

**Universidade Federal do Piauí**

**Estabilidade e adaptabilidade fenotípica na seleção de variedades  
crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.)**

**Wilson Vitorino de Assunção Neto**

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

**Teresina  
2020**

**Wilson Vitorino de Assunção Neto**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Estabilidade e adaptabilidade fenotípica na seleção de variedades  
crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.)**

**Orientadora:**

Profa. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes

**Coorientador:**

Prof. Dr. Artur Mendes Medeiros

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

**Teresina**  
**2020**

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

**A851s** Assunção Neto, Wilson Vitorino de  
Seleção de variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.)  
para adaptabilidade e estabilidade fenotípica. / Wilson Vitorino de As-  
sunção Neto – 2020.  
62 f. : il.

Dissertação ( Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de  
Pós-graduação em Melhoramento genético, Teresina, 2020.  
Orientação: Profª. Drª. Ângela Celis de Almeida

1. *Phaseolus lunatus* L., 2. Interação genótipos x ambientes 3. Melho-  
ramento genético I. Título

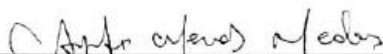
**CDD 635.651**

**Estabilidade e adaptabilidade fenotípica na seleção de variedades  
crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.)**

**Wilson Vitorino de Assunção Neto**

**Aprovada em 18/03/2020**

**Comissão Julgadora:**




---

**Prof. Dr. Artur Mendes Medeiros - CPCE/UFPI**



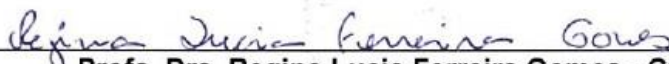
---

**Prof. Dr. Willame dos Santos Candido - CCA/UFPI**



---

**Prof. Dr. Leonardo Castelo Branco Carvalho - PNP/PPGM**



---

**Profa. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes - CCA/UFPI**  
**Orientadora**

A meus pais, Rutênio e Socorro por todo  
amor e carinho,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Genética e Melhoramento;

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

À minha querida orientadora Prof. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes por me acolher desde a graduação e me aconselhar nos momentos de dúvida, obrigado pelos conselhos de vida, acadêmicos, um verdadeiro exemplo a ser seguido, obrigado pela amizade, confiança, apoio e atenção, por sempre acreditar no meu potencial, me mostrando melhores caminhos, tanto para vida acadêmica como pessoal;

A todo o grupo do Laboratório RGMV, pelos bons momentos de estudo, descontração, alegria, apoio e ajuda principalmente do Petronílio Eduardo e ao Ediel Antunes que me ajudaram bastante durante a condução dos experimentos;

Ao Tiago Martins Silva, agricultor de São Domingos do Maranhão - MA, ao Professor Cleilton Ferreira do Instituto Federal do Ceará - IFCE e ao professor Artur Mendes da UFPI de Bom Jesus Campus Professora Cinobelina Elvas, por disponibilizarem a área e ajudar na implantação e coleta dos dados dos experimentos.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, e em especial, aos Profs. Dra. Verônica Brito e Dr. Raimundo Nonato Oliveira Silva, pela atenção e disponibilidade desde o início do curso;

Aos meus pais, Socorro Assunção e Rutênio Nogueira e meus irmãos, por sempre acreditarem no meu potencial, pela ajuda na escrita deste trabalho, pelos momentos de descontração e por todo amor e carinho que sempre tiveram comigo.

Às minhas amigas de coração Antônia Maria de Cássia Batista de Sousa e Luciana Andrea da Costa Soares, que tanto me ajudaram quando mais precisei principalmente nos problemas que surgiam antes e durante os experimentos, tornando os meus dias mais leves.

E aos meus amigos de vida João Victor Cavalcante, Luanna Cunha, Daniel Ramon, Marcones Costa, Yuri França, João Gabriel Silva, que sempre me apoiaram nessa jornada, acreditando no meu potencial e pelos momentos de descontração.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE ABREVIATURAS.....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 A cultura do feijão-fava .....	15
2.2 Variedades crioulas de feijão-fava .....	18
2.3 Interação genótipos x ambientes .....	19
2.4 Adaptabilidade e estabilidade .....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Material genético.....	25
3.2 Procedimentos experimentais.....	28
3.3 Análises estatístico-genéticas.....	30
3.3.1 Análise individual .....	30
3.3.2 Interação genótipo x ambiente.....	30
3.3.3 Adaptabilidade e estabilidade .....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Análises de variância individuais.....	33
4.2 Análise conjunta.....	42
4.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade produtiva .....	44
5. CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53

## RESUMO

ASSUNÇÃO NETO, W. V. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica na seleção de variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) 2020.** 61 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, 2020.

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) é a segunda espécie de maior importância socioeconômica do gênero sendo cultivada em muitos países tropicais, principalmente no Brasil, como fonte de proteína para as populações constituindo uma alternativa alimentar na forma de grãos verdes ou maduros e opção de renda para pequenos produtores. Assim, objetivou-se selecionar variedades crioulas de feijão-fava, a partir da avaliação da interação entre genótipos x ambientes e da análise da adaptabilidade e estabilidade, e possibilitando a recomendação de variedades adaptadas a regiões produtoras. Foram conduzidos quatro ensaios de avaliação utilizando o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com 14 variedades crioulas de feijão-fava, nos municípios de Teresina - PI, São Domingos do Maranhão – MA, Bom Jesus – PI e Tianguá – CE, nas quais foram mensurados oito caracteres morfoagronômicos. Para avaliar a interação genótipos x ambientes, realizou-se a análise conjunta para os caracteres avaliados nos quatro locais. Os dados de produtividade foram submetidos à análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método GGE biplot. O município de Teresina - PI é considerado como um ambiente discriminante e representativo para a seleção de genótipos adaptados. A variedade crioula Mulatinha (UFPI 1299) é ideal para Teresina - PI, a Boca de Moça CE (UFPI 1297) para São Domingos - MA e Tianguá – CE, enquanto que a variedade crioula Fava Branca MA (UFPI 1235) para Bom Jesus – PI. Estas variedades crioulas podem ser recomendadas se os desempenhos forem confirmados em avaliações posteriores.

**Palavras-chave:** GGE biplot, interação genótipos x ambientes, recomendação de cultivares.



## ABSTRACT

ASSUNÇÃO NETO, W. V. **Stability and adaptability phenotypic on selection of landrace varieties of fava beans (*Phaseolus lunatus* L.)** 2020. 61 p. Dissertation (Master in Genetics and Breeding) – Federal University of Piauí, Teresina, Piauí, 2020.

The fava beans (*Phaseolus lunatus* L.) are the second most important socioeconomic species of the genus being cultivated in several tropical countries, mainly in Brazil, as a source of protein for populations constituting a food alternative in the form of green or ripe grains and income option for small farmers. Thus, the objective was to select landrace varieties of fava beans, based on the evaluation of the interaction between genotypes x environments and the analysis of adaptability and stability, allowing the recommendation of varieties adapted to producing regions. Four evaluation tests were conducted with 14 landraces varieties of fava beans, in the cities of Teresina - PI, São Domingos do Maranhão - MA, Bom Jesus - PI and Tianguá – CE, in which eight morpho-agronomic characters were measured. To evaluate the genotype x environment interaction, a joint analysis was conducted for the characters assessed in the four locations. The productivity data were submitted to the adaptability and stability analysis by the GGE biplot method. The city of Teresina - PI is considered a discriminating and representative environment for the selection of adapted genotypes. The landrace variety Mulatinha (UFPI 1299) is ideal for Teresina - PI, Boca de Moça CE (UFPI 1297) for São Domingos - MA and Tianguá - CE, while the landrace variety Fava Branca MA (UFPI 1235) for Bom Jesus - PI. These landraces varieties can be recommended if the performances are confirmed in later assessments.

**Key words:** GGE *biplot*, interaction genotypes x environments, cultivar recommendation.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Evolução da produção de feijão-fava no Brasil, nos anos de 2012 a 2018. .... 18
- Figura 2. Locais de condução dos experimentos de avaliação das variedades crioulas de feijão-fava nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, na safra 2018/2019. .... 26
- Figura 3. GGE Biplot mega-ambiente (which-won-where) para a produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliadas em quatro ambientes da região Nordeste do Brasil, na safra agrícola 2018/2019. .... 45
- Figura 4. GGE Biplot “média x estabilidade” para a produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados em quatro ambientes da região Nordeste do Brasil, na safra agrícola 2018/2019. .... 47
- Figura 5. GGE Biplot para identificação do genótipo ideal em relação à produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados em quatro ambientes da região Nordeste do Brasil, nas safras agrícolas 2018/2019. .... 48
- Figura 6. GGE Biplot “discriminação e representatividade” dos quatro ambientes de teste da região Nordeste do Brasil, com base na produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados nas safras agrícolas 2018/2019. .... 50
- Figura 7. GGE Biplot “relação entre ambientes” dos quatro ambientes de teste da região Nordeste do Brasil, com base na produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados nas safras agrícolas 2018/2019.. .... 51

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Coordenadas geográficas e precipitação anual dos municípios de condução dos experimentos de avaliação das variedades crioulas de feijão-fava, nos estados do Ceará, Maranhão e Piauí, na safra 2018/2019. .... 26
- Tabela 2. Características químicas e físicas do solo, coletado a 20 cm de profundidade, nas áreas experimentais em Teresina – PI, São Domingos do Maranhão – MA e Tianguá – CE, 2019..... 31
- Tabela 3. Quadrados médios (QM) das análises de variância individuais, referente aos caracteres: número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava, nos municípios de Teresina – PI, São Domingos – MA, Bom Jesus – PI e Tianguá - CE na safra 2018/2019 ..... 35
- Tabela 4. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em Teresina - PI, na safra 2018/2019. .... 40
- Tabela 5. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em São Domingos - MA, na safra 2018/2019..... 39
- Tabela 6. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em Bom Jesus – PI, na safra 2018/2019. .... 40

Tabela 7. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em Tianguá - CE, na safra 2018/2019. .... 41

Tabela 8. Análise de variância conjunta dos caracteres: comprimento de vagem (CV), largura de vagem (LV), número de sementes por vagem (NSV), espessura de vagem (EV), peso de 100 grãos (P100G) e produtividade de grãos (PG) avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) em Teresina – PI, São Domingos – MA, Bom Jesus – PI e Tianguá – CE na safra 2018/2019. .... 44

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) também popularmente conhecido como fava, fava-belém, feijão-espadinho, feijão-de-lima ou fava-de-lima é a segunda espécie de maior importância socioeconômica do gênero (MAQUET et al., 1999; ORMEÑO-ORRILLO et al., 2015), cultivado em muitos países tropicais.

É uma cultura importante, por ser fonte de proteína para populações rurais da América do Sul e África (LIOI et al., 1998), está entre as principais culturas tradicionais no México (MARTÍNEZ-CASTILLO et al., 2008), e na Califórnia, ser cultivada em larga escala, com produção de grãos destinada a indústria de conservas e exportação, principalmente para o Japão (ANR PUBLICATION, 2015).

No Brasil, possui grande relevância, sendo alternativa alimentar na forma de grãos verdes ou maduros e opção de renda para pequenos produtores (SANTOS et al., 2008).

Segundo o IBGE (2019), em 2018 foram produzidos no Brasil, 11.828 t. de grãos secos de feijão-fava, numa área plantada de 37.209 hectares. Sendo o rendimento médio da produção (produtividade) de 328 kg.ha<sup>-1</sup>. A região Nordeste é a principal região produtora do país, com 11.113 toneladas de grãos produzidos em 36.919 há, com rendimento médio de 313 kg.ha<sup>-1</sup>. Os maiores produtores desta região são, em ordem decrescente, os estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, Alagoas e Sergipe.

A segunda maior região produtora é a região Centro-Oeste, com produção de 549 t., em 150 hectares de área plantada e rendimento médio da produção (produtividade) de 3660 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido da região Sudeste com produção de 63 t., em 130 hectares de área plantada e rendimento médio da produção de 568 kg.ha<sup>-1</sup>.

No Brasil, o produtor de feijão-fava cultiva apenas variedades tradicionais, crioulas ou raças locais, que não apresentam a uniformidade genética exigida pelo Registro Nacional de Cultivares (RNC). Por isto, o pequeno produtor precisa superar diversas dificuldades como a recusa de acesso ao seguro agrícola, pois o mesmo exige que as sementes utilizadas estejam cadastradas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o que só é possível para cultivares melhoradas

registradas no RNC, estando de acordo com as leis de produção e comercialização de sementes (Lei 10.711/03 e Lei 9.456/97) (CUNHA, 2013).

Diante disto, o Ministério de Desenvolvimento Agrário, por meio da Portaria nº 58, de 18 de julho de 2006, instituiu o regulamento para cadastro de sementes crioulas com as suas especificidades e padrões, que permite viabilizar a exploração do potencial genético e econômico das variedades, desde que sejam realizados ensaios de avaliação em diferentes ambientes, para os quais as variedades se destinam (CUNHA, 2013).

Contudo, poucos trabalhos têm sido realizados para determinação da produtividade de grãos do feijão-fava no Brasil (FREITAS et al., 2015; LOPES et al., 2017; SOARES, 2018; SOUSA, 2019). Além disso, são frequentes os problemas na mensuração dos dados da cultura em campo, devido a fatores bióticos e abióticos, que podem prejudicar a etapa de recomendação de cultivares nos programas de melhoramento.

A identificação de variedades crioulas de feijão-fava mais produtivas e adequadas ao cultivo e mercado da região, agrega valor à cultura, contribuindo para o seu desenvolvimento. Quando se deseja recomendar uma variedade, é necessário conhecer o seu desempenho diferencial frente às variações ambientais, denominado como interação genótipo x ambiente ( $G \times A$ ), que se constitui em um dos maiores problemas para os programas de melhoramento de qualquer espécie. Uma das alternativas para atenuar os efeitos da interação  $G \times A$ , é a recomendação de cultivares com base na adaptabilidade e estabilidade dos genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Diversos métodos foram propostos para estimar parâmetros de adaptabilidade e estabilidade em ensaios multiambientes, utilizando conceitos de modelos paramétricos univariados (EBERHART e RUSSELL, 1966), multivariados (ZOBEL et al. 1988;), mistos (RESENDE, 2004) e não paramétricos (LIN e BINNS, 1988).

Dentre as metodologias mais utilizadas, destaca-se o modelo GGE biplot, uma análise que agrupa os efeitos aditivos dos genótipos com os efeitos multiplicativos da interação e submete estes à análise de componentes principais. Assim como na metodologia AMMI, a interpretação dos resultados do GGE Biplot é facilitada pela visualização gráfica dos biplots, permitindo observar aspectos importantes, como por exemplo, a formação de mega-ambientes, os

genótipos e ambientes ideais, os ambientes mais representativos e discriminantes, além de facilitar a comparação dos genótipos avaliados (YAN, 2001).

Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi selecionar variedades crioulas de feijão-fava, a partir da avaliação da interação entre genótipos e ambientes e da análise da adaptabilidade e estabilidade e dar maior segurança ao pequeno produtor, pela recomendação de cultivares adaptadas às regiões produtoras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura do feijão-fava

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) é a segunda espécie mais cultivada do gênero *Phaseolus*, que inclui duas variedades botânicas: *P. lunatus* var. *silvestre* e *P. lunatus* var. *lunatus* (CAMACHO-PÉREZ et al., 2017). O gênero *Phaseolus* têm cerca de 8 a 10 milhões de anos, e se diversificou na Mesoamérica, onde a maioria das espécies se distribuíram. É incerto definir a idade de separação das espécies *P. lunatus* e *P. vulgaris*, mas estima-se que foi entre um e dois milhões de anos respectivamente (GEPTS et al., 2000, DELGADO-SALINAS et al., 2006, BEEBE & DEBOUCK, 2019). O feijão-fava possui elevada diversidade genética com um alto potencial de produção, se adaptando a diferentes condições ambientais, mas preferindo ambientes de trópicos úmidos e quentes (MAQUET et al., 1999).

O feijão-fava tem origem Neotropical, com pelo menos dois centros de domesticação: América Central e América do Sul. Esta classificação coincide com aquela em centros Mesoamericano e Andino, de acordo com dados morfológicos, de proteínas, ecológicos e moleculares (BRINK; BELAY, 2006).

O centro de domesticação Mesoamericano do feijão-fava está distribuído na região México-Guatemala, se estendendo a algumas ilhas do Caribe e em determinadas regiões no Panamá. Enquanto o grupo Andino se restringe às regiões dos Andes, que vai do norte do Peru até o Equador e em poucas regiões no Chile e na Bolívia (DEBOUCK et al., 1987; LIOI et al., 1998; FOFANA et al., 2001; SILVA et al., 2017).

O feijão-fava é uma cultura de ciclo anual, porte ereto, trepadora com caule fino e as vezes ramificadas, com folíolos ovalados, com base arredondada. Apresenta o hábito de crescimento determinado ou indeterminado. Suas flores podem ser lilás, brancas ou violetas (BEYRA e ARTILES, 2004), é considerada uma planta autógama, praticando autofecundação devido ser hermafrodita, mas com uma taxa de cruzamento relativamente alta (38,1%) pois seus estigmas e estiletos ficam expostos, sendo que o estigma é receptivo por muitas horas do dia, caracterizando um sistema de cruzamento misto (PENHA et al., 2016).



Segundo Zimmermann e Texeira (1996), algumas características importantes permitem identificar o feijão-fava, dentre eles estão: germinação epígenica, as folhas são geralmente mais escuras (mesmo após o amadurecimento das vagens) que em outras espécies do gênero; as bractéolas são pequenas e pontiagudas; suas vagens são bastantes comprimidas e de forma geralmente oblonga e recurvada, com duas alturas distintas (ventral e dorsal), e o número de sementes variando de duas a quatro por vagem.

As sementes variam em peso de 100 sementes em grande (> 60g), normal (40-50g), médio (30-40g) pequena (< 30g) e quanto à forma, as sementes são classificadas em esférica (1,16 a 1,42 mm), elíptica (1,43 a 1,65 mm) e oblonga/reniforme curta (1,66 a 1,85 mm). A classificação quanto ao perfil ocorre em função do índice H, com base na relação espessura/largura (E/L), em: achatada (menor que 0,69 mm), semi-achatada (0,70 a 0,79 mm) e cheia (>0,80 mm) (SANTOS et al., 2002).

Outra característica marcante do feijão-fava, distinguindo dos outros feijões, são as linhas que irradiam do hilo para a região dorsal das sementes, mas, em algumas variedades, essas linhas podem não ser tão facilmente observadas. As raízes desenvolvem-se mais rapidamente que as do feijão-comum e tendem a ser tuberosas (VIEIRA, 1992).

A maturação das plantas não é uniforme, o que resulta em várias colheitas durante o ciclo. A temperatura deve variar entre 24 e 30°C para uma ótima germinação. Temperaturas inferiores a 13°C retarda o crescimento e temperaturas noturnas elevadas acelera a maturação da planta e limita o número e o tamanho das sementes (SOARES et al., 2010).

A espécie se desenvolve melhor em solos areno-argilosos com boa fertilidade e bem drenados, tendo bom rendimento com pH entre 5,6 e 6,8. Geralmente, o espaçamento para o plantio de fava utilizado é de 0,5m e 1,0 m entre fileiras, para variedades determinadas e indeterminadas, respectivamente, e 0,5m entre plantas, com três a quatro sementes por cova, deixando duas plantas após o desbaste (GOMES e LOPES, 2006).

Na região Nordeste do Brasil, a cultura do feijão-fava possui papel relevante como alternativa de renda e fonte alimentar para a população, que consome seus grãos maduros ou verdes. Sua principal forma de cultivo é em regime de sequeiro, e com pouca tecnologia empregada por agricultores familiares. Contudo o cultivo do feijão-fava no Nordeste vem evoluindo com uso de novas tecnologias em áreas maiores, mas ainda ocorre de maneira rústica, em consórcio com outras culturas, como milho, mandioca ou mamona, as quais são usadas como suporte para o seu desenvolvimento vegetativo (LOPES et al., 2010).

Devido ao hábito de crescimento predominantemente indeterminado, a realização do plantio da cultura do feijão-fava necessita de tutor ou sistema de consorcio, fato esse que associado a outros fatores como déficit hídrico no solo, incertezas climáticas e variações pluviométricas entre os anos e locais de cultivo, determinam constantes oscilações da produção anual (BEYRA; ARTILES, 2004; GUIMARÃES, 2005; NETO et al., 2015).

O tutoramento no plantio do feijão-fava ocorre de duas formas: 89,5% dos agricultores plantam o feijão-fava somente com o milho; já 10,5% utilizam em uma mesma roça o milho, a mandioca e outras espécies arbóreas presentes sendo essa característica indicadora de sustentabilidade agrícola e de práticas voltadas para agricultura familiar, o que contribui para baixa produtividade, quando comparado à outras culturas (SOARES, 2018).

No ano de 2018 foram produzidas, no Brasil, 11.828 toneladas de grão de feijão-fava (Figura 1), em uma área de 37.209 hectares sendo os maiores produtores em ordem decrescente os Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, Alagoas e Sergipe, juntos fazem a região Nordeste a maior produtora, com uma área de 36.919 hectares e uma produção de 11.113 toneladas (IBGE, 2019).

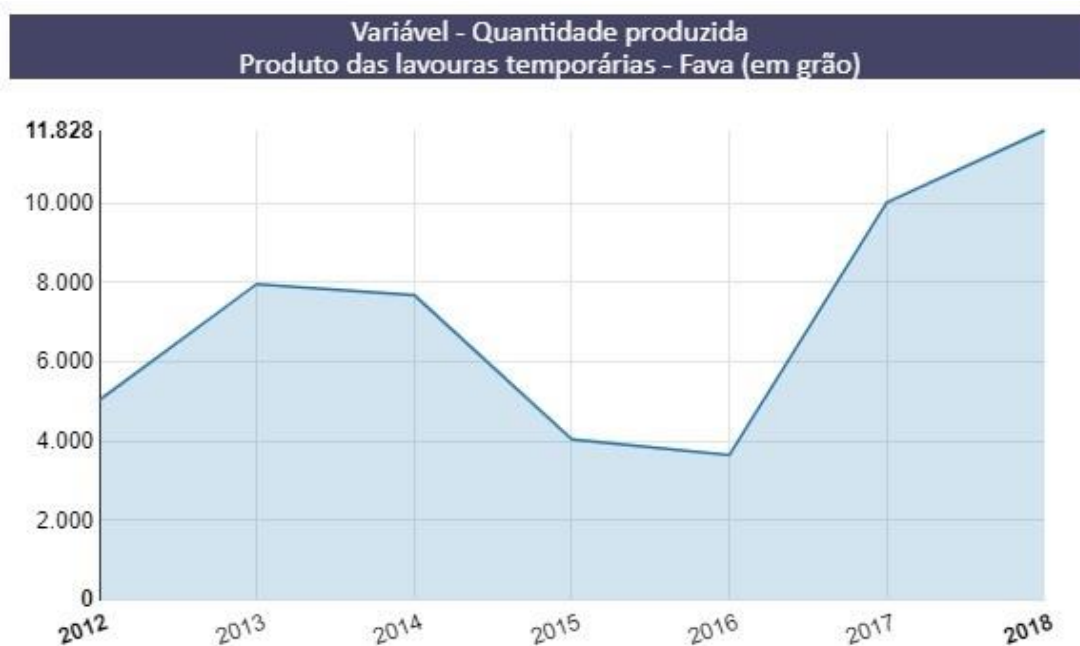


Figura 1. Evolução da produção de feijão-fava no Brasil, nos anos de 2012 a 2018.

A maior parte dos agricultores de feijão-fava, 100% dos casos utilizam o material cultivado para o consumo próprio, sendo que 68,42% além de utilizar para consumo, também destinam o excedente para fins comerciais, pelo produto ter um alto valor comercial. O preço médio do kg de feijão-fava varia de 4,00 a 20,00 reais, mas dependem principalmente do local de comercialização, do excedente da cultura no mercado, da forma de comercialização sendo o grão verde ou seco, entre outros aspectos como demanda do consumidor, época de comercialização (SOARES, 2018).

## **2.2 Variedades crioulas de feijão-fava**

No Brasil, o produtor de feijão-fava cultiva apenas variedades tradicionais, crioulas ou raças locais. Essas sementes crioulas, segundo a legislação brasileira, são aquelas conservadas, selecionadas e manejadas por agricultores familiares, quilombolas, indígenas e outros povos tradicionais e que, ao longo de milênios, vêm sendo permanentemente adaptadas às formas de manejo dessas populações e aos seus locais de cultivo, não apresentando a uniformidade genética exigida pelo Registro Nacional de Cultivares (RNC).

O pequeno produtor precisa superar diversas dificuldades como a recusa de acesso ao seguro agrícola, pois o mesmo exige que as sementes utilizadas estejam cadastradas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o que só é possível para cultivares melhoradas registradas no RNC (CUNHA, 2013).

Em variedades crioulas mantidas por muitos anos pelos agricultores, é notório a variabilidade das características dentro de uma mesma variedade, não havendo homogeneidade, mesmo em espécies autógamas. Como a uniformidade da variedade é exigência para registro no RNC e assim seja concedido todos benefícios das leis de produção e comercialização de sementes (Lei 10.711/03 e Lei 9.456/97), isso não é possível para a maioria das variedades crioulas em uso na agricultura familiar. Portanto, é de grande importância o regulamento e registro de sementes crioulas com as suas especificidades e padrões que atendam a critérios de produção e comercialização (LONDRES, 2006).

O Ministério de Desenvolvimento Agrário por meio da Portaria n° 58, de 18 de julho de 2006, institui um cadastro nacional de cultivares tradicionais, locais e crioulas, no Seguro da Agricultura Familiar-SEAF, responsáveis pelo levantamento de informações a partir do desenvolvimento de trabalhos, baseado em suas características básicas e região de adaptação.

A variedade desenvolvida, adaptada ou produzida por agricultores familiares, assentados da reforma agrária, povos e comunidades tradicionais ou indígenas; é preciso que tenha características fenotípicas bem determinadas e reconhecidas; esteja em utilização pelos agricultores há mais de três anos; não seja oriunda de manipulação por engenharia genética, não contenha transgenes e não envolva processos de hibridação que não estejam sob domínio de agricultores familiares (BRASIL, 2017).

As cultivares devem ser previamente avaliadas, antes de sua inscrição no RNC. Cultivares de algumas espécies devem ser, previamente, submetidas a ensaios para determinação do Valor de Cultivo e Uso – VCU, conforme requisitos estabelecidos para a cultura, ou ensaios de adaptação, quando não existem requisitos estabelecidos para avaliação do VCU (BRASIL, 2017).

Os ensaios de VCU devem obedecer aos critérios estabelecidos pelo MAPA e contemplar o planejamento e desenho estatístico que permitam a observação, a mensuração e a análise dos diferentes caracteres das distintas cultivares, assim como a avaliação do comportamento e qualidade das mesmas assim os ensaios de VCU são conduzidos em no mínimo dois anos agrícolas e em três locais de cultivo por região edafoclimática (MELO, 2009).

Os genótipos podem apresentar diferenças de comportamentos, devido as disparidades regionais, com isso, é possível observar a interação genótipo ambiente, e isso é essencial no momento da recomendação das cultivares e no programa de melhoramento genético (VIEIRA et al., 2005).

### **2.3 Interação genótipos x ambientes**

Para que ocorra a obtenção de variedades produtivas, com características desejáveis o resultado do processo de seleção em diferentes ambientes deve levar em consideração a assimetria em anos, locais ou os dois simultaneamente. Um genótipo frequentemente demonstra variação no seu desempenho produtivo quando é cultivado em diferentes ambientes. Essa variação é decorrente dos componentes genéticos e ambientais e da interação entre ambos, denominado interação genótipos x ambientes (G x A) (CONDÉ et al., 2010; BORNHOFEN et al., 2017).

Em diversas espécies tem sido feita a avaliação de cultivares em vários ambientes simultaneamente, verificando o seu comportamento diferencial em decorrência das variações ambientais. Esse comportamento é devido a interação  $G \times A$ , o que exige do melhorista estudo detalhado das cultivares, por meio da análise da estabilidade, adaptabilidade, e do ambiente. Procura-se nesses ambientes, padrões de similaridade de resposta dos cultivares, avaliando o grau de representatividade dos ensaios na faixa de adaptação da cultura (CRUZ, 2001).

A resposta relativa dos genótipos em relação à variação dos ambientes pode ser de dois tipos: previsível ou imprevisível. A previsível inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como as características gerais do clima, e do tipo de solo, e também as características do ambiente que variam de uma maneira sistemática, como o comprimento do dia, inclui também aspectos coordenados pelo homem: data de plantio, densidade, método de preparo do solo e colheita. A imprevisível inclui as várias flutuações variáveis do ambiente, como quantidade e distribuição de chuvas e variações na temperatura (ALLARD e BRADSHAW, 1964; CRUZ et al., 2014).

