

**Universidade Federal do Piauí**

**Seleção simultânea para produção, biofortificação e culinária em  
populações segregantes de feijão-caupi**

**Danieles Guimarães Oliveira**

**Teresina – PI**

**2014**

**Danieles Guimarães Oliveira**

Licenciada e Bacharela em Ciências Biológicas

**Seleção simultânea para produção, biofortificação e culinária em populações segregantes de feijão-caupi**

Orientador: Maurisrael de Moura Rocha

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

Teresina – PI

2014

# **Seleção simultânea para produção, biofortificação e culinária em populações segregantes de feijão-caupi**

**Danieles Guimarães Oliveira**

Aprovada em 25 de abril de 2014

Comissão julgadora:

Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento - Universidade Federal de Tocantins - UFT

Dr. Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira – Embrapa Meio Norte

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

*A Deus*

**OFERTEÇO**

*Aos meus pais, Izabel Guimarães Oliveira (In memorian) e*

*Pedro Marcelino de Oliveira, pelo amor e dedicação.*

*Aos meus familiares e amigos pelo carinho e incentivo.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo existir e força nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento (PPGM) pela oportunidade na realização deste curso e obtenção de novos conhecimentos.

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

À Embrapa Meio-Norte pela infraestrutura concedida e auxílio de pessoal para realização dos experimentos.

Ao orientador, Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pela orientação e auxílio na realização deste trabalho.

Aos professores do Mestrado em Genética e Melhoramento: Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra, Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, Dr<sup>a</sup> Regina Lucia Ferreira Gomes, Dr<sup>a</sup> Ângela Celis de Almeida Lopes e Dr<sup>a</sup> Ana Paula Peron por todos os ensinamentos e incentivo durante o Mestrado.

Ao Dr. Marcos Deon Vilela Resende, pesquisador da Embrapa Florestas e professor da Universidade Federal de Viçosa, pelo auxílio nas análises de índices de seleção.

Aos funcionários da Embrapa Meio-Norte (caupi): Manoel Gonçalves da Silva, Agripino Ferreira do Nascimento, Paulo Sérgio Monteiro, Antônio dos Reis França, Adão Cabral das Neves, Francisco Lima (Mirim) pela colaboração, auxílio e ensinamentos compartilhados durante a execução dos trabalhos.

Às “mulheres do caupi” pela imensa ajuda durante as atividades do mestrado, em especial, Francisca dos Santos Silva e Augustinha Rodrigues Santos.

Aos laboratoristas de bromatologia, Embrapa Meio-Norte, Antônio Carlos dos Santos e Msc. Luís José Duarte Franco pelos ensinamentos e auxílio nas análises nutricionais.

Aos estagiários da Embrapa (Caupi): Antonio Lima Braga, Mário Henrique Rodrigues Mendes Torres, Raylson Rodrigues de Sousa, Karla Annielle Bernardo da Silva pelo carinho, amizade e auxílio nas atividades em campo e de laboratório.

Às minhas “Marias”: Fabiana Veloso Sá, Msc. Massaine Bandeira e Sousa, Laíze Raphaelle Lemos Lima e Msc. Carolline de Jesús Pires pela amizade, carinho, companheirismo, incentivo e contribuições neste trabalho e na vida.

Aos amigos da Pós Graduação em Genética e Melhoramento (PPGM) e Núcleo de Estudos em Genética e Melhoramento (GEM) pelas horas de estudo e momentos compartilhados durante este percurso.

À minha família, em especial, meus pais, Pedro Marcelino de Oliveira e Izabel Guimarães Oliveira (*In memoriam*), pelo apoio, amor, incentivo e todos os ensinamentos partilhados.

Aos amigos pelo incentivo e apoio principalmente nos momentos mais difíceis.

A todos que, de alguma forma, estiveram presente nessa conquista.

