 2. A linha reta traçada da origem do biplot para a colocação de um ambiente ou genótipo é denominada de vetor de ambiente ou vetor de genótipo, de forma que a partir desses vetores, as interações específicas entre um genótipo e um ambiente (por exemplo, o desempenho de cada um dos genótipos em cada ambiente), possam ser visualizadas (YAN; TINKER, 2006). O desempenho de um genótipo em um ambiente é: maior que a média, se o ângulo formado entre o seu vetor e o vetor do ambiente é  $< 90^\circ$ ; pior que a média, se o ângulo formado entre o seu vetor e o vetor do ambiente é  $> 90^\circ$ ; próximo da média, se o ângulo formado entre o seu vetor e o vetor do ambiente é aproximadamente igual a  $90^\circ$  (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011).



**Figura 2** - GGE Biplot para a produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

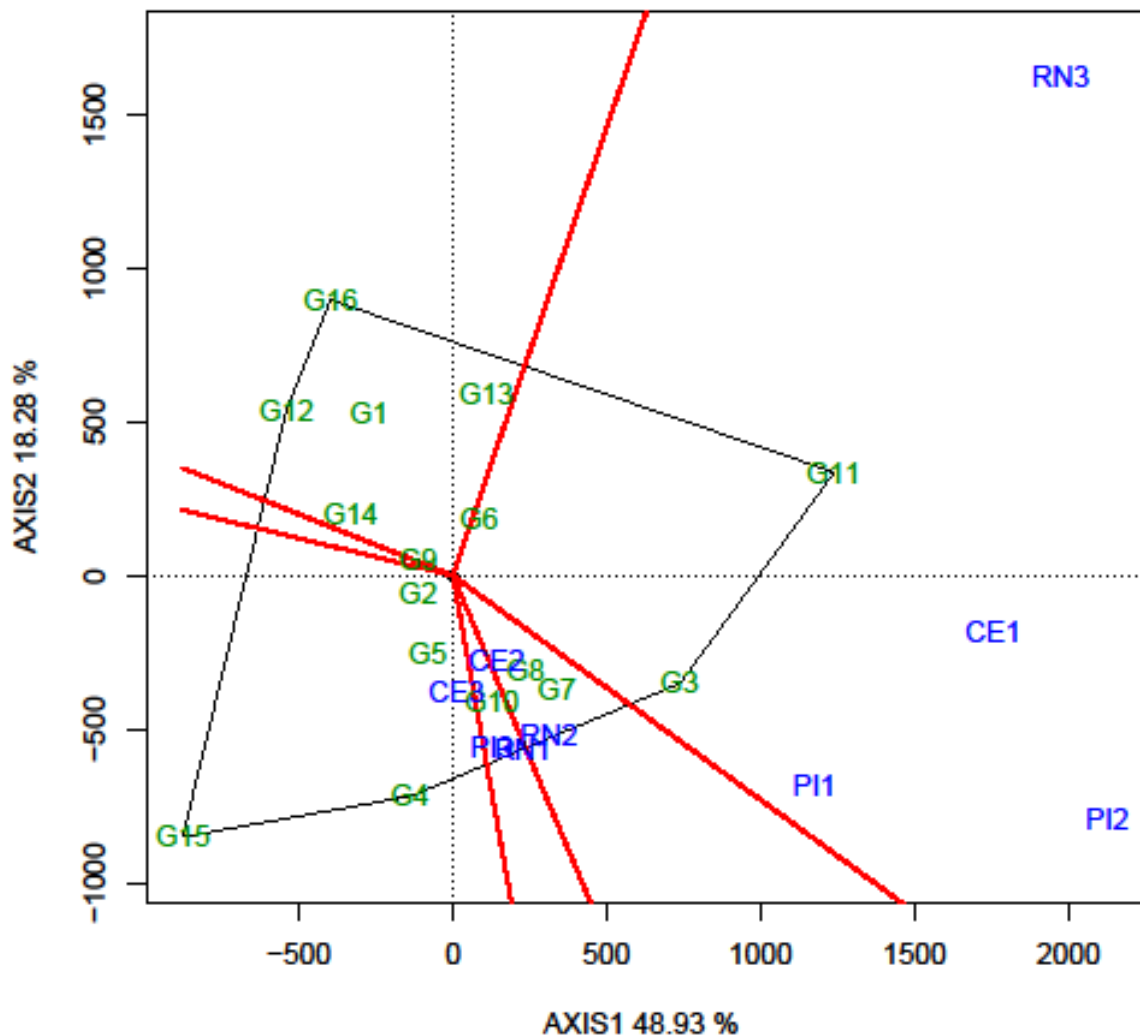
Os genótipos G3 (MNC00-595F-27), G7 (MNC05-847B-123) e G8 (MNC05-847B-126) formaram ângulo agudo com todos os ambientes, demonstrando que apresentaram produtividade de grãos verdes acima da média em todos os ambientes em estudo. O genótipo G10 (BRS Guariba) formou ângulo agudo com oito ambientes, com exceção do ambiente RN3 e os genótipos G4 (MNC05-835-B-15), G5 (MNC05-835B-16) e G11 (BRS Tumucumaque), formaram ângulo agudo com sete dos nove ambientes avaliados, com exceção dos ambientes RN3 e CE1 (G4 e G5) e os ambientes CE3 e PI3 (G11). Isso significa que esses genótipos apresentaram produtividade de grãos verdes superior a média na maioria dos ambientes. Os genótipos G2 (MNC00-595F-2) e G15 (Azulão – MS) formaram

ângulo agudo com cinco ambientes (CE2, CE3, PI3, RN1 e RN2) dos nove em estudo, ou seja, apresentaram produtividade de grãos verdes acima da média nestes cinco ambientes, e produtividade abaixo da média nos ambientes restantes (PI1, PI2, CE1 e RN3).

O genótipo G6 (MNC05-841B-49) formou ângulo obtuso com seis ambientes, G13 (Paulistinha) com sete e G1 (MNC00-586F-303-9) e G16 (Sempre Verde – CE), com oito ambientes dos nove avaliados, demonstrando que esses genótipos apresentaram produtividade de grãos verdes inferior à média, na maioria dos ambientes testados (Figura 2). Os genótipos G9 (MNC99-541F-15), G12 (BRS xiquexique) e G14 (Vagem Roxa – THE) formaram ângulo obtuso com todos os ambientes avaliados, apresentando produtividade de grãos verdes abaixo da média em todos os ambientes de teste. Estes genótipos foram considerados inferiores em termos de produtividade de grãos verdes, dentre estes, observa-se o genótipo G14 (Vagem Roxa – THE) que foi utilizado como testemunha (comercializado como feijão-verde) neste estudo. Diante disso, vê-se a importância da seleção de genótipos superiores em termos de produtividade de grãos verdes.

O gráfico GGE Biplot mega-ambiente também chamado Which-won-where (quem vence onde) pode ser visualizado na Figura 3. Os vetores oriundos do centro do Biplot (0,0) delimitaram o gráfico em cinco setores. O polígono originado foi delimitado pelos genótipos G16 (Sempre Verde – CE), G11 (BRS Tumucumaque), G3 (MNC00-595F-27), G4 (MNC05-835-B-15), G15 (Azulão - MS) e G12 (BRS Xiquexique), que correspondem aos genótipos presentes nos vértices. Esses genótipos apresentaram os maiores vetores nas respectivas direções, de modo que o tamanho do vetor e a sua direção, reflete a dimensão da resposta dos genótipos para os ambientes que estão sendo testados, isto é, o tamanho dos vetores e suas respectivas direções estão diretamente relacionados com a adaptabilidade de cada genótipo aos ambientes dentro do mesmo setor (MATTOS, 2012).