É necessário a realização de uma tabela de dupla entrada para que ocorra a detecção ou estimação da interação  $G \times A$  e os experimentos necessariamente devem envolver pelo menos duas cultivares em dois ambientes. Em seguida, é realizada a análise conjunta dos dados para verificar a significância da interação (RAMALHO et al., 2012)

Em função da tabela de dupla entrada, pode-se observar ausência de interação, interação simples e interação complexa. Logo, a existência da interação está associada a dois fatores, denominados simples e complexos. O primeiro relaciona-se à presença de variabilidade genética entre os genótipos nos ambientes avaliados e, o segundo, pela falta de correlação entre os genótipos. O fator complexo é o principal complicador dos trabalhos dos melhoristas, uma vez que os genótipos vão apresentar desempenho diferencial de acordo com o ambiente de avaliação, ou seja, há genótipos com melhor desempenho em um ambiente, mas não em outros, dificultando a recomendação e, ou, selecioná-los (CRUZ e CASTOLDI, 1991).

Existem três maneiras de se atenuar o efeito da interação: identificar e selecionar genótipos para cada ambiente específico, essa estratégia só é possível em certas circunstâncias, sendo dispendiosa e de difícil execução; a segunda implica a realização do zoneamento ecológico ou estratificação ambiental, que consiste na estratificação da região de adaptação da cultura em sub-regiões mais homogêneas, permitindo identificar se há, entre os ambientes disponíveis, padrões de similaridade de resposta das cultivares, assim a interação passa a ser não significativa. A principal desvantagem desse método é não conseguir controlar a interação genótipos x anos. A terceira opção e a mais utilizada, é a identificação de seleção de genótipos com maior adaptabilidade e estabilidade (RAMALHO et al., 2012).

#### **2.4 Adaptabilidade e estabilidade**

Com a existência da interação entre os genótipos e os ambientes, são necessárias avaliações contínuas, em redes de ensaios, a fim de determinar o comportamento agrônomico dos genótipos e sua adaptação às diferentes condições locais (PORTO et al., 2007). Para diminuir o efeito da interação GxA, a condução dos experimentos no maior número possível de locais e anos avaliando a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e a recomendação de cultivares e afim de tornar essa recomendação a mais segura possível, é necessário um estudo detalhado acerca da adaptabilidade e da estabilidade das cultivares, assim como de seus caracteres importantes economicamente (CRUZ, 2014).

Vários métodos estatísticos têm sido propostos e utilizados em aplicações e, a cada dia, novos procedimentos vêm sendo apresentados com o objetivo de se interpretar melhor a interação G x A. Estudos dessa natureza são importantes para o melhoramento de plantas, uma vez que fornecem informações sobre o comportamento de cada genótipo ante as variações do ambiente (JÚNIOR E SILVA; DUARTE, 2006).

Adaptabilidade é definida como a capacidade dos genótipos responderem de forma positiva as variações ambientais. Ao passo que a estabilidade se refere a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento previsível, mesmo com as variações do ambiente (CRUZ, REGAZZI E CARNEIRO, 2012).

As análises de adaptabilidade e estabilidade são, portanto, procedimentos estatísticos que permitem, de algum modo, identificar as cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais. Algumas dessas análises permitem, também, dividir os efeitos da interação  $G \times A$  em efeitos de genótipos e de ambientes, revelando a contribuição relativa de cada um para a interação total (ROCHA, 2002).

Existem inúmeras metodologias reportadas na literatura para o estudo de adaptabilidade e estabilidade em ensaios multiambientais. A escolha da metodologia adequada depende dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada pelo melhorista (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

No final dos anos 50 e início dos anos 60, destacava-se métodos que estimam a adaptabilidade e a estabilidade por meio dos componentes da análise de variância, entre eles o de Plaisted e Peterson (1959) e Wricke (1965), conhecido por Ecovalência. Outros métodos propostos foram baseados em equações de regressão linear simples, nos quais se compara o desempenho de um conjunto de variedades avaliadas em vários locais e anos em que, para cada variedade, foi obtida uma regressão de sua média em relação à média geral em cada local/ano, sendo o ambiente considerado como favorável ou desfavorável de acordo com a média geral nesse ambiente. Destaca-se as metodologias de Finlay e Wilkinson (1963), Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989).

As metodologias não paramétricas foram propostas nos casos em que os dados experimentais não atendessem aos pressupostos da análise de regressão. Dentre elas pode-se citar a de Nassar e Hühn (1987), Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992). Carneiro (1998) propôs uma modificação do método de Lin e Binns, decompondo o parâmetro de adaptabilidade em ambientes favoráveis e desfavoráveis, visando facilitar a recomendação de cultivares para ambientes específicos de cultivo.



A utilização das metodologias baseadas em métodos multivariados foi difundida com o advento das tecnologias computacionais sofisticadas e computadores com maior capacidade de processamento, tornando-se acessíveis com a disponibilidade de pacotes estatísticos. A análise de componentes principais (CP) é uma das bases para realização de análises de adaptabilidade e estabilidade. Entre os modelos frequentemente utilizados estão os de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa – AMMI e de efeitos principais de genótipos + efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes – GGE Biplot (CARVALHO et al., 2016).

A metodologia AMMI associa um modelo aditivo e multiplicativo para explicar a interação genótipo x ambientes, englobando a 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. Ela permite uma análise mais detalhada da interação G x A, propiciando, ainda, estimativas mais precisas das respostas genotípicas e fácil interpretação dos resultados por meio do gráfico biplot (ZOBEL, WRIGHT; GAUCH, 1988).

Um método que nos últimos anos vem sendo utilizado é o GGE Biplot, proposto por YAN et al. (2000), com modelo similar ao AMMI, cuja principal diferença é que o efeito do ambiente é corrigido, sendo composto pelos efeitos dos genótipos e da interação genótipo x ambiente. A análise agrupa os efeitos aditivos dos genótipos com os efeitos multiplicativos da interação e submete estes à análise de componentes principais.

Assim como na metodologia AMMI, a interpretação dos resultados do GGE Biplot é facilitada pela visualização gráfica dos biplots, permitindo observar aspectos importantes, como a formação de mega ambientes (grupo de ambientes com IGA com padrão semelhante, conseqüentemente com pouca mudança na classificação dos genótipos avaliados), os genótipos e ambientes ideais, os ambientes mais representativos e discriminantes, além de facilitar a comparação dos genótipos avaliados (YAN, 2001).

Nas culturas do gênero *Phaseolus*, diversos métodos têm sido utilizados para o estudo de adaptabilidade e estabilidade. Em feijoeiro comum (*P. vulgaris*) Para avaliar a adaptabilidade e estabilidade de 16 genótipos de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*), Pereira et al., (2009) avaliaram 16 genótipos, em quarenta e cinco ambientes dos estados da Região Central do Brasil (Goiás, Distrito

Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins) nos anos de 2003 e 2004, adotando seis métodos: Eberhart & Russell (1966), Lin & Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (original com decomposição de Pi), Lin & Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação), Cruz et al., (1989) e Annicchiarico (1992) e AMMI (Zobel et al., 1988). Concluíram que a cultivar BRS Estilo reúne alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos na Região Central do Brasil e a cultivar Pérola ainda é boa opção para plantio na Região Central do Brasil.

Utilizando a análise baseada em GGE Biplot e REML/BLUP, Santos et al., (2019) avaliaram trinta e dois (32) genótipos de feijão no ano agrícola de 2009, dos quais 17 foram do grupo 'Carioca' e 15 eram do grupo 'Preto', nas estações experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em quatro municípios: Araripina, Arcoverde, Caruaru e São João, concluíram que houve concordância entre os métodos na identificação do melhor genótipo de feijão comum. As cultivares de feijão carioca CNFC 11946 e CNFC 11966 apresentaram alta produtividade, boa adaptabilidade e estabilidade, e as cultivares de feijão preto selecionadas foram CNFP 11983, CNFP 11991 e CNFP 11995 com base nos resultados.

Na cultura do feijão-fava sobre adaptabilidade e estabilidade, Sousa (2020) comparou modelos de Regressão Linear Múltipla (RLM) e Redes Neurais Artificiais (RNAs) para predição de produtividade de grãos de variedades crioulas de feijão-fava, avaliando a adaptabilidade e estabilidade para recomendação da variedade com melhor desempenho, sendo conduzidos dois ensaios de avaliação com dez variedades crioulas de feijão-fava, nos municípios de Teresina - PI e São Domingos do Maranhão – MA. Com os resultados obtidos, concluiu que o método mais adequado para predição da produtividade de grãos foi a Rede Neural Artificial, do tipo perceptrons de múltiplas camadas, em comparação com à Regressão Linear Múltipla, as variedades crioulas Mulatinha (Marrom) e Fava Branca se destacaram em ambos os locais de avaliação, podendo ser recomendadas se esse desempenho for confirmado em avaliações posteriores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material Genético

O trabalho foi conduzido entre os meses de dezembro de 2018 e outubro de 2019, em quatro locais (Figura 2, Tabela 1): área experimental do Departamento de Fitotecnia, no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), no município de Teresina - PI; propriedade rural do município de São Domingos do Maranhão - MA; área experimental pertencente ao Instituto Federal do Ceará (IFCE), no município de Tianguá – CE e propriedade rural do município de Bom Jesus – PI.

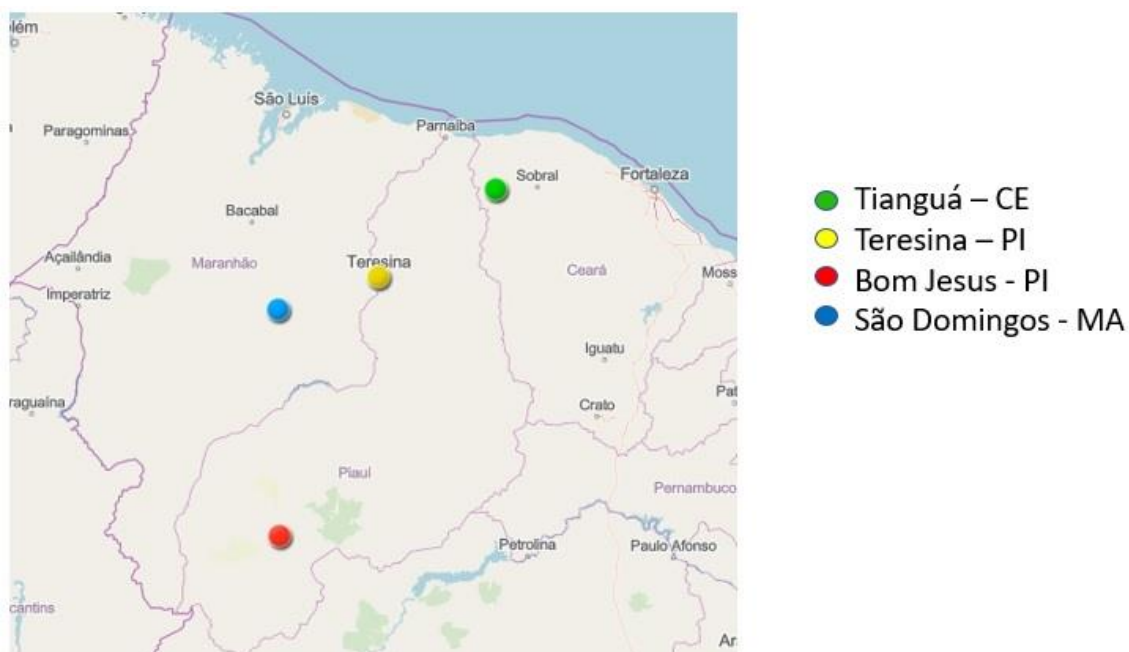


Figura 2. Locais de condução dos experimentos de avaliação das variedades crioulas de feijão-fava nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, na safra 2018/2019.

Tabela 1. Coordenadas geográficas e precipitação anual dos municípios de condução dos experimentos de avaliação das variedades crioulas de feijão-fava, nos estados do Ceará, Maranhão e Piauí, na safra 2018/2019.

Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Precipitação anual (mm)	Temperatura média
São Domingos - MA	05° 34' 33" S	44° 23' 07" O	191	1174	26,7°C
Bom Jesus - PI	09° 04' 28" S	44° 21' 31" O	277	1002	26,7°C
Teresina - PI	05° 05' 21" S	42° 48' 07" O	72	1349	27,6°C

Tianguá - CE    03° 43' 56" S    40° 59' 30" O    775    1258    22°C

---

O material genético constituiu de 14 variedades crioulas de feijão-fava (Quadro 1, Figura 3), cultivadas por pequenos agricultores nos estados: Paraíba, Ceará, Piauí e Maranhão, introduzidos no Banco Ativo de Germoplasma de *Phaseolus* da Universidade Federal do Piauí (BGP-UFPI), obtidas em coletas nas propriedades agrícolas dos produtores.

Quadro 1. Relação das variedades crioulas de feijão-fava avaliadas, classificadas de acordo com o código de entrada no Banco Ativo de Germoplasma, nome comum e município de procedência da coleta.