*“Aprenda como se você fosse viver para sempre. Viva como se você fosse morrer amanhã.”*  
*(Mahatma Gandhi)*

*“Nosso caráter é o resultado da nossa conduta.”*  
*(Aristóteles)*

## SUMÁRIO

	<b>RESUMO</b>	9
	<b>ABSTRACT</b>	10
	<b>LISTA DE FIGURAS</b>	11
	<b>LISTA DE TABELAS</b>	12
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	16
2.1	Feijão-caupi	16
2.1.1	Classificação botânica e origem	16
2.1.2	Biologia da reprodução e melhoramento genético	17
2.1.3	Importância socioeconômica, nutricional e culinária	18
2.2	Biofortificação de produtos agrícolas	19
2.2.1	Biofortificação no Brasil	21
2.2.2	Biofortificação do feijão-caupi	22
2.3	Estimativas de parâmetros genéticos	23
2.3.1	Herdabilidade	24
2.3.2	Coeficiente de variação genético	25
2.3.3	Correlações entre caracteres	26
2.3.4	Ganho genético com a seleção simultânea de caracteres	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	30
3.1	Material genético	30
3.2	Caracterização da área experimental	32
3.3	Caracterização do experimento	32
3.4	Caracteres avaliados	32
3.4.1	Caracteres agronômicos	32
3.4.2	Caracteres nutricionais e culinário	33
3.4.2.1	Concentrações de ferro e zinco no grão	34
3.4.2.2	Concentração de proteína no grão	35
3.4.2.3	Tempo de cocção (cozimento)	35
3.5	Análises estatístico-genéticas	37
3.5.1	Análises de variância	37



3.5.2	Comparação de médias	37
3.5.3	Estimação de parâmetros genéticos	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>42</b>
4.1	Análises de variância	42
4.1.1	Caracteres agronômicos	42
4.1.2	Caracteres nutricionais e culinário	44
4.2	Comparação de médias	45
4.2.1	Caracteres agronômicos	45
4.2.2	Caracteres nutricionais e culinário	48
4.3	Estimativas de parâmetros genéticos	50
4.3.1	Caracteres agronômicos	50
4.3.2	Caracteres nutricionais e culinário	51
4.4	Correlações genóticas entre caracteres	52
4.5	Ganho genético esperado com a seleção simultânea de caracteres	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>71</b>

## RESUMO

OLIVEIRA, D. G. **Seleção simultânea para produção, biofortificação e culinária em populações segregantes de feijão-caupi**. 71f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

Este estudo objetivou selecionar simultaneamente caracteres de produção, biofortificação e culinário em populações segregantes de feijão-caupi por meio do ganho genético esperado via índices de seleção. Foram avaliados 11 genótipos de feijão-caupi em um experimento em blocos casualizados com quatro repetições para os caracteres agronômicos e culinário e três repetições para os caracteres nutricionais. Foram avaliados: número de dias para o início da floração, número de dias para a maturação, porte de planta, acamamento, valor de cultivo, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, peso de 100 grãos, índice de grãos, produtividade de grãos, tempo de cozimento, concentração de proteína, concentração de ferro e concentração de zinco. Foram realizadas análise de variância, comparação de médias e estimados parâmetros genéticos: coeficiente de variação genético, coeficiente de herdabilidade no sentido amplo, relação  $CV_g/CV_e$ , coeficiente de correlação genotípica entre caracteres e o ganho genético com a seleção simultânea por meio dos índices de seleção clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), multiplicativo de Subandi; Compton; Empig (1973) e de soma de *ranks* de Mulamba; Mock (1978). As análises de correlações genotípicas e de índices de seleção foram realizadas via modelos mistos pelo método REML/BLUP. Foram detectadas diferenças significativas entre genótipos ( $P < 0,01$ ) para todos os caracteres avaliados, exceto para as concentrações de ferro e zinco no grão. Para a maioria dos caracteres, os genitores BRS Xiquexique, IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3, destacaram-se com os melhores desempenhos. Os genótipos IT-97K-1042-3, F4C21, F4C13 e F4C31 destacaram-se para a concentração de proteína, com médias acima da média geral (26,14%). A produtividade de grãos e as concentrações de ferro e zinco no grão apresentaram, respectivamente, herdabilidades alta e baixa, sendo ambos, altamente influenciados pelo ambiente. A seleção indireta via componentes de produção pode levar a aumentos na produtividade de grãos. A seleção para precocidade e alta produtividade de grãos pode levar a ganhos negativos para a concentração de ferro no grão, enquanto que o aumento da produtividade pode levar a decréscimos na concentração de proteína no grão. A seleção para aumento da produtividade e índice de grãos pode levar a decréscimos nas concentrações de proteína e ferro no grão. A seleção para rápido tempo de cozimento do grão não influencia nos caracteres de produção e biofortificação, exceto no ciclo de maturação. A seleção para aumento das concentrações de proteína e ferro pode levar a acréscimos na concentração de zinco no grão. Os índices clássico e soma de *ranks* foram mais similares e os índices multiplicativo e soma de *ranks* mais divergentes, quanto ao ranqueamento dos ganhos esperados com a seleção simultânea de caracteres nas populações segregantes, porém, esses dois últimos apresentaram os maiores ganhos, destacando-se, respectivamente, as populações F4RC12 (31,25%) e F4C31 (15,69%). O índice soma de *ranks* apresenta-se como a melhor alternativa, entre as metodologias avaliadas, para a estimação dos ganhos genéticos esperados com a seleção simultânea de caracteres agronômicos, nutricionais e culinário, nas populações segregantes de feijão-caupi avaliadas.