Um mega-ambiente consiste em um grupo de ambientes ou sub-regiões correlacionados positivamente, em que um genótipo ou grupo de genótipos são especificamente adaptados e alcançaram melhor desempenho (YAN; RAJCAN, 2002).



**Figura 3** - GGE Biplot mega-ambiente (which-won-where) para a produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

O gráfico GGE Biplot mega-ambiente é uma ferramenta importante na visualização da possível existência de diferentes mega-ambientes em uma região, além de ser eficiente na visualização dos padrões de interação entre genótipos e ambientes (YAN et al., 2001). Permitindo identificar quais genótipos apresentaram o melhor desempenho médio em cada mega-ambiente. Os ambientes em estudo foram agrupados em três mega-ambientes: I) CE1, PI1, PI2 e RN3; II) CE2 e RN2; III) PI3 e RN1.



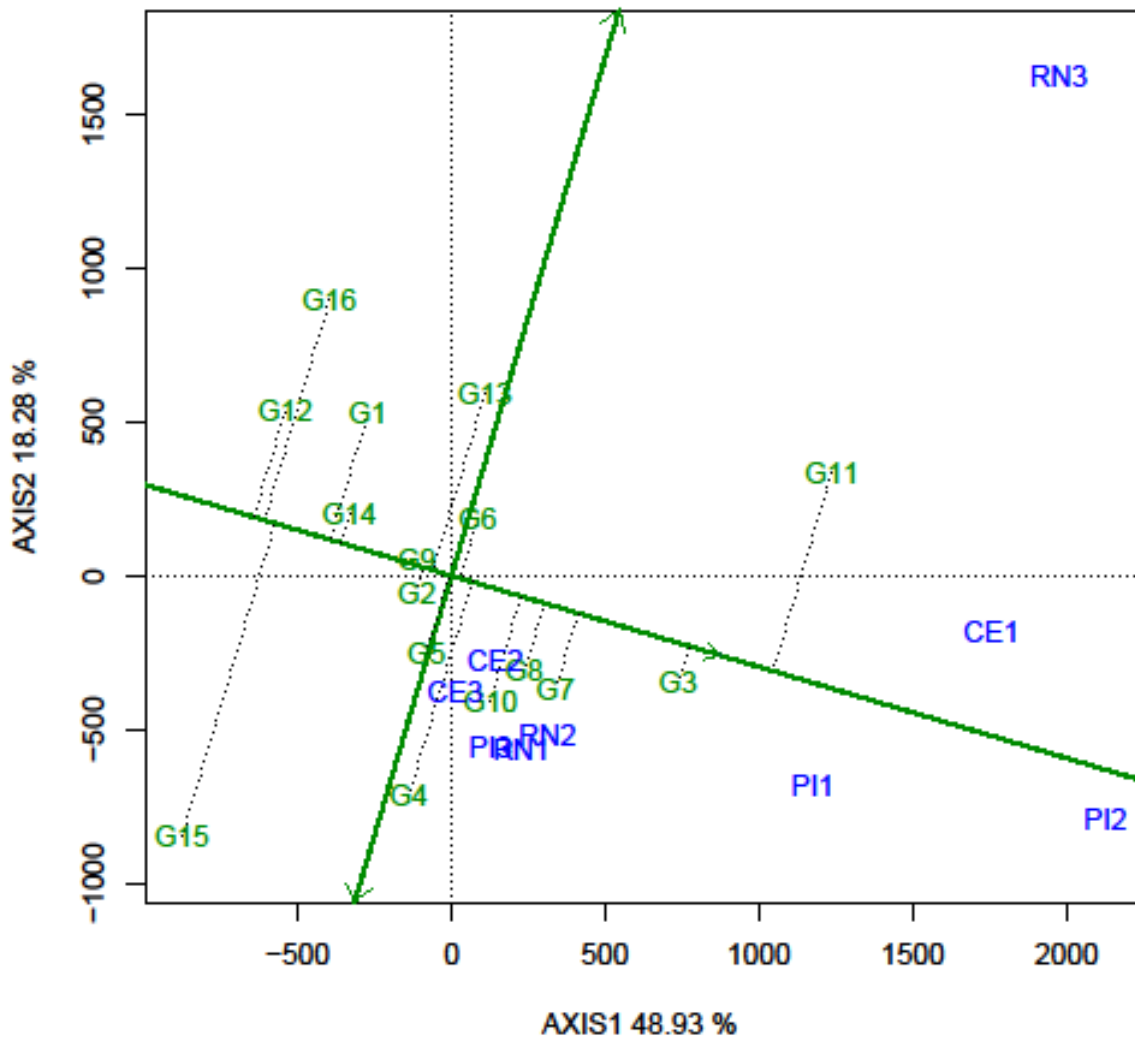
O genótipo G11 (BRS Tumucumaque) presente no vértice do mega-ambiente I apresentou as maiores médias de produtividade de grãos verdes, exibindo um melhor desempenho, sendo mais adaptado a esses ambientes, seguido do genótipo G3 (MNC00-595F-27). No mega-ambiente II, o G7 (MNC05-847-123) e G8 (MNC05-847B-126) representaram os genótipos mais adaptados, da mesma maneira que, o genótipo G10 (BRS Guariba) foi o mais adaptado ao mega-ambiente III. Genótipos presentes em setores que não apresentam nenhum ambiente agrupado apresentam baixa produtividade e são considerados desfavoráveis aos ambientes em teste.

Avaliando os ambientes de testes em termos de estado (Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte), observa-se uma certa heterogeneidade ambiental, tendo em vista que ambientes de um mesmo estado não se alocaram em um mesmo mega-ambiente. Isso pode ter ocorrido devido ao efeito de épocas ou anos agrícolas, mais associados com os fatores ambientais imprevisíveis do clima.

O gráfico GGE Biplot “média versus estabilidade” (Figura 4) consiste em uma ferramenta eficiente para a avaliação de genótipos em relação a esses dois aspectos (YAN et al., 2007).

A linha reta com uma única seta que cruza a origem do Biplot e do ambiente média é especificado como o “eixo do ambiente-média ou EAM”, de modo que a seta aponta para um maior desempenho médio para os genótipos. A linha com duas setas que se direcionam em sentido contrário da origem do Biplot, e é perpendicular a EAM, indicam através de ambos os sentidos das setas um maior efeito da interação G x E e menor estabilidade, além disso, permite a separação dos genótipos que estão abaixo e acima da média (YAN et al., 2011).

Conforme a Figura 4, os genótipos podem ser classificados de acordo com a sua produtividade média de grãos verdes em ordem decrescente, da seguinte forma: G11 > G3 > G7 > G8 > G10 > G4 > G6 > G5 > média geral > G13 > G2 > G9 > G14 > G1 > G15 > G16 > G12, destacando-se o genótipo G11 (BRS Tumucumaque), localizado após o ambiente médio. Em um estudo realizado por Santos et al. (2016), utilizando essa mesma metodologia, a cultivar BRS Tumucumaque também apresentou maior produtividade de grãos secos para as condições do estado do Mato Grosso do Sul. Observa-se que essa cultivar apresenta potencial tanto para a produtividade de grãos secos, como para produtividade de grãos verdes.