Código do BGP	Nome Vulgar	Procedência
UFPI 1246	Rajada	Balsas – MA
UFPI 1245	Branquinha	Balsas – MA
UFPI 1112	Branca	São Domingos – MA
UFPI 1266	Fava Branca	Araripi - CE
UFPI 1247	Chumbinho	Miguel Alves - MA
UFPI 1111	Fava Branca	São Domingos - MA
UFPI 1297	Boca de Moça	Varjota Assaré - CE
UFPI 1235	Fava Branca	Buriti Bravo – MA
UFPI 1299	Mulatinha	Bom Jesus – PI
UFPI 1248	Branca	Tianguá – CE
UFPI 1249	Fava branquinha	Tianguá – CE
UFPI 1250	Fava branca	São Benedito – CE
UFPI 1237	Fava mulatinha	Farias Brito - CE
UFPI 1294	Fava Raio de Sol	Cariaiaçu – CE

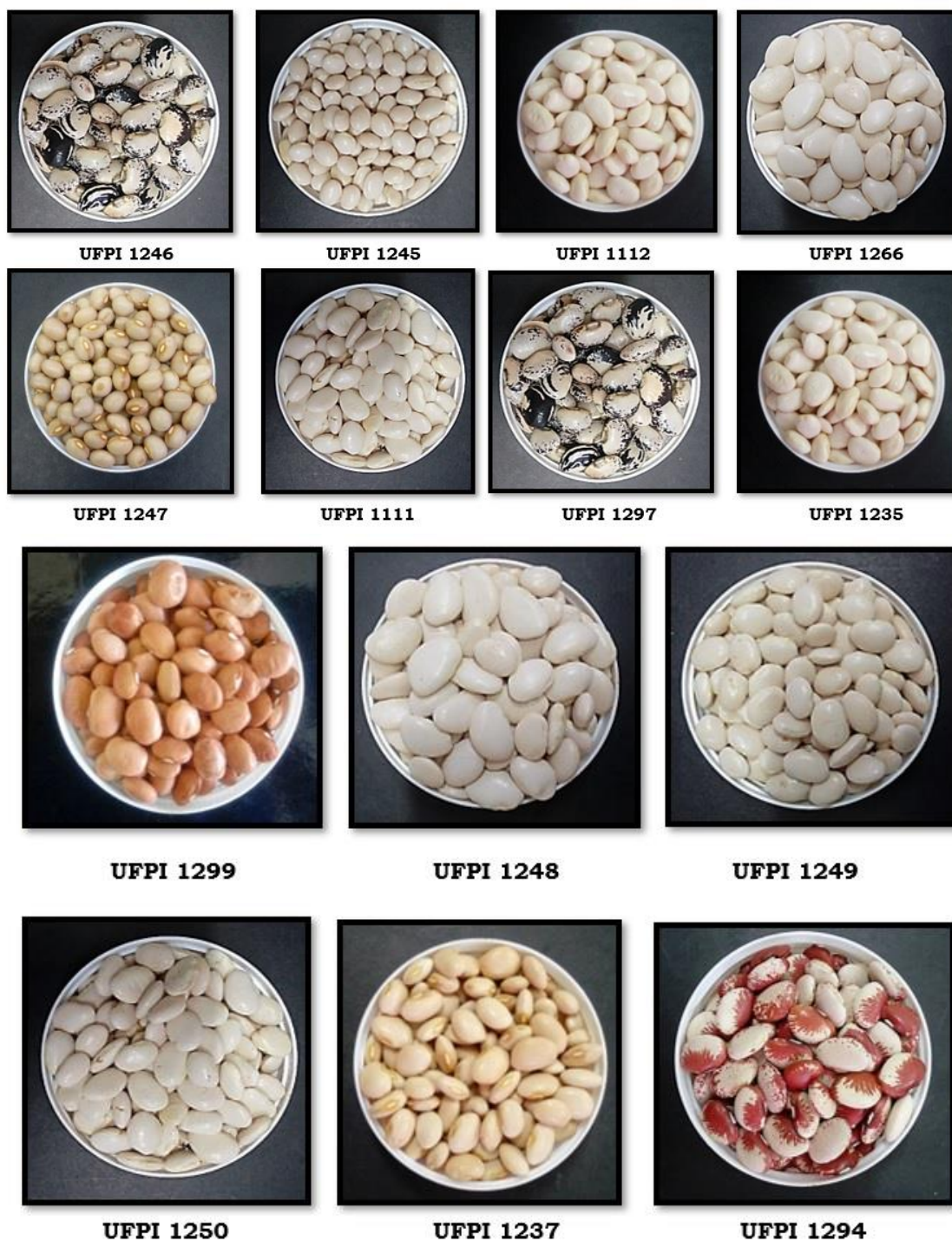


Figura 3 - Sementes das 14 variedades crioulas de feijão-fava avaliadas em municípios dos estados do Ceará, Maranhão e Piauí, na safra 2018/2019.

### 3.2 Procedimentos experimentais

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas constaram de quatro fileiras de 3,5 m, sendo considerada como área útil toda a parcela, pois como as plantas se enramam

umas às outras, não é possível a identificação das duas fileiras centrais. O espaçamento entre fileiras foi de 0,80 m, e entre plantas de 0,7 m.

No preparo do solo, realizou-se duas gradagens; para eliminação das plantas daninhas, aplicação de herbicida em pré-emergência e capinas manuais.

Aos três meses antes do plantio, realizou-se coleta de solo para análise e recomendação da adubação, na qual se utilizou ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, na formulação baseada nos resultados da análise físico-química do solo na camada de 0 – 20 cm (Tabela 2).

Tabela 2 Características químicas e físicas do solo, coletado a 20 cm de profundidade, nas áreas experimentais em Teresina – PI, São Domingos do Maranhão – MA e Tianguá – CE, 2019.

Característica química	Unidade	Teresina - PI		São Domingos - MA	
		Resultado	Classificação	Resultado	Classificação
pH em água	-	6,20	Acidez fraca	5,50	Acidez média
P	mg/dm <sup>3</sup>	10,20	Alto	2,83	Baixo
K+	mg/dm <sup>3</sup>	13,90	Baixo	19,50	Baixo
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	2,06	Baixo	4,90	Médio
Ca <sup>2+</sup>	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	1,75	Médio	1,70	Médio
Mg <sup>2+</sup>	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	1,00	Médio	0,40	Baixo
SB	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	2,80	Médio	2,15	Baixo
CTC	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	3,00	Médio	2,45	Baixo

Característica física	Unidade	Teresina - PI	São Domingos - MA
Areia	%	78	40
Silte	%	14	30
Argila	%	8	30
Classe textural		Arenosa	Média

Característica química	Unidade	Tianguá - CE	
		Resultado	Classificação
pH em água	-	4,90	Acidez elevada
P	mg/dm <sup>3</sup>	0,72	Baixo
K+	mg/dm <sup>3</sup>	13,10	Baixo
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	3,21	Baixo

Ca <sup>2+</sup>	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	1,21	Médio
Mg <sup>2+</sup>	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	0,50	Médio
SB	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	1,74	Médio
CTC	cmol(c)/dm <sub>3</sub>	4,95	Médio
Matéria orgânica	dag/kg	1,70	Médio
Característica física	Unidade	Tianguá - CE	
Areia	%	82	
Silte	%	5	
Argila	%	13	
Classe textural		Arenosa	

No plantio, foram utilizadas três sementes de feijão-fava e três sementes de milho, por cova, porque as variedades crioulas avaliadas apresentam hábito de crescimento indeterminado e foram cultivadas em consórcio com milho crioulo tardão, que serviu como tutor. As sementes de feijão-fava foram previamente tratadas com fungicida.

Foram avaliados oito caracteres em todos os experimentos, de acordo com os descritores para *Phaseolus lunatus* L. (IPGRI, 2001), sendo eles:

- Número de dias para início até floração (NDF) - número de dias desde a emergência até ao estágio em que 50% das plantas estão em floração;
- Número de dias até a maturação das vagens (NDM) - número de dias desde a emergência até que 50% das plantas tenham vagens maduras;
- Comprimento da vagem (CV) - média, em centímetros, do comprimento de 20 vagens maduras, ao acaso;
- Largura da vagem (LV) - média, em centímetros, da largura máxima de 20 vagens maduras, ao acaso;
- Espessura da vagem (EV) - média, em centímetros, da espessura máxima de 20 vagens maduras, ao acaso;
- Número de sementes por vagem (NSV) - número médio de sementes por vagem, aferido em 20 vagens maduras, ao acaso;

- Peso de 100 sementes (P100S) - refere-se ao peso de cem sementes amostrados aleatoriamente, expresso em gramas;
- Produtividade de grãos (PG) - refere-se ao peso total de grãos na área útil da parcela em gramas, transformados para  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Os caracteres comprimento de vagem, largura de vagem e espessura de vagem foram mensurados com paquímetro digital; e peso de 100 grãos com balança eletrônica digital.

### 3.3 Análises estatístico-genéticas

#### 3.3.1 Análise individual

Os caracteres avaliados em todos os ambientes estudados foram submetidos à análise de variância individual, adotando-se o seguinte modelo estatístico:

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

Em que,

$Y_{ij}$ : observação obtida na parcela com i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;

$\mu$ : 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.

Verificou-se a homogeneidade das variâncias pelo teste de Hartley F máximo, calculado pela razão entre o maior e menor quadrado médio residual (QMR). Sendo o valor encontrado inferior a sete, deve proceder-se com a análise de variância conjunta, a fim de verificar as significâncias dos efeitos de genótipo (G), ambientes (A) e da interação GxA (PIMENTEL GOMES, 2009).

#### 3.3.2 Interação genótipo x ambiente

A magnitude da interação G x A foi verificada por meio da produtividade de grãos visando a realização das análises de adaptabilidade e estabilidade. Para tanto, realizou-se a análise de variância conjunta entre os caracteres selecionados (comprimento de vagem, largura de vagem, espessura de vagem, número de grãos por vagem, peso de 100 sementes e produtividade),



mensurados em Teresina – PI, em São Domingos do Maranhão – MA, em Bom Jesus - PI e Tianguá – CE com base no modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_j + A_k + GA_{ik} + E_{ijk}$$

Em que:

$Y_{ijk}$  - desempenho esperado do genótipo  $i$  no bloco  $j$  no ambiente  $k$ ;

$\mu$  - média geral das observações;

$G_i$  - efeito principal do genótipo  $i$ ;

$B_j$  - efeito principal do bloco  $j$ ;

$A_k$  - efeito principal do ambiente  $k$ ;

$GA_{ik}$  - interação entre o genótipo  $i$  e o ambiente  $k$ .

$E_{ijk}$  - erro experimental médio.

Nas análises de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados, considerou-se apenas o caráter produtividade de grãos.

### 3.3.3 Adaptabilidade estabilidade

Para as análises de adaptabilidade e estabilidade foi utilizada a metodologia GGE biplot descrita abaixo. O modelo GGE biplot não separa os efeitos do genótipo e da interação  $G \times A$ , mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, visualizados na seguinte equação:

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

Em que,

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

$\mu$  - média geral das observações;

$\beta_j$  - efeito principal do ambiente  $j$ ;

$g_{i1}$  e  $g_{i2}$  - denominados escores principais e secundários dos componentes principais, CP1 e CP2, respectivamente;

$e_{i1}$  e  $e_{i2}$  - autovetores do genótipo  $i$  para CP1 e CP2, respectivamente;

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

Assim, a construção do gráfico no modelo GGE Biplot se dá por meio da dispersão simples de  $g_{i1}$  e  $g_{i2}$  para genótipos e  $e_{i1}$  e  $e_{i2}$  para ambientes, pela decomposição do valor singular, de acordo com a equação:

$$Y_{ij} - Y_j = \lambda_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + \lambda_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Em que,

$\lambda_1$  e  $\lambda_2$ : são os maiores autovalores do primeiro (CP1) e segundo (CP2) componentes principais, respectivamente;

$\varepsilon_{i1}$  e  $\varepsilon_{i2}$ : são os autovalores do genótipo  $i$  para CP1 e CP2, respectivamente

$\rho_{j1}$  e  $\rho_{j2}$ : são os autovalores do ambiente  $j$  para CP1 e CP2, respectivamente (YAN; RAJCAN, 2002; YAN; TINKER, 2006).

As análises de variância individuais e teste de ScottKnott (1974) foram realizadas utilizando o programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

As análises de variância conjunta e adaptabilidade e estabilidade foram realizadas com o auxílio do Ambiente Estatístico R (R Development Core Team, 2019) utilizando os pacotes: agricolae (MENDIBURU, F. 2016), mvnrmtest (JAREK S., 2015) e GGEBiplot (DUMBLE; GALINDO; BERNAL, 2017).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análises de variância individuais**

Pelas análises de variância univariadas (Tabela 4), verificou-se diferença significativa ao nível de 1 e 5% de probabilidade entre os genótipos para maioria dos caracteres, exceto para número de sementes por vagem (NSV) em Teresina - PI, São Domingos – MA, Bom Jesus – PI. No município de Tianguá – CE, as variedades crioulas não diferiram quanto aos caracteres número de dias para maturação (NDM), número de vagem (NV) e produtividade de grãos (PG) (Tabela 4). Isso indica variabilidade genética entre as variedades crioulas estudadas, podendo ser selecionadas aquelas com características desejáveis para o melhoramento genético.

Quanto a precisão experimental, foram obtidos baixos a médios coeficientes de variação para NDF, NDM, CV, LV e EV, com estimativas de 4,88% a 7,02%, em Teresina; de 3,90% a 9,66%, em São Domingos; de 6,12% a 8,79%, em Bom Jesus; e de 3,33% a 8,03%, em Tianguá, indicando boa precisão experimental. Os valores de CV destes caracteres encontram-se dentro do intervalo encontrado por Oliveira et al. (2009), ao estudar a precisão experimental em ensaios com feijão, sugerindo que se deve utilizar faixas de variações específicas de valores de CV para cada variável resposta. Os valores de CV de baixa magnitude neste experimento refletem a boa condução experimental, favorecida pela utilização do delineamento com quatro repetições, pois um adequado número de repetições possibilita diminuição do erro e aumento da precisão experimental.

Esses valores estão de acordo com resultados obtidos por Souza et al. (2019), que realizando estudos em Seropédica (RJ), com a cultura do feijão-fava, obteve resultados semelhantes para as características NDF, CV, LV, EV. As estimativas dos coeficientes de variação foram consideradas mais altas para NSV (6,25% a 12,73%), P100S (13,66% a 15,49%) e PG (17,01% a 31,9%).

Tabela 3. Quadrados médios (QM) das análises de variância individuais, referente aos caracteres: número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava, nos municípios de Teresina – PI, São Domingos – MA, Bom Jesus – PI e Tianguá - CE na safra 2018/2019.

Teresina – PI									
FV	GL	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Genótipo	13	271,60**	312,13**	199,90**	12,03**	1,35**	0,09 <sup>ns</sup>	332,09**	76.863,63**
Blocos	3	26,38	34,20	9,83	0,24	0,66	0,05	7,37	9.027,58
CV (%)		6,36	6,50	5,94	4,88	7,02	10,28	15,49	25,67
São Domingos – MA									
FV	GL	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Genótipo	13	570,96**	55,25*	299,96**	6,31**	3,13**	0,06 <sup>ns</sup>	301,87*	10.082,18**
Blocos	3	51,45	112,33	32,68	2,14	2,52	0,25	314,61	17.601,62
CV (%)		8,04	3,90	7,35	7,12	9,66	12,73	15,41	17,01
Bom Jesus - PI									
FV	GL	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Genótipo	13	-	-	186,89**	4,25**	1,38**	0,10 <sup>ns</sup>	196,23**	26.624,16**
Blocos	3	-	--	36,07	1,66	0,27	0,06	5,37	1.580,43
CV (%)		-	-	8,79	6,12	7,50	11,81	14,54	23,20
Tianguá - CE									
FV	GL	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV	P100S(g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Genótipo	13	88,07**	287,19 <sup>ns</sup>	244,96**	13,91**	2,25**	0,09**	299,37**	33.497,20 <sup>ns</sup>
Blocos	3	25,00	183,47	16,56	1,30	0,01	0,01	26,91	18.413,50
CV (%)		5,52	8,03	3,33	5,83	5,49	6,25	13,66	31,90

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

Com relação ao NDF (Tabela 5), no município de Teresina - PI, a variedade crioula mais precoce foi a Boca de Moça, florescendo em média 73 dias após a germinação. As variedades Branca CE, Fava Branquinha CE, Fava Branquinha MA e Fava Branca do CE foram as mais tardias, florescendo aos 94, 100, 100 e 101 dias, respectivamente. Em São Domingos do Maranhão – MA (Tabela 6), a variedade crioula mais precoce foi a Fava Branca CE florescendo em média 70 dias após a germinação. As variedades Fava Mulatinha CE, Chumbinho, Branca CE, F. Branquinha e Fava Branca CE foram as mais tardias, florescendo aos 95, 97, 102, 102 e 104 dias, respectivamente.