Palavras chave: *Vigna unguiculata*, seleção, produtividade de grãos, concentração de nutrientes, cozimento.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, D. G. **Simultaneous selection for yield, biofortification and culinary in segregating cowpea populations.** 71f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

This study aimed to select simultaneously yield, biofortification and culinary traits in cowpea segregating populations by means of genetic gain expected through selection indices. Eleven genotypes were evaluated in an experiment in randomized block design with four replications for agronomic and culinary traits and three replicates for nutritional traits. It were evaluated: number of days to start flowering, number of days to maturity, plant type, lodging, cultivation value, pod length, number of seeds per pod, 100-grain weight, grain index, grain yield, cooking time, protein concentration, iron concentration, and zinc concentration. Analysis of variance and comparison of means were implemented and genetic parameters were performed: coefficient of genetic variation, heritability coefficient in the broad sense, relationship  $CV_g / CV_e$ , coefficient of genotypic correlation and genetic gain expected with the simultaneous selection through selection indexes classic of Smith (1936) and hazel (1943), multiplying of Subandi; Compton; Empig (1973), and the sum of ranks of Mulamba; Mock (1978). Analyses of genotypic correlations and indexes selection were performed through mixed models and REML / BLUP method. Significant differences between genotypes ( $P < 0.01$ ) for all traits were detected, except for iron and zinc concentrations in the grain. For most traits, the parents BRS Xiquexique, IT-98K-205-8 and IT-97K-1042-3 stood out with the best performances. IT-97K-1042-3, F4C<sub>21</sub>, F4C<sub>13</sub> and F4C<sub>31</sub> genotypes highlighted to protein concentration, with averages above the overall average (26.14 %). Grain yield and iron and zinc concentrations in the grain showed, respectively, high and low heritability, both being highly influenced by the environment. The indirect selection by yield components may lead to increases on grain yield. Selection for early maturity and high grain yield can lead to negative gains for the iron concentration in the grain, while the increase in yield can lead to decreases in the protein concentration in the grain. Selection for increase of yield and grain index can lead to decreases in protein and iron concentrations in the grain. Selection for fast cooking time does not influence the grain yield traits and biofortification, except on the maturation cycle. Selection for increase the protein and iron concentrations can lead to increases in zinc concentration in the grain. The classic index and sum of ranks were more similar and multiplicative indices and the sum of ranks more divergent, as to the ranking of expected with the simultaneous selection of traits in segregating populations gains, but these last two had the biggest gains, highlighting respectively the F4RC<sub>12</sub> populations (31.25%) and F4C<sub>31</sub> (15.69 %). The index sum of ranks is presented as the best alternative among the evaluated methodologies for the estimation of expected genetic gain with the simultaneous selection of agronomic, nutritional and culinary traits in evaluated cowpea segregating populations.