**Figura 4** - GGE Biplot “Média vs Estabilidade” para a produtividade de grãos verdes em 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Nota-se que os genótipos de feijão-caupi utilizados como testemunhas neste trabalho, apresentaram produtividade de grãos verdes inferior à média geral. Mostrando que os genótipos utilizados atualmente para a produção de grãos verdes não apresentam características favoráveis para esse seguimento, evidenciando a

importância da seleção de genótipos mais apropriados para o mercado de grãos verdes.

Dos 16 genótipos de feijão-caupi em estudo, o genótipo G9 (MNC99-541F-15) mostrou-se o mais estável (menor projeção em relação ao EAM - linha pontilhada), e o genótipo G15 (Azulão - MS) o mais instável (maior projeção em relação ao EAM - linha pontilhada), no entanto, ambos com produtividade de grãos verdes abaixo da média geral. Dentre os genótipos com produtividade de grãos verdes acima da média geral, o genótipo G3 (MNC00-595F-27) apresentou-se como o mais estável e os genótipos G4 (MNC05-835B-15) e G11 (BRS Tumucumaque) como os mais instáveis.

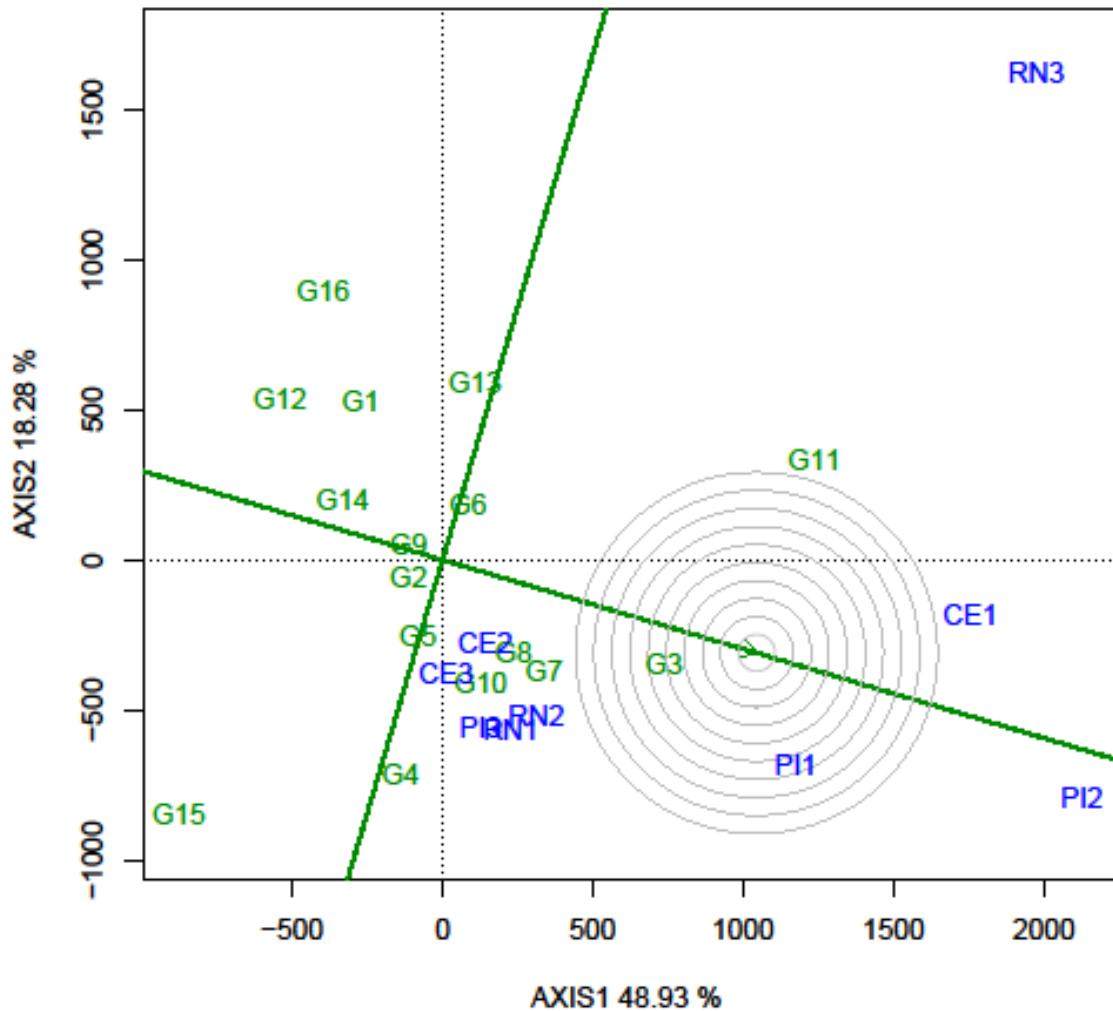
Segundo Yan e Tinker (2006), o genótipo que detém um melhor desempenho em termos de produtividade não é necessariamente o mais estável; no presente estudo isto pode ser observado no genótipo G11 (BRS Tumucumaque), que apesar de ter obtido a maior produtividade média de grãos verdes, apresentou estabilidade relativamente baixa.

Na Figura 5 é apresentado o desempenho relativo dos 16 genótipos em relação ao que seria a performance de um genótipo ideal (genótipo que apresenta o máximo de produtividade aliada à boa estabilidade).

O genótipo ideal é graficamente representado pela seta no sentido positivo presente no centro dos círculos concêntricos (YAN; TINKER, 2006). Desse modo, os genótipos posicionados próximos ao centro dos círculos concêntricos são os mais desejáveis. Logo, o genótipo G3 (MNC00-595F-27) foi o que mais se aproximou do genótipo ideal em termos de alta produtividade de grãos verdes e alta estabilidade fenotípica, neste conjunto de dados.

Na avaliação dos ambientes de teste, para a seleção de um ambiente ideal, o mesmo deve apresentar maior discriminação dos genótipos e representatividade ambiental (YAN et al., 2001). A Figura 6 apresenta o GGE Biplot “discriminação e representatividade”, os ambientes de teste com vetores mais longos são mais discriminantes, já os ambientes que possuem os vetores mais curtos, são menos discriminantes, sugerindo que esses ambientes forneceram pouca ou nenhuma informação sobre as diferenças de genótipos (YAN et al., 2007).