No município de Bom Jesus (Tabela 7) não foi possível determinar o número de dias para a floração e número de dias para maturação. Em Tianguá (Tabela 8), as variedades crioulas mais precoces foram a Boca de Moça e a Raio de Sol CE, florescendo em média 42 e 43 dias, respectivamente, após a germinação. As variedades Fava Branca e Fava Branquinha foram as mais tardias, com florescimento de 57 e 59 dias, respectivamente.

Sousa et al. (2015), avaliando condições edafoclimáticas ideais para realização de cruzamentos artificiais em feijão-fava, em Teresina - PI, observaram que o período para início de florescimento variou de 31 a 97 dias o que corrobora com os dados obtidos no presente trabalho. Este caráter é de extrema importância principalmente para as regiões mais secas do semiárido, pois devido à escassez e a irregularidade de chuvas, o pequeno produtor poderá se planejar utilizando a melhor época do plantio.

Quanto ao número de dias para maturação (NDM), foram observadas diferenças significativas entre as variedades, com variação em média de 122 a 155 dias em Teresina – PI (Tabela 5); 126 a 138 dias em São Domingos do Maranhão – MA (Tabela 6) e 139 a 168 dias em Tianguá – CE (Tabela 8). Essa variação no NDM dos dados obtidos no presente estudo é semelhante a estudos anteriores: Soares (2018), Gonçalves et al. (2019) e Sousa (2020), devido a condições edafoclimáticas semelhantes dos locais e aos valores de coeficiente de determinação genotípico ( $H^2$ ) (estimativa similar à herdabilidade) desse caráter ser alto (97,61%) no qual relatado por Silva (2015). Rezende et al. (2007) também ressaltam que ao semear genótipos com diferentes ciclos de maturação, o período de colheita poderá se estender e sementes de melhor qualidade poderão serem obtidas.

Com relação ao comprimento de vagem (CV), Raio de Sol apresentou vagens mais longas, em Teresina – PI (84,6 mm) (Tabela 5), São Domingos – MA (89,8 mm) (Tabela 6), Bom Jesus – PI (80,2 mm) (Tabela 7) e Tianguá – CE (87,9 mm) (Tabela 8), e Fava Branca CE também se destacou em São Domingos – MA (97,1 mm), Bom Jesus – PI (74,6 mm) e Tianguá – CE (90,3 mm). Considerando os quatro ambientes, as variedades com vagens mais curtas foram: Branquinha MA e Chumbinho. Silva e Neves (2011) constataram que este caráter é de suma importância pois vagens grandes são as mais desejáveis na colheita manual. Silva et al. (2019), avaliando componentes de produção em variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Agreste da Paraíba constatou que houve diferença significativa para o comprimento de vagem corroborando com os resultados encontrados para as variedades estudadas no presente trabalho.

Tabela 4. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em Teresina – PI na safra 2018/2019.

Teresina – PI								
Variedades crioulas	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Rajada MA	89,0 b	142,7 a	75,9 b	19,4 a	9,0 b	2,6 a	56,2 b	340,7 b
Branquinha MA	100,2 a	155,0 a	59,8 c	14,3 c	8,4 b	2,9 a	37,1 c	280,2 b
Branca MA	86,5 b	125,0 b	74,8 b	16,3 b	10,4 a	2,5 a	49,6 c	350,8 b
F. Branca CE	83,5 b	128,0 b	73,2 b	17,6 b	9,3 b	2,5 a	38,8 c	315,7 b
Chumbinho	89,0 b	133,7 b	63,7 c	15,4 c	8,9 b	2,5 a	44,4 c	319,6 b
F. Branca MA	88,0 b	135,0 b	65,0 c	15,1 c	9,0 b	2,5 a	39,0 c	269,7 b
Boca de Moça	73,2 d	130,0 b	72,4 b	19,7 a	9,3 b	2,5 a	69,2 a	489,8 b
F. Branca MA	84,2 b	128,2 b	76,3 b	17,0 b	10,0 a	2,5 a	50,3 c	317,0 b
Mulatinha	82,2 c	131,5 b	69,2 c	16,3 b	10,0 a	2,8 a	50,4 c	816,4 a
Branca CE	94,7 a	140,2 a	78,6 b	19,7 a	8,8 b	2,5 a	56,3 b	372,4 b
F. Branquinha	100,7 a	142,5 a	66,8 c	16,8 b	8,9 b	2,5 a	45,9 c	340,6 b
F. Branca CE	101,7 a	144,0 a	62,0 c	16,8 b	8,6 b	2,8 a	42,6 c	305,2 b
F. Mulatinha CE	90,0 b	132,5 b	66,4 c	15,7 c	9,5 a	2,7 a	45,3 c	311,4 b
F. Raio de Sol CE	80,7 c	122,7 b	84,6 a	18,4 a	9,7 a	2,7 a	60,5 b	361,7 b
Média geral	88,9	135,1	70,6	17,8	9,3	2,6	49,1	356,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste ScottKnot ( $P < 0,05$ ).

Tabela 5. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em São Domingos - MA, na safra 2018/2019.

São Domingos - MA								
Variedades crioulas	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Rajada MA	84,7 c	128,0 b	76,8 b	19,2 a	8,1 c	2,5 a	52,8 a	361,0 b
Branquinha MA	89,0 b	135,5 a	62,9 b	15,1 b	8,1 c	2,8 a	37,4 b	307,5 b
Branca MA	74,0 c	130,5 b	79,6 b	16,8 b	10,2 a	2,6 a	55,6 a	383,7 a
F. Branca CE	70,7 c	126,5 b	77,4 b	16,0 b	10,4 a	2,5 a	53,3 a	453,7 a
Chumbinho	97,0 a	134,0 a	70,0 b	15,6 b	9,2 b	2,7 a	51,9 a	348,2 b
F. Branca MA	86,7 b	134,5 a	71,7 b	15,9 b	7,9 c	2,9 a	43,4 b	312,3 b
Boca de Moça	77,7 c	133,0 a	76,7 b	18,2 a	9,1 b	2,5 a	67,3 a	437,8 a
F. Branca MA	73,2 c	126,5 b	72,4 b	16,0 b	9,5 b	2,6 a	56,0 a	360,0 b
Mulatinha	90,5 b	132,2 a	70,1 b	16,0 b	8,2 c	2,7 a	49,5 a	421,2 a
Branca CE	102,2 a	133,0 a	97,1 a	18,3 a	7,9 c	2,6 a	44,2 b	325,9 b
F. Branquinha	102,5 a	138,2 a	72,5 b	18,0 a	8,5 c	2,6 a	35,9 b	303,2 b
F. Branca CE	104,0 a	126,5 b	72,5 b	17,3 a	7,8 c	2,6 a	41,9 b	307,7 b
F. Mulatinha CE	95,7 a	133,0 a	70,7 b	17,5 a	7,9 c	2,7 a	44,5 b	333,2 b
F. Raio de Sol CE	73,2 c	134,5 a	89,8 a	18,1 a	9,0 b	2,8 a	58,1 a	384,4 a
Média geral	87,2	131,8	62,8	18,3	7,5	2,6	49,4	360,1

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste ScottKnot (P< 0,05).



Tabela 6. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em Bom Jesus - PI, na safra 2018/2019.

Bom Jesus - PI						
Variedades crioulas	CV (mm)	LV (mm)	EV (mm)	NSV (unid)	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Rajada MA	62,1 c	14,9 b	9,6 a	2,7 a	59,7 b	531,2 a
Branquinha MA	51,9 d	11,7 d	8,8 b	2,5 a	33,7 c	256,0 b
Branca MA	66,8 c	13,8 c	9,9 a	2,6 a	57,6 c	466,4 a
F. Branca CE	72,1 b	13,5c	10,6 a	2,7 a	58,9 c	426,6 a
Chumbinho	58,9 c	13,1 c	9,4 a	2,4 a	46,6 c	428,1 a
F. Branca MA	66,1 c	13,3 c	9,5 a	2,8 a	52,8 c	269,0 b
Boca de Moça	65,0 c	13,3 c	9,6 a	2,7 a	57,9 a	446,4 a
F. Branca MA	68,5 b	13,3 c	9,6 a	2,6 a	58,4 c	427,8 a
Mulatinha	63,0 c	14,4 b	8,9 b	2,4 a	43,1 c	318,4 b
Branca CE	74,6 a	16,8 a	7,7 c	2,2 a	46,9 b	357,6 b
F. Branquinha	60,3 c	13,8 c	9,1 b	2,4 a	48,8 c	434,2 a
F. Branca CE	69,0 b	15,0 b	9,1 b	2,5 a	52,1 c	491,0 a
F. Mulatinha CE	51,9 c	13,7 c	9,2 b	2,5 a	47,8 c	394,0 a
F. Raio de Sol CE	80,2 a	14,8 b	10,0 a	2,8 a	59,7 b	330,4 b
Média geral	65,7	14,0	9,3	2,5	51,7	398,4

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste ScottKnot (P< 0,05).

Tabela 7. Médias dos caracteres número de dias para início da floração (NDF), número de dias para maturação das vagens (NDM), comprimento da vagem (CV), largura da vagem (LV), espessura da vagem (EV), número de sementes por vagem (NSV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), em Tianguá - CE, na safra 2018/2019.

Tianguá - CE								
Variedades crioulas	NDF (dias)	NDM (dias)	CV (mm)	LV (mm b)	EV (mm)	NSV	P100S (g)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )
Rajada MA	51,5 b	139,0 b	82,5 b	20,7 a	10,6 c	2,9 a	68,1 a	510,9 a
Branquinha MA	52,0 b	166,0 a	63,2 f	13,6 b	10,4 c	3,2 a	41,5 c	352,1 a
Branca MA	49,7 c	149,2 b	77,1 c	16,9 b	11,4 a	3,0 a	60,2 b	394,5 a
F. Branca CE	47,5 c	162,5 a	77,1 c	16,1 b	11,4 a	2,9 a	55,8 b	443,5 a
Chumbinho	49,2 c	163,5 a	66,0 f	14,8 b	10,1 b	2,7 a	43,9 c	340,7 a
F. Branca MA	48,5 c	162,5 a	73,7 d	15,2 b	11,6 c	3,2 a	49,4 c	393,5 a
Boca de Moça	42,5 d	165,5 a	78,6 c	19,1 a	10,4 b	2,8 a	70,4 a	595,1 a
F. Branca MA	48,0 c	164,5 a	75,4 c	16,6 b	11,6 b	2,7 a	57,2 b	634,7 a
Mulatinha	46,7 c	164,0 a	69,5 e	16,0 b	11,5 c	2,9 a	49,8 c	503,7 a
Branca CE	53,5 b	168,5 a	90,3 a	19,7 a	11,4 c	2,9 a	59,9 b	593,4 a
F. Branquinha	59,0 a	167,0 a	68,0 e	17,0 a	10,5 c	2,8 a	47,6 c	405,9 a
F. Branca CE	57,5 a	163,5 a	70,2 e	17,4 a	11,8 c	2,8 a	48,8 c	376,2 a
F. Mulatinha CE	51,2 b	162,0 a	68,4 e	16,8 a	10,6 c	2,6 a	48,7 c	349,2 a
F. Raio de Sol CE	43,0 d	149,2 b	87,9 a	18,1 a	11, b8	2,9 a	60,0 b	455,0 a
Média geral	50,5	160,5	74,9	17,0	11,2	3,0	54,4	446,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste ScottKnot ( $P < 0,05$ ).

Para largura de vagem (LV), as médias variaram de 14,3 mm a 19,7 mm, e para espessura de vagem (EV), de 8,4 mm a 10,4 mm, em Teresina – PI (Tabela 5). Em São Domingos do Maranhão – MA (Tabela 6), as variedades apresentaram para LV, variação de 15,6 mm a 19,2 mm e para EV, de 7,8 mm a 10,4 mm. Em Bom Jesus (Tabela 7), as médias de LV variaram de 11,7 mm a 16,8 mm e para EV, de 7,7 mm a 10,6 mm e em Tianguá (Tabela 8) as médias de LV variaram de 13,6 mm a 20,7 mm e para EV, de 10,4 mm a 11,8 mm. Melo (2005), ao estudar 13 variedades de feijão-fava em diferentes condições de manejo no município de Sapé (PB), não constatou diferença significativa para a largura das vagens. De acordo com Dobert e Blevins (1993), o tamanho das sementes do feijão-fava é uma característica importante para o desenvolvimento fisiológico da cultura, pois plantas com sementes maiores e mais desenvolvidas caracteriza vagens mais largas e mais espessas, sendo que plantas desenvolvidas a partir de sementes maiores produziram mais nódulos nas raízes e matéria seca.

Com relação ao número de sementes por vagem (NSV), não houve diferença significativa nos quatro ambientes, diferindo dos resultados encontrados por Soares (2019), que ao avaliar 27 etnovarietades de feijão-fava no município de Rio Largo, AL constatou diferença significativa para esse caráter.

Quanto ao peso de 100 sementes, a variedade Boca de Moça se destacou com as maiores médias em Teresina (69,2 g) (Tabela 5), São Domingos (67,3 g) (Tabela 6), Bom Jesus (58,4 g) (Tabela 7) e em Tianguá (70,4 g) (Tabela 8). A variedade Rajada MA também merece destaque com médias 59,7 g em Bom Jesus e 68,1 g em Tianguá. Ambas variedades apresentam as vagens compridas, largas e com sementes grandes. A variedade com menor média para o peso de 100 sementes foi a Branquinha MA com 37,1 g em Teresina, 37,4 g em São Domingos, 33,7 g em Bom Jesus e 41,5 g em Tianguá. Ao avaliarem esse caráter em genótipos de feijão-fava no município de João Pessoa - PB, Barreiro Neto et al. (2015), encontraram variação de 40,07 g a 89,63 g.