Key words: *Vigna unguiculata*, selection, grain yield, concentration of nutrients, cooking.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Sementes de: P<sub>1</sub> – BRS Xiquexique (esquerda); P<sub>2</sub> – IT-98K-205-8 (centro); P<sub>3</sub> – IT-97K-1042-3 (direta)..... 31
- Figura 2 - Semente das populações na geração F<sub>4</sub>: 1 – F<sub>4</sub>C<sub>12</sub>, cruzamento P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>; 2 - F<sub>4</sub>C<sub>21</sub>, cruzamento P<sub>2</sub> x P<sub>1</sub>; 3 - F<sub>4</sub>C<sub>13</sub>, cruzamento P<sub>1</sub> x P<sub>3</sub>; 4 - F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>, cruzamento P<sub>3</sub> x P<sub>1</sub>; e os retrocruzamentos: 5 - F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub>; 6 - F<sub>4</sub>RC<sub>21</sub>; 7 - F<sub>4</sub>RC<sub>13</sub>; 8 - F<sub>4</sub>RC<sub>31</sub>..... 31
- Figura 3 - Etapas do preparo das amostras para avaliação das características nutricionais de genótipos de feijão-caupi: 1 - Dessecador; 2 – Moinho de bolas de zircônio; 3 - Bolas de zircônio; 4 - Amostras moídas..... 34
- Figura 4 - Análise de proteína de genótipos de feijão-caupi: 1 - Destilação de nitrogênio da farinha obtida dos grãos; 2 – Amostra em bloco aquecedor após digestão; 3 - Amostra após a destilação..... 36
- Figura 5 - Avaliação do tempo de cocção de genótipos de feijão-caupi em Cozedor Mattson: grãos em embebição (à esquerda) e cozedor de Mattson com grãos de feijão-caupi (à direita)..... 36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características dos genótipos de feijão-caupi avaliadas. Teresina, PI, 2013.....	30
Tabela 2 -	Resumo das análises de variância em caracteres agronômicos obtidos a partir da avaliação de três genitores e oito populações F <sub>3</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	43
Tabela 3 -	Resumo das análises de variância dos caracteres tempo de cocção (TC), concentração de proteína (CP), concentração de ferro (CF) e concentração de zinco (CZ) obtido a partir da avaliação de três genitores e oito populações F <sub>4</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	44
Tabela 4 -	Médias dos caracteres agronômicos obtidas a partir da avaliação de três genitores e oito populações F <sub>3</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	46
Tabela 5 -	Médias dos caracteres nutricionais e culinário, obtidas a partir da avaliação de três genitores e oito populações F <sub>4</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	49
Tabela 6 -	Estimativas de parâmetros genéticos de caracteres agronômicos obtidos a partir da avaliação de três genitores e oito populações F <sub>3</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	50
Tabela 7 -	Estimativas de parâmetros genéticos dos caracteres nutricionais e culinário obtidos a partir da avaliação de três genitores e oito populações F <sub>4</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	51
Tabela 8 -	Estimativas de coeficiente de correlação genotípica entre caracteres agronômicos, nutricionais e culinário obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.....	53
Tabela 9 -	Estimativas de ganhos genéticos esperados (Gs) com a seleção simultânea de 14 caracteres, avaliados em oito populações F <sub>4</sub> de feijão-caupi, por meio do uso dos índices clássico (SMITH, 1936; e HAZEL, 1943), soma de postos ou <i>ranks</i> (MULAMBA; MOCK, 1978) e multiplicativo (SUBANDI; COMPTON; EMPIG, 1973).	

	Teresina, PI, 2013.....	56
Tabela 10 -	Coeficientes de coincidência e correlação de Spearman entre os índices de seleção clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), multiplicativo de Subandi; Compton; Empig (1973) e soma de postos ou <i>ranks</i> de Mulamba; Mock (1978) estimados com base no ranqueamento dos ganhos genéticos esperados de oito populações de feijão-caupi com a seleção simultânea de 14 caracteres. Teresina, PI, 2013.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

A má nutrição decorrente da deficiência em minerais é um problema de saúde pública, afeta mais da metade da população mundial, principalmente nos países em desenvolvimento (MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008) e ocorre independentemente da classe social ou da distribuição geográfica (WHITE; BROADLEY, 2005).

A deficiência alimentar pode interferir no desenvolvimento do indivíduo, com conseqüências físicas, sociais e econômicas, pois estes atuam em atividades essenciais no organismo humano. A alimentação da maioria das pessoas desnutridas é dependente de alimentos básicos para o seu sustento. E uma solução sustentável é o enriquecimento nutricional de culturas por meio da biofortificação via melhoramento genético (WELCH; GRAHAM, 2004).

A biofortificação representa uma estratégia com melhor relação custo/benefício para amenizar os problemas da saúde pública relacionados com a desnutrição (WHITE; BROADLEY, 2009), pois é uma abordagem sustentável, acessível e de tradição, incrementando a qualidade nutricional de fontes básicas, como o feijão (NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005) que é fonte de proteínas, sacarose, glicose e inositol. Pode ser utilizado como fonte alimentar e fitoterapêutica (RIBEIRO et al., 2011).