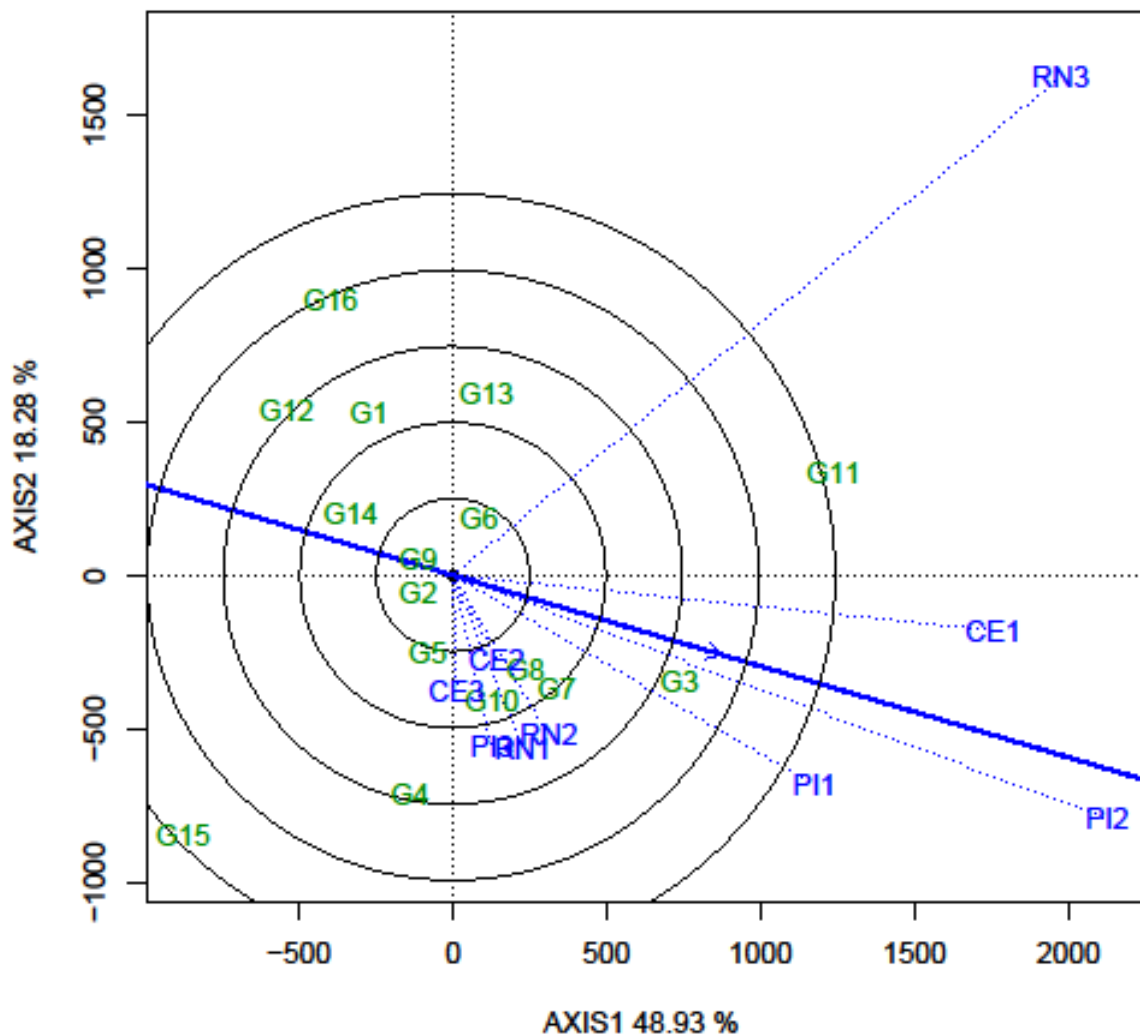
Os ambientes RN3 e PI2 corresponderam aos ambientes que apresentaram os vetores mais longos, demonstrando que são os mais discriminantes em relação aos genótipos.



**Figura 5** - GGE Biplot para identificação do genótipo ideal em relação a produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

No GGE Biplot “discriminação e representatividade”, um ambiente de teste é mais representativo, quando apresenta um menor ângulo com EAM (linha que passa pelo ambiente médio e a origem biplot). Dessa forma, os ambientes PI2, PI1 e CE1 foram os mais representativos em relação aos outros ambientes que apresentaram ângulos maiores.

Ambientes de teste que são tanto discriminantes como representativos (por exemplo, PI2), correspondem a ambientes de teste ideais para a seleção de genótipos geralmente adaptados. Já ambientes de teste que são discriminantes, mas não são representativos (por exemplo, RN3) são úteis para a seleção de genótipos especificamente adaptados em mega-ambientes, ou para identificação de genótipos instáveis se o ambiente teste for um único mega-ambiente (YAN; TINKER, 2006).



**Figura 6** - GGE Biplot “discriminação e representatividade” dos nove ambientes de teste nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, com base na produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi, avaliados no período de 2012 a 2017.

#### 4.4.3 Metodologia REML/BLUP

As estimativas dos componentes de variância e parâmetros com base em modelos mistos e na metodologia REML/BLUP são apresentadas na Tabela 14.

**Tabela 14** - Estimativas dos componentes de variância (REML individual) e parâmetros genéticos obtidos a partir da avaliação da produtividade de grãos verdes de 16 genótipos de feijão-caupi em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Parâmetro	Estimativa
Variância genotípica ( $\sigma^2_g$ )	40316,28
Variância residual ( $\sigma^2_e$ )	164265,09
Variância da interação genótipos x ambientes ( $\sigma^2_{ge}$ )	116423,13
Variância fenotípica ( $\sigma^2_f$ )	321004,50
Herdabilidade da média dos genótipos ( $h^2_{mg}$ )	0,70
Acurácia na seleção dos genótipos (Acgen)	0,83
Correlação genotípica entre os ambientes (rgloc)	0,26
Coefficiente de variação relativo (Cvg%/Cve%)	0,49

A variância ambiental foi a que mais contribuiu para a variância fenotípica exibindo 51% dessa variância, seguida da variância da interação G x E (36%) e da variância genotípica (13%). A alta influência da variância ambiental em relação aos outros componentes da variância fenotípica pode ser justificada pela natureza poligênica da característica em questão.

Outros estudos de avaliação de genótipos de feijão-caupi (TORRES et al., 2015; OLIVEIRA; FONTES; ROCHA, 2015; ROCHA et al. 2017b; 2017c) em múltiplos ambientes também encontraram uma maior proporção de variância ambiental do que as variâncias genotípica e de interação G x E, para a produtividade de grãos.

Apesar de um maior efeito dos fatores ambientais, demonstrado pelo coeficiente de variação relativo (0,49), a herdabilidade em um nível genotípico médio entre os vários ambientes, apresentou magnitude alta (0,70) indicando possibilidade para seleção (Tabela 14).

A herdabilidade obtida no presente estudo foi similar a encontrada por Torres et al. (2015), que avaliaram a produtividade de grãos secos de 20 genótipos de

feijão-caupi em vários ambientes do Mato Grosso do Sul, e superior a de Torres Filho et al. (2017), que verificaram uma baixa herdabilidade (0,4) para a produtividade de grãos verdes em genótipos de feijão-caupi para as condições de Mossoró-RN.

Segundo Chiorato et al. (2008), a herdabilidade em nível médio é determinada com base no número de repetições e de plantas avaliadas por parcela no experimento. O tamanho da área experimental do presente estudo pode ter contribuído positivamente para a redução dos efeitos ambientais, em razão de que os genótipos foram representados por 80 plantas, na área de avaliação da parcela.

A acurácia seletiva consiste em um parâmetro importante no contexto de avaliação de genótipos e corresponde à correlação entre o valor genotípico verdadeiro dos genótipos e aquele estimado ou predito a partir dos dados dos experimentos, de modo que seus valores variam de 0 a 1, sendo que os valores adequados de acurácia são aqueles próximo a unidade (RESENDE; DUARTE, 2007). A acurácia obtida no presente estudo foi considerada alta (0,83), indicando qualidade experimental, assim como segurança e confiabilidade na seleção de genótipos superiores para a produtividade de grãos verdes. Esse resultado foi superior ao encontrado por Torres Filho et al. (2017), que observaram uma baixa precisão (0,20) na avaliação da produtividade de grãos verdes em genótipos de feijão-caupi para as condições de Mossoró-RN.

O segundo componente que mais influenciou na variância fenotípica foi a variância da interação G x E (0,36), que resultou na baixa correlação genotípica entre os ambientes (0,26) (Tabela 14). Esses resultados sugerem que a interação G x E seja provavelmente do tipo complexa, o que neste caso, pode ocorrer de um genótipo ser o melhor em um ambiente e não o ser em outro (RESENDE 2007b). Isto resulta em certa dificuldade na seleção de genótipos com uma adaptação mais ampla, refletindo assim na importância de analisar a adaptabilidade e estabilidade com o intuito de fornecer informações mais precisas na seleção de genótipos de feijão-caupi com produtividade de grãos verde mais previsível.