Para a produtividade de grãos, observou-se variação de 269,7 kg.ha<sup>-1</sup> (Fava Branca MA) a 816,4 kg.ha<sup>-1</sup> (Mulatinha) em Teresina – PI (Tabela 5); de 303,2 kg.ha<sup>-1</sup> (Fava Branquinha) a 453,7 kg.ha<sup>-1</sup> (Fava Branca CE) em São

Domingos – MA (Tabela 6); de 256 kg.ha<sup>-1</sup> (Branquinha MA) a 531 kg.ha<sup>-1</sup> (Rajada MA) em Bom Jesus (Tabela 7) e de 340,7 kg.ha<sup>-1</sup> (Chumbinho) a 634,7 kg.ha<sup>-1</sup> (Fava Branca MA) em Tianguá (Tabela 8). A produtividade de grãos é decorrente de caracteres individuais de cada variedade, denominados componentes de produção, tais como: tamanho das sementes, número de sementes por vagem, número de vagens por planta, dentre outras. Tais rendimentos médios são semelhantes aos verificados para a região Nordeste do Brasil.

Em Teresina – PI, Sousa (2020) avaliou 10 variedades crioulas e observou variação entre 325,6 kg.ha<sup>-1</sup> a 1490,1 kg.ha<sup>-1</sup>. Em Tianguá - CE, Soares (2018) observou variação de 595,17 a 1615,46 kg.ha<sup>-1</sup>. Já Lopes et al. (2017), obtiveram menores produtividades (25,5 e 73,3 kg.ha<sup>-1</sup>) no Cariri - CE. Freitas et al. (2015), ao avaliarem variedades crioulas de feijão-fava destinadas a agricultura familiar, observaram variação entre 36,50 e 941 kg.ha<sup>-1</sup>, também em Teresina – PI. Em trabalho realizado por Silva (2015), avaliando o rendimento de 28 acessos de feijão-fava, verificou variação entre 920 a 2600 kg.ha<sup>-1</sup>, em Campos dos Goytacazes – RJ, e de 390 a 1230 kg.ha<sup>-1</sup>, em Bom Jesus - PI. Esses resultados indicam que a produtividade de grãos depende das diferentes condições edafoclimáticas das áreas cultivadas e da utilização de variedades crioulas com potenciais produtivos diferenciados.

### **4.3 Análise Conjunta**

O teste F foi significativo ( $p < 0,01$ ) para os caracteres avaliados: comprimento de vagem (CV), largura de vagem (LV), número de sementes por vagem (NSV), espessura de vagem (EV), peso de 100 sementes (P100S) e produtividade de grãos (PG) conforme análises conjuntas (Tabela 9). Logo, pode-se inferir que existe variabilidade genética para as características, possibilitando a seleção de variedades com desempenho superior. Verificou-se também, efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para a interação G x A para essas características (Tabela 9). Este resultado indica comportamento diferencial das variedades nos ambientes avaliados. A significância da interação G x A pode influenciar na seleção dos melhores genótipos, dificultando a recomendação de novas cultivares pelos melhoristas.

Tabela 8. Análise de variância conjunta dos caracteres: comprimento de vagem (CV), largura de vagem (LV), número de sementes por vagem (NSV), espessura de vagem (EV), peso de 100 grãos (P100G) e produtividade de grãos (PG) avaliados em 14 variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) em Teresina – PI, São Domingos – MA, Bom Jesus – PI e Tianguá – CE na safra 2018/2019.

FV	GL	CV (mm)		LV (mm)		NSV (unid)	
		QM	F	QM	F	QM	F
Genótipo (G)	13	0,1566	27,6093 <sup>***</sup>	33,290	33,9677 <sup>***</sup>	1,1003	2,005 <sup>*</sup>
Ambiente (A)	3	0,2121	37,3909 <sup>***</sup>	117,583	119,9778 <sup>***</sup>	7,5719	13,7675 <sup>***</sup>
G x A	39	0,0066	1,1799 <sup>ns</sup>	2,070	2,1121 <sup>***</sup>	0,5173	0,9405 <sup>ns</sup>
Resíduo	147	0,0056		0,980		0,5500	

<sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> = Significativo ao nível de 0,1%, 1 % e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

FV	GL	EV (mm)		P100G (g)		PG (kg.ha <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F
Genótipo (G)	13	0,8131	4,005 <sup>***</sup>	973,27	15,7576 <sup>***</sup>	3,7368	6,765 <sup>***</sup>
Ambiente (A)	3	9,9881	2,200 <sup>***</sup>	340,23	5,5084 <sup>**</sup>	7,3515	0,0001219 <sup>***</sup>
G x A	39	0,1830	0,000621 <sup>***</sup>	99,47	1,6105 <sup>*</sup>	2,2412	0,0002606 <sup>***</sup>
Resíduo	147	0,0856		61,77		0,6996	

<sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> = Significativo ao nível de 0,1%, 1 % e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para a realização da análise de adaptabilidade e estabilidade, foi considerado apenas a produtividade de grãos mensurada em Teresina – PI, em São Domingos – MA, em Bom Jesus – PI e em Tianguá – CE tendo em vista que na análise conjunta, foi verificada significância na interação dos genótipos x ambientes.

### 4.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade produtiva

A análise de adaptabilidade e estabilidade produtiva das 14 variedades crioulas avaliadas nos quatro ambientes, com base na metodologia GGE Biplot, gerou o gráfico GGE Biplot mega-ambientes (Figura 3), conhecido por “which-won-where” (quem vence onde).

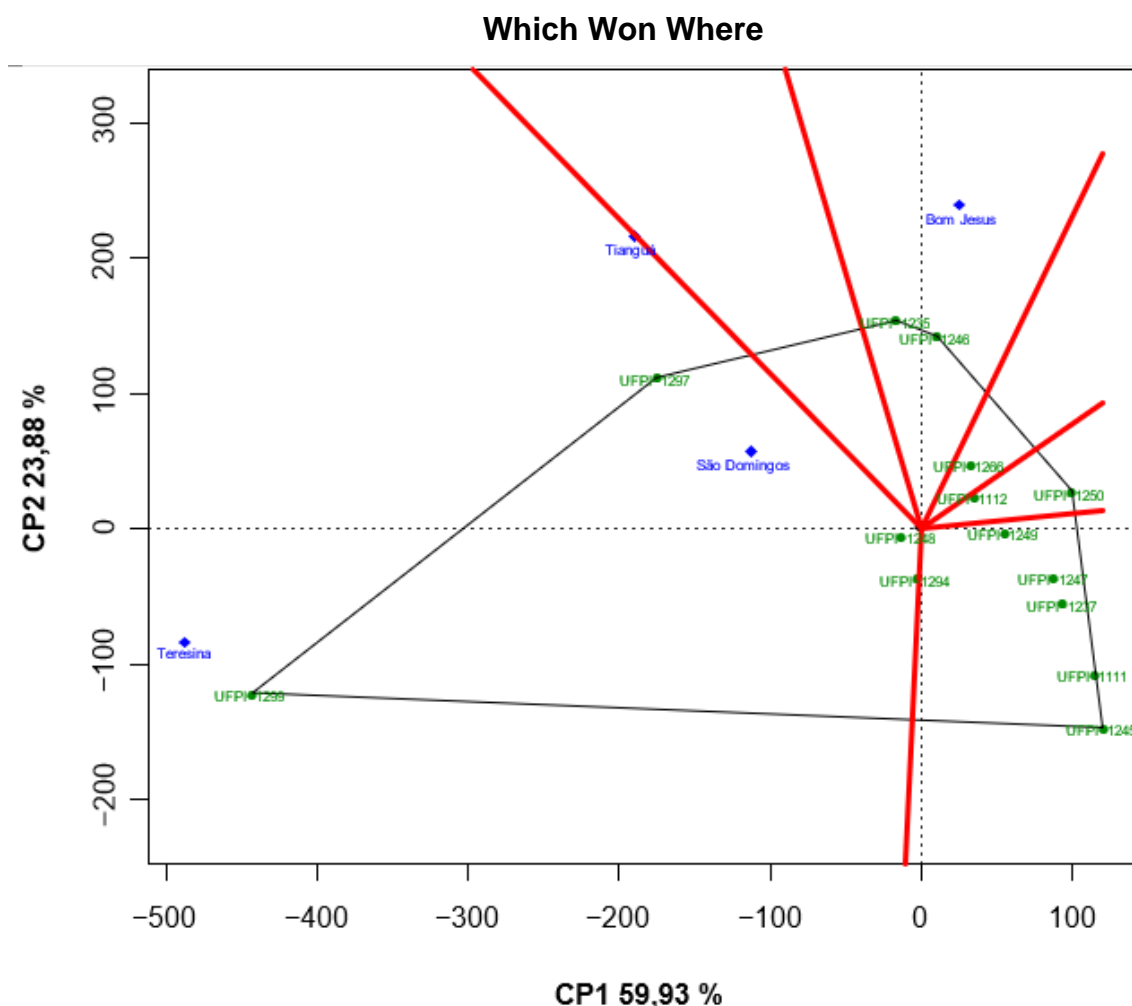


Figura 3. GGE Biplot mega-ambiente (which-won-where) para a produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliadas em quatro ambientes da região Nordeste do Brasil, na safra agrícola 2018/2019.

Mega-ambientes contêm um ou mais ambientes, portanto, os ambientes agrupados dentro desses espaços são considerados similares em relação aos efeitos ambientais sobre genótipos. Nos vértices do polígono ficam localizados

os genótipos mais distantes da origem do biplot e que apresentam o melhor desempenho em um ou mais ambientes (YAN; RAJCAN, 2002). Os vetores (linhas vermelhas) que partem do centro do biplot (0,0) delimitaram o gráfico em seis setores, o polígono foi delimitado pelas variedades UFPI 1299, UFPI 1297, UFPI 1235, UFPI 1246, UFPI 1250 e UFPI 1245, que correspondem as variedades presentes nos vértices.

A análise do gráfico indicou a existência de dois mega-ambientes: I) Teresina, São Domingos e Tianguá; II) Bom Jesus. Segundo Yan et al. (2000), um mega-ambiente pode ser definido como um grupo de ambientes ou sub-regiões correlacionadas positivamente, em que uma variedade ou um grupo de variedades são especificamente adaptadas e atingem melhor desempenho.

Para o mega-ambiente I, a variedade com melhor desempenho produtivo e mais adaptadas ao conjunto de ambientes foi a UFPI 1299. A variedade UFPI 1235, localizada no vértice do polígono, foi a mais produtiva e adaptada para todos os ambientes que compõem o mega-ambiente II. As variedades que estão localizadas em setores sem nenhum ambiente agrupado, apresentaram baixa produtividade, sendo, portanto, desfavoráveis em todos os ambientes teste.

Na seleção de variedades de feijão-fava realizada por Sousa (2019) na safra de 2017/2018, o GGE biplot agrupou dois ambientes (Teresina e São Domingos) em um mega-ambiente, sendo que a variedade UFPI 1299 (Mulatinha) apresentou o maior rendimento de grãos, corroborando com o resultado obtido no presente trabalho, sendo que de acordo com o cadastro nacional de cultivares tradicionais, locais e crioulas, a variedade deve mostrar uniformidade de pelo menos dois anos de existência legal e ter feito algum manejo agrícola, como é o caso desta variedade crioula.

De acordo com o gráfico “média x estabilidade” (Figura 4), a linha verde contínua com uma única seta, denominada “eixo do ambiente-média” (EAM), aponta para as variedades que apresentaram maior desempenho médio produtivo. A segunda linha verde contínua, perpendicular ao EAM, aponta para uma maior variabilidade (menor estabilidade) em qualquer direção, de modo que, quanto maior o comprimento da linha verde pontilhada, mais instável é o genótipo (YAN; TINKER, 2006). Além disso, ela permite a separação dos genótipos que estão abaixo ou acima da média.

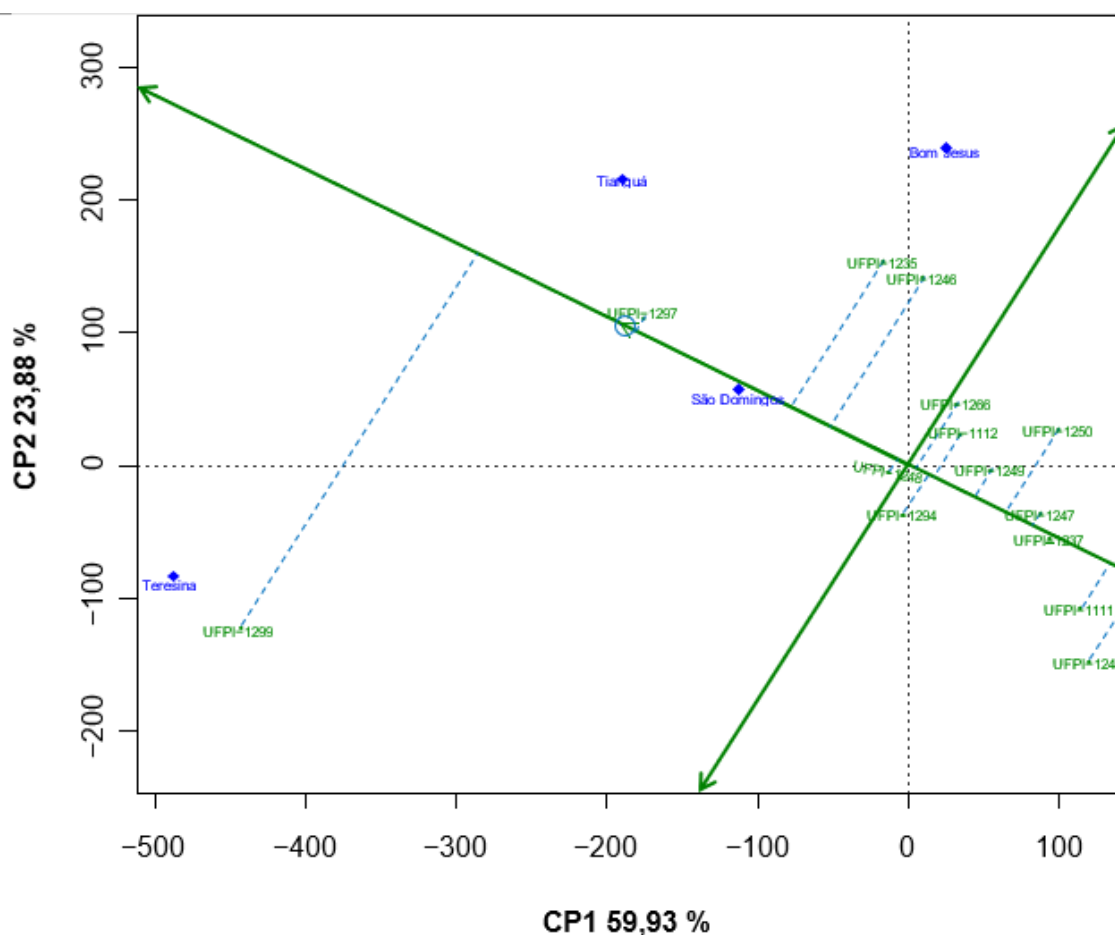


Figura 4. GGE Biplot “médica x estabilidade” para a produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados em quatro ambientes da região Nordeste do Brasil, na safra agrícola 2018/2019.