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, é uma cultura de grande importância, devido sua versatilidade, potencial agrônomo e nutricional. É fonte de nutrientes básicos para as populações mais carentes possuindo baixo teor de óleo e alta concentração de proteínas, minerais e vitaminas (SINGH, 2007).

O programa de melhoramento genético do feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte tem desenvolvido e disponibilizado no mercado brasileiro cultivares com alta produtividade de grãos, boa qualidade comercial dos grãos, resistência a vírus e alta concentração de proteína, ferro e zinco no grão. As cultivares BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê são bons exemplos de biofortificação para ferro e zinco no grão (ROCHA et al., 2010). No entanto, essas cultivares não reúne todas as características de forma simultânea para produção, biofortificação e culinária.

O equilíbrio na dieta alimentar melhora a qualidade de vida, reduzindo a ocorrência de doenças provocadas pela ingestão inadequada de nutrientes (GRAHAM et al., 2007). Assim, fazem-se necessárias iniciativas que obtenham cultivares de feijão-caupi produtivas, biofortificadas, com altos teores de proteína e

minerais, ferro e zinco, adaptadas aos vários ambientes de cultivo e que sejam disponibilizadas aos agricultores e consumidores. Ressaltando-se a importância destas para o suprimento da dieta de populações carentes, porém com tradição de consumo, como na África, Índia e no Nordeste da América do Sul (FREIRE FILHO et al., 2011).

Este trabalho objetivou selecionar simultaneamente caracteres de produção, biofortificação e culinário em populações segregantes de feijão-caupi por meio do ganho genético esperado via índices de seleção.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi é uma leguminosa vulgarmente conhecida como feijão-de-corda, feijão-de-macáçar ou de macaça, feijão-macáçar ou macaça, feijão-de-praia, feijão-miúdo, e outros nomes, dependendo da região de cultivo no Brasil (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

É uma espécie importante por sua versatilidade, adaptação a diversas condições ambientais, ciclo curto, baixa exigência hídrica, pouco exigente em fertilidade do solo, tolerante à altas temperaturas, capacidade de fixação de nitrogênio por simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e a qualidade nutricional representando uma boa alternativa para compor a alimentação nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

#### 2.1.1 Classificação botânica e origem

Esta leguminosa é uma *Dicotiledônea* pertencente ao filo *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata* (MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; PADULOSI; NG, 1997).

O centro de origem e diversidade do feijão-caupi remete ao continente africano e foi introduzido no continente americano a partir do Oeste da África, Nigéria (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005) Entretanto, Padulosi, Ng (1997) se referem à Transvaal, África do Sul, como a região de especiação de *V. unguiculata*.

A sua introdução no Brasil ocorreu no século XVI, pelos colonizadores portugueses e espanhóis, iniciando pelo estado da Bahia e, posteriormente, para outras áreas da região Nordeste e demais regiões do país. O seu cultivo concentra-se nas regiões Nordeste e Norte, e, nos últimos anos vêm ocorrendo uma expansão da cultura para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Além de ser cultivado em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia, América, Europa e Oceania, abrangendo 97 países (FREIRE FILHO et al., 2011).

### 2.1.2 Biologia da reprodução e melhoramento genético

O feijão-caupi é uma planta herbácea, autógama com flores completas, corola papilionácea, apresentando cinco pétalas que variam quanto à coloração. Essas pétalas recebem denominações diferenciadas e são divididas em: estandarte formado por duas pétalas fundidas, duas asas e a quilha ou carena, a qual envolve os órgãos sexuais, masculinos e femininos (TÉOFILO; MAMEDE; SOMBRA, 1999).

A biologia floral e a cleistogamia asseguram a autogamia desta espécie, embora mantenha uma pequena taxa de cruzamento natural que varia com o ambiente e o genótipo (ROCHA et al., 2001). Portanto, apesar da baixa taxa de cruzamento, é uma espécie autógama que se reproduz, principalmente por meio de autofecundação. Desta maneira, após sucessivas autofecundações, a maioria dos loci estará em homozigose devido à endogamia.