Rocha et al. (2017b, 2017c) avaliaram a produtividade de grãos secos de 20 genótipos de feijão-caupi na Região Nordeste do Brasil e também encontraram a interação G x E como o segundo componente a influenciar na variância fenotípica.

Já Torres et al. (2016) verificaram porcentagens semelhantes para a interação G x E e variância ambiental, avaliando genótipos de feijão-caupi em ambientes do Mato Grosso do Sul.

De acordo com as estimativas dos componentes de média (BLUP) e os intervalos de confiança associados aos valores genotípicos ( $\mu+g$ ), os genótipos G11 (BRS Tumucumaque), G3 (MNC00-595F-27) e G7 (MNC05-847B-123) foram superiores à maioria dos genótipos avaliados, assim como apresentaram os maiores ganhos genéticos em comparação à média geral, com 292,58 kg ou 18,29%, 288,52 kg ou 18,04% e 248,35 kg ou 15,53%, respectivamente (Tabela 15).

**Tabela 15** - Componentes de média (BLUP individual) dos efeitos genotípicos (g) e valores genotípicos preditos ( $u + g$ ) livres de interação com ambientes, limite inferior de intervalo de confiança (LIIC), limite superior de intervalo de confiança (LSIC) e ganho genético (Gg) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Ordem	G	$u + g$	(LIIC - LSIC) <sup>(1)</sup>	Gg
G11	292,58	1.892	1.660,05 - 2.123,20	292,58
G3	284,47	1.883	1.651,93 - 2.115,08	288,52
G7	167,99	1.767	1.535,46 - 1.998,61	248,35
G8	134,05	1.733	1.501,52 - 1.964,67	219,77
G10	74,22	1.673	1.441,99 - 1.904,83	190,66
G4	46,29	1.645	1.413,75 - 1.876,90	166,60
G5	16,49	1.615	1.383,96 - 1.847,11	145,16
G13	7,20	1.606	1.374,66 - 1.837,81	127,91
G6	-8,07	1.591	1.359,40 - 1.822,55	112,80
G2	-17,50	1.581	1.349,97 - 1.813,11	99,77
G9	-20,91	1.578	1.346,56 - 1.809,70	88,80
G1	-120,15	1.479	1.247,32 - 1.710,47	71,39
G16	-179,32	1.420	1.188,14 - 1.651,29	52,10
G14	-207,35	1.392	1.160,11 - 1.623,26	33,57
G12	-225,56	1.373	1.141,91 - 1.605,05	16,29
G15	-244,43	1.355	1.123,04 - 1.586,19	0,00
Média geral		1.599		

<sup>(1)</sup> Intervalo de confiança associado às estimativas dos valores genotípicos.

Os resultados da estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG), e da estabilidade e adaptabilidade simultâneas de



valores genotípicos (MHPRVG) para a produtividade de grãos verdes dos genótipos avaliados estão apresentados na Tabela 16.

Verifica-se que os cinco melhores genótipos com base nos critérios MHVG e PRVG (Tabela 16) não correspondem necessariamente com os cinco melhores avaliados pelo critério do valor genotípico médio ( $\mu+g$ ) (Tabela 15). Observando-se coincidência de 80% para ambos (MHVG e PRVG), havendo inversão de ordem dentre os genótipos coincidentes. Já a coincidência entre os cinco melhores genótipos pelo valor genotípico médio ( $\mu+g$ ) e MHPRVG, foi de 100%, no entanto, houve também inversão de ordem entre os genótipos. Isso mostra que previsões seguras sobre valores genéticos podem ser feitas com um único critério de seleção, abrangendo três propriedades: produtividade, estabilidade e adaptabilidade, fornecendo uma seleção mais refinada.

**Tabela 16** - Estabilidade dos valores genéticos (MHVG), adaptabilidade dos valores genéticos (PRVG), adaptabilidade e estabilidade dos valores genéticos simultaneamente (MHPRVG), valor genotípico capitalizando a adaptabilidade ( $PRVG_{\mu}$ ) e valor genotípico penalizado pela instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade ( $MHPRVG_{\mu}$ ) de 16 genótipos de feijão-caupi avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

Ordem	MHVG	Ordem	PRVG	$PRVG_{\mu}$	Ordem	MHPRVG	$MHPRVG_{\mu}$
G3	1.646	G3	1,25	2.004	G3	1,23	1.973
G7	1.551	G11	1,19	1.899	G7	1,15	1.844
G4	1.532	G7	1,16	1.859	G11	1,12	1.797
G8	1.449	G4	1,13	1.812	G8	1,11	1.773
G10	1.436	G8	1,11	1.777	G10	1,07	1.718
G5	1.417	G10	1,08	1.727	G4	1,07	1.705
G11	1.390	G5	1,05	1.686	G5	1,03	1.649
G2	1.284	G13	0,99	1.584	G2	0,98	1.563
G13	1.179	G2	0,98	1.574	G13	0,95	1.517
G9	1.178	G9	0,95	1.522	G9	0,93	1.493
G1	1.169	G6	0,94	1.512	G6	0,90	1.443
G12	1.098	G1	0,90	1.438	G1	0,88	1.413
G6	1.082	G12	0,85	1.358	G14	0,81	1.294
G14	1.034	G14	0,81	1.302	G12	0,79	1.271
G15	808	G16	0,80	1.280	G16	0,69	1.104
G16	779	G15	0,78	1.249	G15	0,66	1.054

Diferentes resultados foram relatados por Torres et al. (2016), que observaram uma porcentagem de coincidência no ordenamento dos cinco melhores genótipos pelo valor genotípico médio ( $\mu+g$ ) com MHVG e MHPRVG de 80%, e com PRVG de 40%, a partir da avaliação da produtividade de grãos secos de 20 genótipos de feijão-caupi no Mato Grosso do Sul. Rocha et al. (2017b), avaliaram a produtividade de grãos secos de vinte genótipos de feijão-caupi na Região Nordeste do Brasil, e verificaram porcentagem de 80% de coincidência entre o ordenamento exibido por MHVG e PRVG, porcentagem esta, semelhante à apresentada no presente estudo.

Os três melhores genótipos (G3 - MNC00-595F-27, G7 - MNC05-847B-123 e G11 – BRS Tumucumaque), pelo critério MHPRVG $\mu$ , apresentaram produtividade de grãos de 1.973 kg ha<sup>-1</sup>, 1.844 kg ha<sup>-1</sup> e 1.797 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, uma superioridade média de 24%, 16% e 13%, respectivamente, em relação à média geral dos nove ambientes (Tabela 16). Esses valores são alcançados através de um processo que penaliza a instabilidade dos genótipos e capitaliza a capacidade de resposta (adaptabilidade) para a melhoria do ambiente (RESENDE 2007b). Essas propriedades são específicas do método MHPRVG.

Segundo Carbonell et al. (2007), os valores de PRVG e MHPRVG mostram exatamente a superioridade média do genótipo em relação à média de um determinado ambiente. Portanto, os genótipos G3 (MNC00-595F-27), G7 (MNC05-847B-123) e G11 (BRS Tumucumaque) apresentaram uma superioridade de 1,24, 1,16 e 1,13 vezes, respectivamente, sobre a média de qualquer ambiente onde eles são cultivados.