As variedades que apresentaram maior produtividade de grãos são, em ordem decrescente: UFPI 1299, UFPI 1297, UFPI 1235, UFPI 1246 e UFPI 1248. Em contrapartida, UFPI 1266, UFPI 1112, UFPI 1294, UFPI 1249, UFPI 1250, UFPI 1247, UFPI 1237, UFPI 1111 e UFPI 1245 foram as menos produtivas, com desempenho inferior à média. Destaca-se UFPI 1299 e UFPI 1245 como sendo a de melhor e pior rendimento, respectivamente, em relação à todas as variedades estudadas.

Com relação à estabilidade das 14 variabilidades de feijão-fava em estudo, UFPI 1237 foi a mais estável, enquanto UFPI 1299 apresentou-se como a menos estável. Apesar da maior estabilidade observada na UFPI 1237, o seu desempenho produtivo foi inferior à média. A Figura 4 ilustra um conceito importante em relação à estabilidade, em que o termo “estabilidade elevada” só tem sentido quando associada ao desempenho médio, pois o genótipo estável é



desejável apenas quando apresenta alta performance média (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011).

Com relação ao ranqueamento dos genótipos segundo Yan (2001), o genótipo deve apresentar tanto alta performance produtiva como alta estabilidade. As variedades que mais se aproximam do centro dos círculos concêntricos são os mais desejáveis. Pode-se observar que UFPI 1297 foi a variedade mais próxima do “ideal” dentre as avaliadas. (Figura 5).

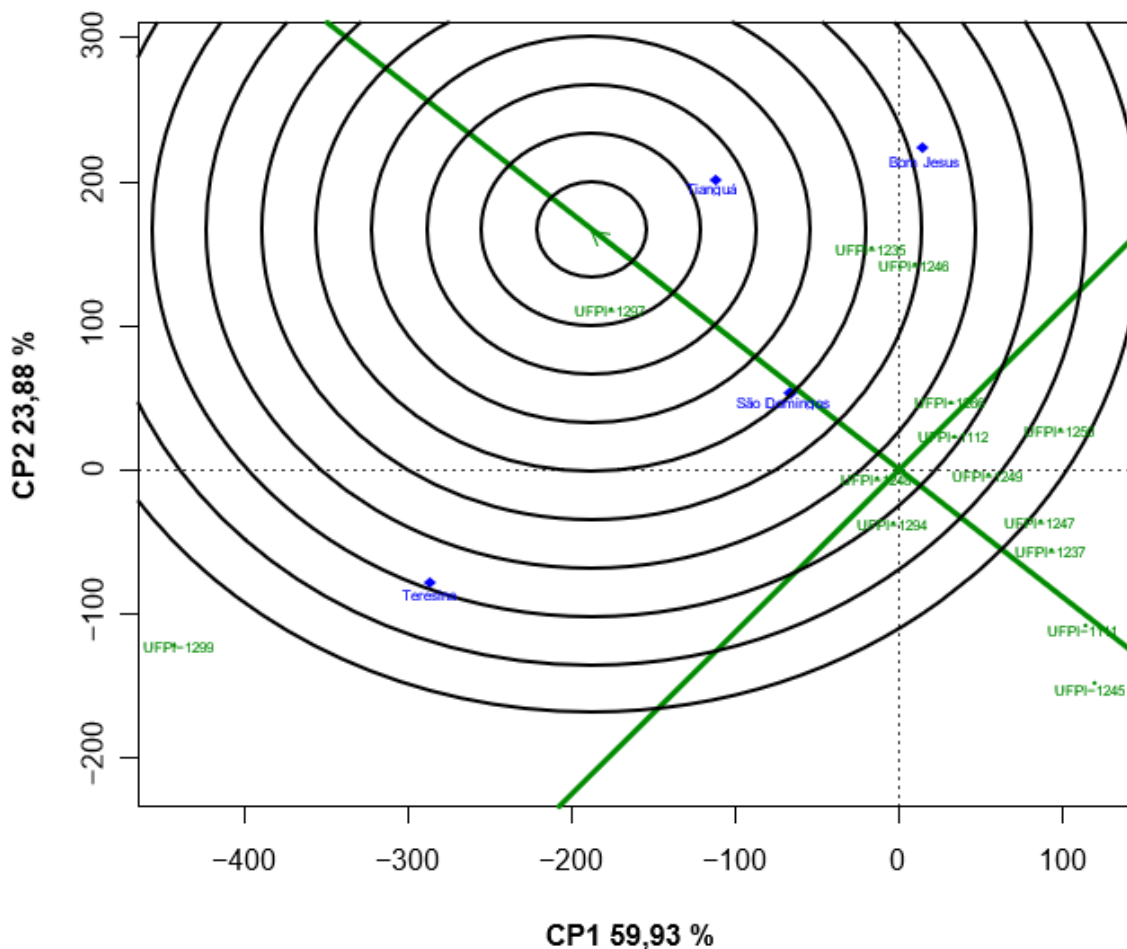


Figura 5. GGE Biplot para identificação do genótipo ideal em relação à produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados em quatro ambientes da região Nordeste do Brasil, nas safras agrícolas 2018/2019.

A variedade crioula UFPI 1299 teve rendimento médio superior, contudo não foi estável. Já as variedades UFPI 1235 e UFPI 1246 não apresentaram desempenho desejável (Figura 5). A UFPI 1248 teve desempenho estável,

porém não apresentou bom rendimento de grãos, o que reflete um desempenho relativo consistente, porém afastado do ideal.

No gráfico GGE Biplot “discriminação e representatividade” (Figura 6), os ambientes de teste ideais para identificação e seleção de genótipos superiores devem ser tanto discriminativos como representativos. Os ambientes que apresentam os vetores mais longos são os mais discriminativos, em contrapartida, aqueles que apresentam vetores mais curtos são menos discriminantes, fornecendo pouca ou nenhuma informação sobre os genótipos, podendo ser descartados como ambiente teste (YAN et al., 2007).

Um vetor curto também significa que o ambiente não é bem representado por CP1 e CP2 se o biplot não exibir adequadamente o padrão G + GE dos dados (HONGYU et al., 2015). No presente estudo, os ambientes: Teresina, Tianguá e Bom Jesus apresentaram vetores longos, demonstraram maior capacidade para discriminação em relação as variedades e o ambiente São Domingos apresentou

vetor mais curto demonstrando a menor capacidade para a discriminação das variedades (Figura 6).

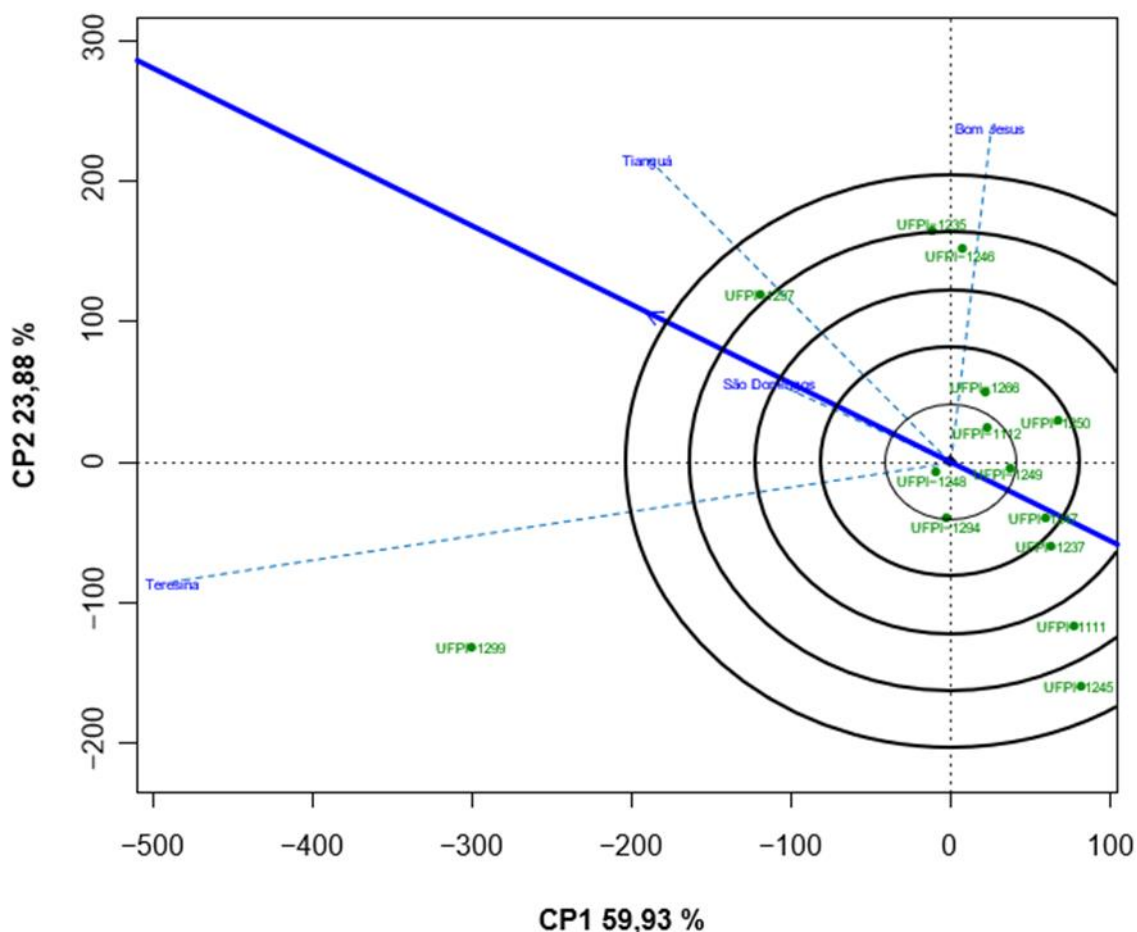


Figura 6. GGE Biplot “discriminação e representatividade” dos quatro ambientes de teste da região Nordeste do Brasil, com base na produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados nas safras agrícolas 2018/2019.

Os ambientes mais representativos são aqueles que formam um menor ângulo entre o seu vetor e o eixo do ambiente-média (linha azul contínua). Assim, os ambientes mais representativos são, em ordem São Domingos, Tianguá e Teresina e Bom Jesus. O ambiente Teresina é o mais próximo do ideal, pois apresenta alta discriminação aliada a boa representatividade.

Ambientes que apresentam alta discriminação e representatividade são bons ambientes de teste para selecionar genótipos geralmente adaptados, enquanto ambientes discriminantes, mas não representativos (por exemplo, Bom Jesus) podem ser utilizados para seleção de genótipos especificamente

adaptados em mega-ambientes ou para identificação de genótipos instáveis, se este ambiente for um único mega-ambiente (YAN; TINKER, 2006).

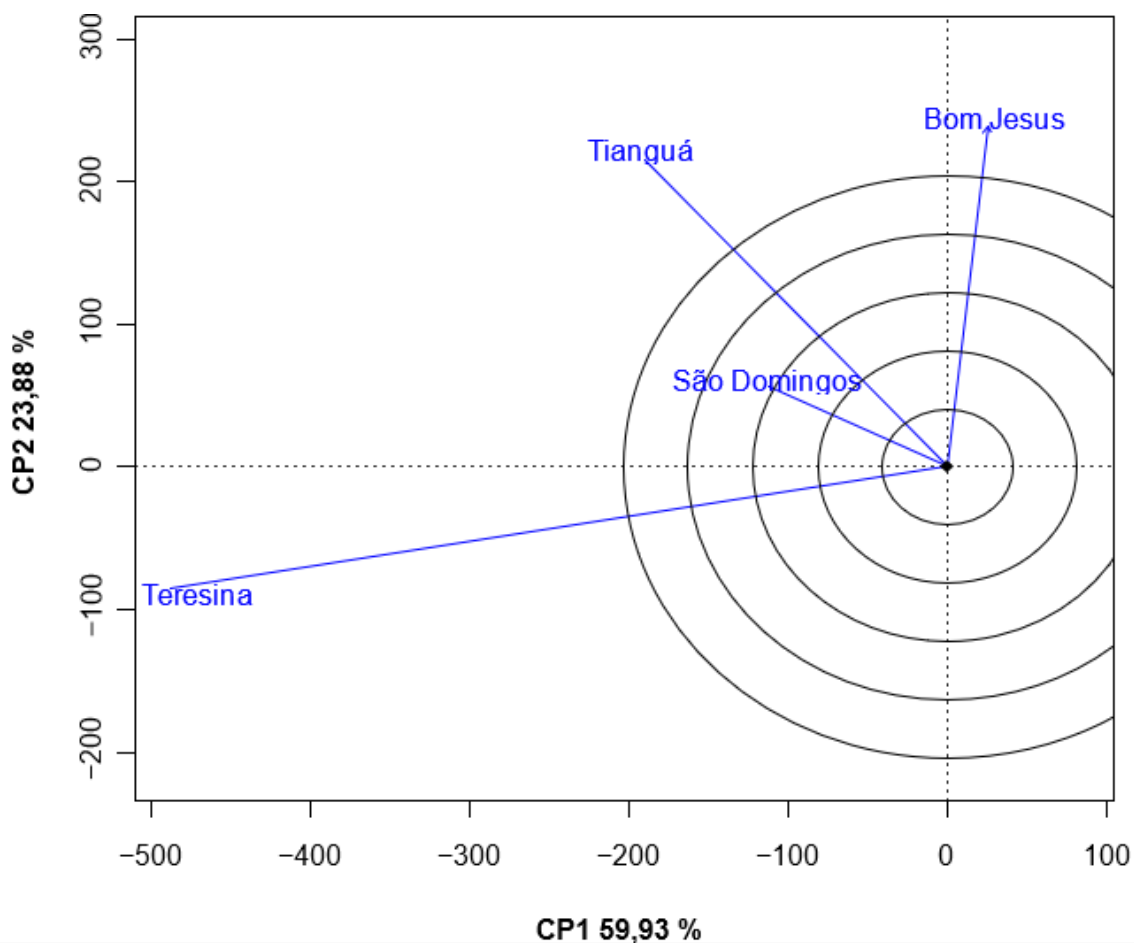


Figura 7. GGE Biplot “relação entre ambientes” dos quatro ambientes de teste da região Nordeste do Brasil, com base na produtividade de grãos de 14 variedades crioulas de feijão-fava, avaliados nas safras agrícolas 2018/2019.