O feijão-caupi é uma espécie com ampla variabilidade genética (FREIRE FILHO et al., 2011), e esta característica consiste em um pré-requisito fundamental para o melhoramento. O melhoramento genético é uma estratégia sustentável, e em autógamas visa à obtenção de linhagens com alelos favoráveis, que com o decorrer dos ciclos de seleção a heterozigosidade se dissipa, exigindo maior eficiência dos pesquisadores na escolha de genótipos superiores que serão inseridos nos programas de melhoramento (NASS et al., 2001; RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN; 1993).

O Programa de Melhoramento Genético do Feijão-caupi, consta basicamente das seguintes etapas: Seleção de genitores; formação da população base; avanço de geração, com seleção simultânea em caracteres de interesse; formação de linhagens; teste de produtividade; e liberação de novas cultivares (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005)

Os principais objetivos do melhoramento do feijão-caupi no Brasil são: melhoria da arquitetura da planta, aumento da produtividade de grãos, resistência às principais pragas e doenças, principalmente a vírus, tolerância ao déficit hídrico, melhoria da qualidade comercial, nutricional (proteína e minerais) e culinária (tempo de cocção) do grão; e alta adaptabilidade e estabilidade aos vários ambientes de cultivo. Outros objetivos também têm sido buscados, como diminuição de ciclo de maturação (precocidade), resposta favorável na associação com bactérias do solo que fixam nitrogênio atmosférico, alta tolerância à salinidade do solo, maior

adequação ao processamento industrial, aumento da concentração de compostos bioativos no grão e aumento da produtividade de vagens e grãos imaturos para o mercado de feijão-verde (ROCHA et al., 2013).

### 2.1.3 Importância socioeconômica, nutricional e culinária

A produção anual do feijão-caupi no Brasil no período de 2005 a 2009 atingiu, em média, 513 mil toneladas de grãos. A área produtora concentra-se nas regiões Nordeste com 1,2 milhões de hectares, região Norte com 54,5 mil hectares e região Centro-Oeste com 47,1 mil hectares (FREIRE FILHO et al., 2011). No entanto, estados como Tocantins, Amazonas, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso apresentam produtividades superiores a 1.000 kg.ha<sup>-1</sup> (DAMASCENO-SILVA, 2009; FREIRE FILHO et al., 2011). Esta variação ocorre, principalmente, devido a fatores edafoclimáticos e tecnológicos, visto que o cultivo é realizado na maioria por pequeno agricultor e em ambientes desfavoráveis, suscetíveis às pragas e doenças que ocorrem nas regiões Norte e Nordeste (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Silva; Neves (2011b), ao avaliarem linhagens e cultivares de feijão-caupi de porte semiprostrado no Piauí, obtiveram produtividades em cultivo de sequeiro de 851 kg.ha<sup>-1</sup> e em cultivo irrigado de 1.436 kg.ha<sup>-1</sup>. Teixeira et al. (2010), avaliaram cultivares de feijão-caupi, adaptadas ao Norte e Nordeste e encontraram valores de produtividade acima de 2100 kg.ha<sup>-1</sup> para as cultivares BRS Guariba e BR17 Gurguéia. Este aumento na produtividade de grãos pode ser explicado pela melhoria no cultivo da cultura, uso de tecnologia e principalmente, pelo melhoramento genético, que tem obtido cultivares cada vez mais produtiva.

O feijão-caupi é utilizado, principalmente na alimentação humana, na forma de grãos secos ou verdes e consumo *in natura*. Também é utilizado na alimentação animal, na fabricação de produtos industrializados e na rotação de culturas, como adubo verde. É uma cultura geradora de emprego e renda para as populações mais carentes das regiões Norte e Nordeste (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002; FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005; SAMPAIO; BRASIL, 2009) e para os agricultores empresariais dos cerrados do Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil (ROCHA et al., 2013).

A cultura do feijão-caupi apresenta baixo custo de produção e um papel relevante na nutrição humana, devido ao seu alto valor nutritivo, contribuindo na

melhoria da qualidade de vida (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). O seu grão possui baixo teor de gordura e um conteúdo protéico que varia entre 20 a 30%, além de ser uma rica fonte de minerais e vitaminas (CARVALHO et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2010).