De modo geral, os genótipos G3 (MNC00-595F-27), G7 (MNC05-847B-123) e G11 (BRS Tumucumaque) foram superiores em relação à produtividade de grãos verdes, adaptabilidade e estabilidade, podendo ser recomendados para os ambientes avaliados no presente estudo, com menor perda de produtividade de grãos verdes em virtude de fatores ambientais imprevisíveis. Segundo Torres et al. (2016), genótipos que apresentam os três atributos (produtividade, adaptabilidade e estabilidade) de forma simultânea, podem ser utilizados como critério de seleção em programas de melhoramento.

A cor dos grãos consiste em um aspecto visual importante para o mercado de grãos verdes. Os genótipos G3 (MNC00-595F-27) e G7 (MNC05-847B-123) destacam-se por pertencerem à subclasse comercial verde (Tabela 1), com tegumento e cotilédones verdes, mostrando um elevado potencial para esse seguimento, devido apresentar maior capacidade de preservação da cor verde pós-colheita, do que as demais subclasses.

As características morfoagronômicas da linhagem G3 - MNC00-595F-27 podem ser visualizadas na Figura 7.



**Figura 7** - Características morfoagronômicas da linhagem de feijão-caupi de tegumento e cotilédone verde - MNC00-595F-27.

Atualmente essa linhagem encontra-se em processo de avaliação em ensaio de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE). Esse ensaio, juntamente com os ensaios de valor de cultivo uso (VCU), são requisitos para o registro e a proteção, respectivamente, no Registro Nacional de Cultivares - RNC e Sistema

Nacional de Proteção de Cultivares - SNPC, junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.

## **5 CONCLUSÕES**

Os genótipos considerados ideais pela metodologia de Eberhart e Russel são G5 – MNC05-835B-16, G7 – MNC05-847B-123, G8 – MNC05-847B-126 e G10 – BRS Guariba, já pelas metodologias GGE Biplot e REML/BLUP são os genótipos G3 – MNC00-595F-27, G7 – MNC05-847B-123 e G11 – BRS Tumucumaque.

As metodologias GGE Biplot e REML/BLUP, por conseguirem informar de forma mais direta os genótipos superiores em produtividade, adaptabilidade e estabilidade, são mais práticos do que a metodologia de Eberhart e Russel no processo de seleção.

As linhagens G3 – MNC00-595F-27, G7 – MNC05-847B-123 e a cultivar G11 – BRS Tumucumaque foram superiores em precocidade, produtividade de grãos verdes, adaptabilidade e estabilidade, com maior probabilidade de sucesso de cultivo nas condições edafoclimáticas dos ambientes avaliados neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, F. B.; TORRES, F. E.; SAGRILO, E.; QUEIROZ, L. S.; MORAES, S. C. F. C.; DAMASCENO, J. E.; BERTONCELLO, V.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto em Mato Grosso do Sul. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.
- ADEWALE, B. D.; OKONJI, C.; OYEKANMI, A. A.; AKINTOBI, D. A. C.; AREMU, C. O. Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. **African Journal of Agricultural Research**. v. 5, n. 9, p. 874-880, 2010.
- ALMEIDA, W. S. **Potencial de genótipos de feijão-caupi para a produção de feijão verde no norte do estado do Ceará**. 2013. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédones verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.
- ANDRADE, F. N. A.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R. Potencial genético de linhagens e cultivares de feijão-caupi para produção de feijão-verde. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FAPEPI, Teresina, 2005. **Anais**. Teresina: FAPEPI, 2005. 1 CD-ROM.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**; Teresina: Embrapa Meio Norte, 2002. 110 p. (Embrapa Meio Norte. Sistema de Produção, 2).
- AKANDE, S. R. Biplot analysis of genotype by environment interaction of cowpea grain yield in the forest and southern guinea savanna agro-ecologies of Nigeria. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 5, p. 464-467, 2007.

- AQUINO, D. A. L., SANTOS, C. A. F., SILVA, D. O. M. Adaptability and stability parameters for immature seeds and pods and mature dried seeds in cowpea genotypes in Brazil northeast, **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 5071-5079, 2016.
- AREMU C. O.; ADEBAYO, M. A.; ADENIJI, O. T. Seasonal performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) in humid tropics using GGE Biplot analysis. **World Journal of Biological Research**, v. 1, p. 8-13, 2008.
- AREMU, C. O.; ARIYO, O. J.; ADEWALE, B. D. Assessment of selection techniques in genotype X environment interaction in cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **African Journal of Agricultural Research**, v. 2, p. 352-355, 2007.
- BARROS, M. A.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; NEVES, A. C. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semi-prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 403-410, 2013.
- BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p. 195-203, 2007.
- BARROSO, L. M. A.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C. C.; SILVA, F. F.; FERREIRA, R. P. Uso do método de Eberhart e Russel como informação a priori para classificação de redes neurais artificiais e análise discriminante visando a classificação de genótipos de alfafa quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 3, n. 2, p.176-188, 2013.
- BERTINI, C. H. C. M.; ALMEIDA, W. S.; SANTOS, E. O.; ROCHA, M. M. Produtividade de genótipos de feijão-caupi avaliados para produção de feijão-verde no estado do Ceará. In: CONAC – CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2013, Recife, **Resumos**. Recife, 2013.
- BORGES, V.; SOARES, A. A.; RESENDE, M. D. V.; REIS, M. S.; CORNÉLIO, V. M. O.; SOARES, P. C. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas Gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 27, p. 478-490, 2009.
- BRITO, E. S. **Feijão - caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 97p.

- BUTCHER, J.; MORELOCK, T. Effects of postharvest storage and genotypes on quality and shelf life of fresh southernpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Hortscience**, v. 41, n. 3, p. 516-517, 2006.
- CARBONELL, S. A. M.; CHIORATTO, A. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, p. 193-201, 2007.
- CARNEIRO, P. C. S.; **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- CARVALHO, L. C. B.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, G. C. X. Genotype x environment interaction in cowpea by mixed models. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 872-878, 2017.
- CARVALHO, L. C. B. **Interpretação da interação genótipos x ambientes em feijão-caupi usando modelos multivariados, mistos e covariáveis ambientais**. 2015. 116f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Décimo primeiro levantamento - safra 2016/2017. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v. 4, n. 11, p.1-160, agosto 2017.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas - safras 1976/77 a 2015/16 de grãos**. Brasília, 2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos). Acesso em: 01 de Set de 2017.
- CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; DIAS, L. A. S.; RESENDE, M. D. V. Prediction of genotypic values and estimate of genetic parameters in common bean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 3, p. 465-472, 2008.
- COCHRAN, W.G. The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, v.10, n.1, p.101-129, 1954.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 382p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. , v. 1, Viçosa: UFV, 2012. 514p.



- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- DAMASCENO-SILVA, K. J. ; ROCHA , M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, A. A. V.; CAVALCANTES, E.S.; NASCIMENTO , I. R.; OLIVEIRA, I. J.; RODRIGUES, J. E. L. F.; GONÇALVES, J. R. P.; JÚNIOR, J. R. V.; MARINHO, J. T. S. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de portes ereto e semiereto na região Norte do Brasil. In: CONAC – CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2013, Recife, **Resumos**. Recife, 2013.
- DDAMULIRA, G.; SANTOS, C. A. F.; PETER OBUO, P.; ALANYO, M.; ANDLWANGA, C. K. Grain yield and protein content of Brazilian cowpea genotypes under diverse Ugandan environments. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 2074-2084, 2015.
- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise 'AMMI'. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p. (Série Monografias, 9).
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- EHLERS, J. D.; FERY, R. L.; HALL, A. E. Cowpea breeding in the USA: new varieties and improved germplasm. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (Ed.) **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, p. 62-77, 2002.
- EL-SHAIENY, A. A. H.; ABDEL-ATI, Y. Y.; EL-DAMARANY, A. M.; RASHWAN, A. M. Stability analysis of components characters in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Journal of Horticulture and Forestry**, v. 7, p. 24-35, 2015.
- FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SOUZA, N. A.; CHAGAS, M. C. M. Adaptabilidade ambiental e incidência de viroses em cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 33-37, 1993.
- FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SIMPLÍCIO, A. A.; BEZERRA NETO, F.; TORRES, J.; REGO NETO, J. Comportamento ambiental e estabilidade produtiva de cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p. 1555-1560, 1990.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; RODRIGUES, J.E.L.F.; VIEIRA, P.F.M.J. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi**: do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 9-34.