A Figura 7 reforça que os ambientes de teste Teresina – PI, Tianguá - CE, Bom Jesus – PI são discriminantes e representativos, sendo ambientes de teste ideais, em ordem, para a seleção de genótipos amplamente adaptados a esses locais.

Para Hongyu et al. (2015), os ambientes de teste discriminantes, mas não representativos, são úteis para seleção de genótipos com adaptação específica, sendo Bom Jesus um exemplo de ambiente discriminante, mas não tão representativo como os demais.

Em estudos realizados por Ashango e Alamerew (2017) verificaram que o mesmo ambiente foi o mais representativo e mais discriminante, ao avaliarem 15 genótipos de feijão comum na Etiópia. Sousa (2020) no seu estudo avaliou 10

variedades crioulas em 2 ambientes, verificou que os ambientes de Teresina e São Domingos foram representativos e discriminantes sendo ideais para ambientes de testes corroborando com o presente estudo apenas o ambiente teste de Teresina.

#### **4. CONCLUSÕES**

A interação genótipos x ambientes foi significativa para o caráter produtividade das variedades avaliadas nos quatro ambientes, refletindo um diferencial dos genótipos de acordo com os ambientes estudados.

A metodologia GGE Biplot considerou as variedades UFPI 1299 (Mulatinha) ideal para Teresina, UFPI 1297 (Boca de Moça CE) para São Domingos e Tianguá, e UFPI 1235 (Fava Branca MA) para Bom Jesus, sendo a UFPI 1297 (Boca de Moça) a mais próxima do “genótipo hipotético ideal”.

O município de Teresina – PI foi o mais próximo do ideal, por ser discriminante e representativo para a realização de ensaios que visem a seleção de variedades de feijão-fava de alto desempenho.

A variedade Mulatinha (UFPI 1299) de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, está apta a ser registrada ao cadastro nacional de cultivares tradicionais, locais e crioulas.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v. 46, p. 269-278, 1992.
- ANR PUBLICATION. **Lima bean production in California – baby and large**: Relatório Técnico Califórnia: University of California, 2014. 24 p.
- ASHANGO, Z.; ALAMEREW, S. Seed Yield Stability and Genotype x Environment Interaction in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties in Dawro Zone, Southwestern Ethiopia. **Greener Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 5, n. 1, p. 1 - 12, 2017.
- BARREIRO NETO, M.; FAGUNDES, R. A. A. de.; BARBOSA, M. M.; ARRIEL, N. H. C.; FRANCO, C. F. O. de.; SANTOS, J. F. dos. Características morfológicas e produtivas em acessos de feijão-fava consorciados. **Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 9, n. 3, p. 23-27, 2015.
- BEEBE, Stephen E.; DEBOUCK, Daniel G. Common beans and lima beans in the northern Andes: evolutionary riddles and potential utility. 2019. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v.62, p. 22-31, 2019.
- BEYRA, A.; ARTILES, G. R. Revisión taxonômica de los gêneros *Phaseolus* y *Vigna* (Leguminosae – Papilionoideae) en Cuba. **Anales Del Jardín Botánico de Madrid**, v. 61, n. 2, p. 135-154, 2004.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; STORCK, L.; WOYANN, L. G.; DUARTE, T.; STOCO, M. G.; MARCHIORO, S. V. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2017.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Informações ao usuário**. Fevereiro, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/informacoes-ao-usuario>>. Acesso em: 06/09/2019.
- CAMACHO-PÉREZ, L.; MARTÍNEZ-CASTILLO, J.; MIJANGOS-CORTÉS, J. O.; FERRER-ORTEGA, M. M.; BAUDOIN, J. P.; ANDUEZA-NOH, R. H. Genetic structure of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces grown in the Mayan área. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 65, p. 229 – 241, 2017.
- CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 168 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CARVALHO, L. C. B; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, G. C. X. Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 12, p. 990-1000, 24 March, 2016.
- CONDÉ, A. B. T., COELHO, M. A. O., YAMANAKA, C. H. e CORTE, H. R. (2010). Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo sob cultivo de

sequeiro em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, 40, 45-52.

CRUZ, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271 – 276, 2013.

CRUZ, C. D. **Programa GENES - versão windows. Aplicativo computacional em Genética e Estatística**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2001. v. 1. 648 p.

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

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

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed., v. 2, Viçosa: UFV, 2014. 667p.

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.; TORRES, R. A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 567-580, 1989.

CUNHA, F. L.; **Sementes da Paixão e as Políticas Públicas de Distribuição de Sementes na Paraíba**. 2013. 185f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto De Florestas, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica, 2013.

DELGADO-SALINAS, A.; R. BIBLER, Y M. LAVIN. Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. **Systematic Botany**, v. 31, p. 779-791. 2006.

DOBERT, R. C.; BLEVINS, D. G. Effect of seed size and plant growth on nodulation and nodule development in lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Plant and Soil, The Hague**, v. 148, p. 11-19, 1993.

DUMBLE, S. FRUTOS, E.; GALINDO, M. P. 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, 2017.

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

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

FREITAS, V. S.; GONÇALVES, G. M. C.; SOUZA, A. M. C.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F. **Avaliação de variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) destinadas à agricultura familiar**. In: II Simpósio da

- Rede de Recursos Genéticos Vegetais do Nordeste, 2015, Fortaleza. II Simpósio da Rede de Recursos Genéticos Vegetais do Nordeste, 2015.
- GEPTS, P. et al. Wild legume diversity and domestication-insights from molecular methods. In: The Seventh Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), Japan, **International Workshop on Genetic Resources**, Ibaraki, Japan, 13-15 October, 1999: Part 1, wild legumes. National Institute of Agrobiological Resources (NIAR), p. 19-31. 2000.
- GOMES, R. L. F.; LOPES, A. C. A. **A cultura da fava**. Teresina - PI: Universidade Federal do Piauí, (Comunicado Técnico, 07). 2006. 2 p.
- GONÇALVES, G. M. C.; GONÇALVES, M. M. C.; MEDEIROS, A. M.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F. Dissimilaridades genética entre acessos de feijão-fava utilizando caracteres morfoagronômicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32 n. 4. 2019.
- GUIMARÃES, W. N. R. **Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-lima (*Phaseolus lunatus* L., Fabaceae) da coleção de germoplasma do Departamento de Agronomia da UFRPE**. 2005. 73p. Dissertação de Mestrado. Recife, PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- HONGYU, K.; SILVA, F. L.; OLIVEIRA, A. C. S.; SARTI, D. A.; ARAÚJO, L. A.; DIAS, C. T. S. Comparação entre os modelos AMMI e GGE biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 139-155, 2015.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados agregados: pesquisa: produção agrícola**. Piauí, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em 26 de outubro de 2019.
- IPGRI. Descritores para *Phaseolus lunatus* (Feijão espadinho). **International Plant Genetic Resources Institute**. Rome, 2001. 42 p.
- JAREK, S. Normality test for multivariate variables. **Generalization of shapiro-wilk test for multivariate variables**. Versão 0.1-9. 2015. <https://cran.r-project.org/web/packages/mvnormtest/mvnormtest.pdf>. Acesso em 20 de Dezembro de 2019.
- JÚNIOR E SILVA, W. C.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 23-30, jan. 2006.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, p. 193-198, 1988.
- LIOI, L.; LOTTI, C.; GALASSO I. Isozyme diversity, RFLP of the rDNA and phylogenetic affinities among cultivated Lima beans, *Phaseolus lunatus* L. (Fabaceae). **Plant Systematics and Evolution**. v. 213, p.153–164. 1998.
- LONDRES, Flavia. **A nova legislação de sementes e mudas no Brasil e seus impactos sobre a agricultura familiar**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www.redsemillas.info/wp-content/uploads/2007/02/legislacao-sementes-e-mudas\\_br.pdf](http://www.redsemillas.info/wp-content/uploads/2007/02/legislacao-sementes-e-mudas_br.pdf)> Acesso em: 05/11/2019.



LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; SILVA, R. N. O.; COSTA, E. M. R.; SOUSA, I. F. S.; SANTOS, J. O.; SOUSA, T. H. P.; SILVA, K. J. D.; Diversidade Genética. In: ARAÚJO, A. S. F.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F. (Org.). **A cultura do feijão-fava na Região Meio-Norte do Brasil**. 1. ed. Teresina - PI: EDUFPI, v.1, p. 45-72, 2010.

LOPES, N. S.; SILVA, F. E.; COSTA, M. N. F.; RODRIGUES, W. A. D.; CAMARA, F. T. Produtividade de fava e milho em função do sistema de consórcio em regime de sequeiro na região do Cariri-ce. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 4, n. 8; p. 220-227, 2017.

MAQUET, A.; VEKEMANS, X. Z.; BAUDOIN, J. P. Phylogenetic study on wild allies of lima bean, *Phaseolus lunatus* L. (Fabaceae), and implications on its origin. **Plant Systematics and Evolution**, v. 218, n. 1-2, p. 43-54, 1999.

MARTÍNEZ-CASTILLO, J.; COLUNGA-GARCÍAMARÍN, P.; ZIZUMBO VILLARREAL, D. Genetic erosion and in situ conservation of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces in its Mesoamerican diversity center. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.55, n.7, p.1065-1077, 2008.

MELO, L. J. V. **Morfofisiologia e rendimento de fava sob diferentes condições de manejo cultural**. 2005. 166f. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

MELO, L. C. **Procedimentos para condução de experimentos de valor de cultivo e uso em feijoeiro comum**. Documento 239. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, 104 p. Dezembro, 2009.

MENDIBURU, F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. **R package**. Versão 1.2-4. 2016. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. Acesso em 5 de Abril de 2018.

NASSAR R.; HÜHN, M. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. **Biometrics**, v. 43, p. 45-53, 1987.

NETO, M. B.; FAGUNDES, R. A. A.; BARBOSA, M. M.; ARRIEL, N. H. C.; FRANCO, C. F. O.; SANTOS, J. F.; **Características morfológicas e produtivas em acessos de feijão-fava consorciados**. Tecnologia & Ciência Agropecuária, João Pessoa, v. 9, n. 3, p. 23-27, jun. 2015.

OLIVEIRA, R. L. et al. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 113-119, 2009.

ORMEÑO-ORRILLO, E.; DÁVILA, D. Z.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. **Biodiversity of nitrogen-fixing nodule bacteria associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in its domestication centers**. In: ARAUJO, A. S. F.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F. *Phaseolus lunatus*: Diversity, Growth and Production. 1ª edição. Teresina: EDUFPI, 2015, cap. 6, p. 91-102.

PENHA, J. S.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; PINHEIRO, J. B.; ASSUNÇÃO FILHO, J. R.; SILVESTRE, E. A.; VIANA, J. P. G.; MARTÍNEZ-CASTILLO, J. Estimation of natural outcrossing rate and genetic diversity in Lima bean (*Phaseolus lunatus* L. var. *lunatus*) from Brazil using SSR markers:

- implications for conservation and breeding. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, p. 1355-1364, 2016.
- PEREIRA, H.S. et al. Adaptability and stability of common bean genotypes with carioca grain type for central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 44. 29-37. 2009.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451p.
- PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, v. 36, n. 2, p. 381-385, 1959.
- PORTO, W. S.; CARVALHO, C. G. P.; PINTO, R. J. B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 491-499, abr. 2007.
- R Core Team R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2019.
- 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.
- RESENDE, M. D. V.; THOMPSON, R. Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, Marília, v. 22, p. 1–22, 2004.
- REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. de A. Avaliação de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnológica**, v. 31, n. 06, p. 1616-1623, 2007.
- ROCHA, M.M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 184p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SANTOS, D.; CORLETT, F. M. F.; MENDES, J. E. M. F.; WANDERLEY JÚNIOR, J. S. A. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1407- 1412, 2002.
- SANTOS, J. O.; ARAUJO, A. S. F.; GOMES, R. L. F.; LOPES, A. C. A.; FIGEIREDO, M. V. B. Rhizobia- *Phaseolus lunatus* Symbiosis: Importance and Diversity in Tropical Soils A Review. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 2, p. 56-60, 2008.
- SANTOS, P. R.; OLIVEIRA, T. R. A.; SKEEN, P.; NASCIMENTO, M. R.; COSTA, K. D. S.; ARAUJO, E. R.; PEREIRA, H. P.; COSTA, A. F. GGE Biplot and REML/BLUP based-analysis of yield stability and adaptability for common beans in multi-environment trials. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.14, n.2, e5657, 2019.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. Raleigh, v.30, n.3, p.507-512, Sept. 1974.

- SILVA, S. I. A.; SOUZA, T.; SANTOS, D.; SOUZA, R. F. S. Avaliação dos componentes de produção em variedades crioulas de fava cultivadas no Agreste da Paraíba. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42(3), p. 731-742. 2019.
- SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, p. 29-36, 2011.
- SILVA, R. N. O.; **Estudos genéticos em feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) visando o melhoramento genético da cultura**. 2015. 86 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 2015.
- SOARES, C. A.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; GÂNDAR, F. C. Aspectos socioeconômicos. Capítulo 12, p. 235-245. In: LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAÚJO, A. S. F. (Eds.) **A cultura do feijão-fava no Meio Norte do Brasil**. Teresina - PI: EDUFPI, 2010.
- SOARES, L. A. C. **Conservação on farm e avaliação agrônômica de variedades crioulas de feijão-fava**. 2018. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí - UFPI, Piauí, 2018.
- SOARES, V. F. **Avaliação da resistência à antracnose em etnovarietades de *Phaseolus lunatus* L.** 2019. 132 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019.
- SOUZA, A. M. C. B. SILVA, V. B.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; CARVALHO, L. C. B. Prediction of grain yield, adaptability, and stability in landrace varieties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 20, n. 1, 2020.
- SOUZA, T. P., ABOUD, A. C. S., DIAS, A., SILVA, B. S. **Seleção de acessos promissores de feijão-fava na Baixada Fluminense, RJ, por meio de descritores morfoagronômicos**. *Magistra*, Cruz das Almas – BA, V. 30, p. 211 - 224, 2019.
- VIEIRA, R. F. A cultura do feijão-fava. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 174, p. 30 - 37, 1992.
- VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.
- WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei someerweizen und hafer. **Z. Pflanzenzuechtung**, v. 52, p. 127-138, 1965.
- 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. 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.; HUNT, L. A.; SHENG Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v. 40, p. 597- 605, 2000.

YAN, W.; KANG, M. S.; M. A. 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.

ZIMMERMANN, M. J. O; TEIXEIRA, M. G.; Origem e evolução. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. eds. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS). 1996.

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