FREIRE FILHO, F.R. (Ed.). **Feijão-caupi no Brasil**: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011, 84p.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. F. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, p. 286-290, 2007.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (eds). **Feijão-caupi**: Avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005a, 519p.

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

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

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

FREIRE FILHO, F. R.; CHAMBLISSE, O. L.; HUNTER, A. G. Crossing potential in the production of persistent green seeds in cowpea using gt and gc genes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 205-212, 2002.

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

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

- FREIRE FILHO, F.R. Genética do caupi. In: ARAÚJO, J.P.P.; WATT, E.E. Org. **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA/EMBRAPA, p. 159–229, 1988.
- FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 12, 1983.
- FREITAS, T. G. G.; SILVA, P. S. L.; DO VALE, J. C.; SILVA, E. M. Green bean yield and path analysis in cowpea landraces. **Revista Caatinga**, v.29, n. 4, p. 866-877, 2016.
- FRUTOS, E.; GALINDO, M. P.; LEIVA, V. An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 7, p. 1629-1641, 2014.
- GABRIEL, K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.
- HONGYU, K. **Comparação de GGE Biplot-ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente**. 2015. 154f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- LIMA, E. D. P. A. Feijão-caupi verde, minimamente processado: aspectos de conservação. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009a, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 73-84. 1 CD-ROM.
- LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, v. 2, n. 2, p. 79-86, 2007.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n. 3, p.193-198, 1988.
- MANO, A. R. O. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão-de-corda**. 2009. 145 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- MATTOS, P. H. C. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no estado do Paraná pelos métodos AMMI e GGE Biplot**. 2012. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

- MURAKAMI, D. M.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, v. 34, n.1, p. 71-78, 2004.
- NUNES, H. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; GOMES, R. L. F. Grain yield adaptability and stability of blackeyed cowpea genotypes under rainfed agriculture in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 2, p. 255-261, 2014.
- OKORONKWO, C. M.; NWOPIA, G. E. Yield stability and inter relationships between seed yield and associated traits of 25 cowpea (*Vigna unguiculata* [L] Walp) genotypes. **African Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 4, p. 728-734, 2016.
- OLADEJO, A. S.; AKINWALE, R. O.; OBISESAN, I. O. Interrelationships between grain yield and other physiological traits of cowpea cultivars. **African Crop Science Journal**, v. 19, p.189-200, 2011.
- OLAYIWOLA, M. O.; SOREMI, P. A. S.; OKELEYE, K. A. Evaluation of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. (Walp) genotypes for stability of performance over 4 years. **Current Research in Agricultural Sciences**, v. 2, p. 22-30, 2015.
- OLIVEIRA, D. S. V.; FRANCO, L. J. D.; MENEZES-JÚNIOR, J. A. N.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; ROCHA, M. M.; NEVES, A. C.; SOUSA, F. M. Adaptability and stability of the zinc density in cowpea genotype through GGE Biplot method. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 783-791, 2017.
- OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; ROCHA, M. M. Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva no estado do Amazonas. **Revista Ciências Agrárias**, v. 58, n. 3, p. 292-300, 2015.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Seleção de genótipos tradicionais e melhorados de feijão-caupi adaptados a região semi-árida piauiense**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2008.
- OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; DIAS, L. A. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; CRUZ, C. D. Factor analysis in the environment stratification for the evaluation of common bean cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 166-173, 2005.

- OLIVEIRA, A. P.; TAVARES SOBRINHO, J.; NASCIMENTO, J. T.; ALVES, A. U.; ALBUQUERQUE, I. C.; BRUNO, G. B. Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p.180-182, 2002.
- OLIVEIRA, M. R. T.; BORTOLUZZI, C. R.; BARACUHY, J. G. V.; DANTAS JÚNIOR, R. O agronegócio do feijão macassar verde: alternativas para o pequeno produtor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL, 3., 2001, Goiânia. **Anais**. Goiânia: ABAR, 2001. DAF1001.
- PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B., MOHAN RAJ, D. R., DASHIELL, K., JACKAI, L. E. N. (eds.). **Advances in Cowpea Research**. Copublication of International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Centre for Agricultural Sciences (JIRCAS), IITA, Ibadan, Nigeria. p. 1-12, 1997.
- PEKSEN, E.; PEKSEN, A. Evaluation of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) breeding lines for cultivar development. **Igdi University Journal of the Institute of Science & Technology**, v. 2, n. 4, p. 9-18, 2012.
- PEREIRA, S. H.; MELO, L. C.; PELOSO, M. J. D.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C. da; DIAZ, J. L. C. da; RAVA, C. A. WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p.374-383, 2009.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- RAIZER, A. J.; VENCOVSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 2241-2246, 1999.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522p.
- RAMOS, D. P.; ALVES, A. F.; FERREIRA, T. A.; FIDELIS, R. R.; NASCIMENTO, I. R. Avaliação de genótipos de feijão-caupi para a produção de grãos verdes em Gurupi, Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável**, v.10, p. 160-164, 2015.

RAMOS, H. M. M.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; NASCIMENTO, F. N. Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 683-694, 2014.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEN REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359 p.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 362 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; FREIRE FILHO, F. R.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Cultivares. In: BASTOS, E. A. (Ed.). Cultivo do Feijão-Caupi. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017a. Versão eletrônica. (Embrapa Meio-Norte. Sistema de produção, 2; Embrapa Amazônia Ocidental. Sistema de produção, 2; Embrapa Agrobiologia. Sistema de produção, 4).

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; MENEZES JÚNIOR, J. A. N; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F.; LIMA, J. M. P.; SANTOS, J. F.; BERTINI, C. H. C. M.; PASSOS, A. R.; MORAIS, O. M. Yield adaptability and stability of semi-erect cowpea genotypes in the Northeast region of Brazil by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 862-871, 2017b.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; MENEZES JÚNIOR, J. A. N; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F.; LIMA, J. M. P.; SANTOS, J. F.; BERTINI, C. H. C. M.; PASSOS, A. R.; MORAIS, O. M. Yield adaptability and stability of semi-prostrate cowpea genotypes in the Northeast region of Brazil by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 879-888, 2017c.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; MENEZES-JÚNIOR, J. A. N.; OLIVEIRA, I. J.; RODRIGUES, J. E. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; MARINHO, J. T. S.; CAVALCANTE, E. S.; VILARINHO, A. A.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; NASCIMENTO, I. R. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi semieretos na região norte do Brasil via procedimento REML/BLUP. In: CONAC –

CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2016, Sorriso – MT, **Resumos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016.

ROCHA, M. M.; ANDRADE, F. N.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. Q. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-Pi. **Revista Científica Rural**, v. 14, n. 1, p. 40-55, 2012.

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

ROCHA, M. M. O **feijão-caupi para consumo na forma de grãos frescos**. 2009a. Agrosoft Brasil. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/212374.htm>. Acesso em: 12 set. 2017.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. M.; VILARINHO, A. A.; GONÇALVES, J. R. P.; CAVALCANTE, E. S.; VIERA JÚNIOR, J. R. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado na região Norte do Brasil. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009e, Belém. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009b. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; RIBEIRO, V. Q. ;LOPES, A. M.; VILARINHO, A. A.; GONÇALVES, J. R. P.; CAVALCANTE, E. S.; VIERA JÚNIOR, J. R. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte ereto na região Norte do Brasil. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009d, Belém. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009c. 1 CD-ROM.

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

ROCHA, M. M.; RODRIGUES, E. V.; ANDRADE, F. N.; FREIRE FILHO, F. R.; OLIVEIRA, C. R. R. ; RIBEIRO, V. Q. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de vagens e grãos verdes em genótipos de feijão-caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., São Lourenço, 2007. **Anais...** São Lourenço: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2007b. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE, F. N.; GOMES, R. L. F. **Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 16 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 67).

RODRIGUES, E. V.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; V. Q. RIBEIRO; ASSUNÇÃO FILHO, J. R. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi para produção de feijão-verde em Teresina-PI. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 1 CD-ROM.

SALES, M. G.; RODRIGUES, M. A. C. Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do feijão-caupi. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. **O Feijão-caupi no Brasil**. Editora IITA/EMBRAPA – CNPAF, Brasília, p. 694-722, 1988.

SANTOS, A.; CECCON, G.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; ALVAREZ, R. C. F.; SILVA, J. F.; ALVES, V. B. Adaptability and stability of erect cowpea genotypes via REML/BLUP and GGE Biplot. **Bragantia**, v. 75, p. 299-306, 2016.

SANTOS, A.; CECCON, G.; RODRIGUES, E. V.; TEODORO, P. E.; MAKIMO, P. A.; ALVES, V. B.; SILVA, J. F.; CORRÊA, A. M.; ALVARES, R. C. F.; TORRES, F. E. Adaptability and stability of cowpea genotypes to Brazilian Midwest, **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 3901-3908, 2015.

SANTOS, G. A. **Interação genótipo x ambiente para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no Rio Grande do Sul**. 2012. 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

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



- SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P.; MENEZES, E. A. Comportamento produtivo de caupi em regimes de irrigado e de sequeiro em Petrolina e Juazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2229-2234, 2000.
- SARVAMANGALA, C.; UMA, M. S.; BIRADAR, S.; SALIMATH, P. M. Stability analysis for yield and yield components over seasons in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 1392-1395, 2010.
- SAS Institute Inc. 2010. SAS/STAT® 9.22 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SILVA, D. O. M.; SANTOS, C. A. F.; BOITEUX, L. S. Adaptability and stability parameters of total seed yield and protein content in cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes subjected to semi-arid conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1164-1169, 2016.
- SILVA, E. F.; BARROS-JÚNIOR, A.P.; SILVEIRA, L. M.; SANTANA, F. M. S.; SANTOS, M. G. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada-PE. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2013a.
- SILVA, R. R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.
- SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F.; VIEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE Biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 494-501, 2011.
- SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.
- SINGH, B. B.; CHAMBLISS, O. L.; SHARMA B. Recent advances in cowpea breeding. In: SINGH, B. B. et al. (Eds.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: IITA-JIRCAS. 1997, p. 30-49.
- SOUSA, M. B.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; LIMA, L. R. L. Genotype by environment interaction in cowpea lines using GGE Biplot method. **Revista Caatinga**, v. 31, n.1, p. 64-71, 2018.
- SOUSA, M. B.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; LIMA, L. R. L. Adaptability and yield stability of cowpea elite lines of semi-prostrate growth habit in the cerrado biome. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 832-839, 2017.

- SOUSA, M. B.; DAMASCENO-SILVA, K. J. ; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; LIMA, L. R. L. Genotype by environment interaction in cowpea lines using GGE biplot method. **Revista Caatinga**, v.31, n.1, p. 64-71, 2018.
- SOUSA, J. L. M.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NEVES, A. C.; SOUSA, R. R. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.
- SOUSA, J. L. M. **Seleção de genótipos de feijão-caupi em condições de sequeiro e irrigado para o mercado de vagens e grãos verdes**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.
- SOUZA C. L. C.; LOPES A. C. A.; GOMES R. L. F.; ROCHA M. M.; SILVA E. M. Variability and correlations in cowpea populations for green- grain production. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, p. 262- 269, 2007.
- TEÓFILO, E. M.; DUTRA, A. S.; PITIMBEIRA, J. B.; DIAS, F. T. C.; BARBOSA, F. S. Potencial fisiológico de sementes de feijão-caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 3, p. 443-448, 2008.
- TORRES FILHO, J.; OLIVEIRA, C. N. G. S.; SILVEIRA, L. M.; NUNES, G. H. S.; SILVA, A. J. R.; SILVA, M. F. N.; Genotype by enviroment interaction in green cowpea. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 687-697, 2017.
- TORRES F. E.; TEODORO, P. E.; RODRIGUES, E. V.; SANTOS, A.; CORREA, A. M.; CECCON, G. Simultaneous selection for cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes with adaptability and yield stability using mixed models. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2016.
- TORRES F. E.; TEODORO, P. E.; SAGRILO, E.; SANTOS, A.; CORREA, A. M.; CECCON, G. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 255-260, 2015.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the India Society of Agricultural Statistics**, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

- YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643-653, 2007.
- YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.
- YAN, W.; KANG, M. S. **GGE biplot analysis**: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Flórida: Boca Raton, 2003. 286p.
- YAN, W.; RAJCAN, I. Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science**, v. 42, p. 11–20, 2002.
- YAN, W.; CORNELIUS, P. L.; CROSSA, J.; HUNT, L. A. Two types of GGE Biplot for analyzing multienvironment trial data. **Crop Science**, v. 41, p. 656-663, 2001.
- YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v. 40, p. 597-605, 2000.
- YOUSAF, A.; SARWAR, G. Genotypic x environment interaction of cowpea genotypes. **International Journal of Environment Research**, v. 2, p. 125-132, 2008.
- ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 388-393, 1988.

## ANEXOS

**Anexo 1** - Rotina utilizada para realização das análises de adaptabilidade e estabilidade no ambiente R, da produtividade de grãos verdes de 16 genótipos avaliados em nove ambientes dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, no período de 2012 a 2017.

```
#lendo os dados e ajustando a estrutura do data frame
dir()
dados<-read.table("G:/conjunta.txt", h=T)
head(dados)
str(dados)
dados$AMB<-as.factor(dados$AMB)
dados$REP<-as.factor(dados$REP)
dados$TRAT<-as.factor(dados$TRAT)
str(dados)
summary(dados)
#anovas para trait
saidas<-list()
for(i in 4:ncol(dados)){
  saidas[[i]]<-anova(aov(dados[,i]~REP+AMB+TRAT+AMB:TRAT, data = dados))
}
saidas
#####
#preparando tabelas de dupla entrada - gxa
gge.p<-tapply(dados$peso, list(dados$TRAT, dados$AMB), mean)
#####
#analises GGE-Biplot
install.packages("GGEBiplotGUI")
library(GGEBiplotGUI)
#análise para produtividade de grãos verdes
GGEBiplot(gge.p)
#note que abra uma janela na barra inferior da janela com as opções do GGe-biplot
```