A partir da farinha de feijão-caupi é possível produzir bolos, macarrão, biscoitos, pães, pastéis e doces (MOREIRA et al., 2008), com a vantagem de ser um alimento fortificado. Lima et al. (2013) obtiveram farinha de feijão-caupi com teor de proteína variando de 23,36% a 26,70% e utilizaram na elaboração de pastéis de forno, com aceitação satisfatória.

Estudos desenvolvidos por Frota; Soares; Arêas (2008) e Moreira-Araújo et al. (2006) com as cultivares de feijão-caupi BRS Milênio e BRS Tracuateua, evidenciaram sua importância como alimento básico para populações de baixa renda, visto que possui atributos desejáveis, como alto conteúdo protéico e energético e teor elevado de fibras e de minerais. Entretanto, existem limitações ao consumo do grão, como o tempo de cozimento e fatores antinutricionais (taninos e ácido fítico). Porém, o cozimento melhora o valor nutricional por reduzir os níveis dos fatores antinutricionais e aumentar a digestibilidade das proteínas (BRITO et al., 2008; GIAMI, 2002).

Resultados na literatura sobre a qualidade culinária do feijão-caupi mostram que o tempo de cocção é um caráter importante para a aceitação de novas cultivares pelos consumidores, devido a economia do tempo no preparo das refeições (BERTOLDO et al., 2010; COSTA; RAMALHO; ABREU, 2001; RIBEIRO et al., 2007). O tempo de cocção do grão de feijão-caupi tem sido avaliado por vários autores (ANDRADE et al., 2010; MOURA, 2011), e têm evidenciado uma variabilidade considerável que pode ser aproveitada pelo melhoramento, tendo foco na seleção genótipos com rápido tempo de cozimento, uma demanda do consumidor.

## **2.2 Biofortificação de produtos agrícolas**

As deficiências em ferro, vitamina A, iodo e zinco ocorrem frequentemente na população humana (BORÉM; MIRANDA, 2013). A desnutrição apresenta como principais causas a baixa ingestão de grãos de leguminosas, frutas, verduras e produtos de origem animal (comum nos países em desenvolvimento da Ásia, África

e América Latina); solos pobres em minerais; fatores antinutricionais e presença de fitatos, que reduzem o aproveitamento pelo organismo (DIBB ROBERTS; WELCH, 2005; WELCH, 2001).

O aumento crescente da deficiência alimentar incentivou estudos sobre biofortificação dos alimentos (CARVALHO, 2011; MOURA, 2011; WELCH; GRAHAM, 2004; WHITE; BROADLEY, 2005), com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos agrícolas por meio de melhoramento convencional de plantas e/ou biotecnologia, evidenciando ser promissor na melhoria da concentração de nutrientes nos alimentos vegetais (GRAHAM, 2003).

O melhoramento de plantas contribui para reduzir os efeitos da deficiência de micronutrientes, por meio da biofortificação, via práticas agrônômicas, ou da biofortificação genética, via cruzamentos, seleção e o desenvolvimento de cultivares com altas concentrações de nutrientes essenciais e acessíveis à população (WELCH, 2008).

Várias estratégias isoladas, ou em conjunto, podem ser usadas para a biofortificação, tais como a seleção de variedades que apresentam naturalmente maiores teores de nutrientes na parte comestível, práticas de manejo de adubação e manipulação genética por meio de transgenia (MORAES, 2008).

Em estudos sobre o efeito da adubação foliar com Zn, Se e Fe na cultura de arroz, Fang et al. (2008) relataram que o conteúdo destes micronutrientes nos grãos podem ser incrementados em condições ótimas de cultivo. Zuo; Zhang (2009) relataram concentrações de ferro e zinco maiores em cultivos consorciados do que em monocultivos.

A biofortificação é um procedimento eficaz para suprir e prevenir a desnutrição, preservando as propriedades dos alimentos, por meio do fornecimento natural, biofortificado e acessível tanto para os produtores quanto para os consumidores (NUTTI et al., 2009).

Variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, nos países em desenvolvimento, a um custo inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (GRAHAM et al., 2007; HARVESTPLUS, 2009).

Portanto, programas de melhoramento que visam selecionar genótipos com maior capacidade de armazenar micronutrientes são indispensáveis para garantir a ingestão de micronutrientes (ZANCUL, 2004)

Três programas de biofortificação estão em andamento, dois internacionais - os programas desafios de biofortificação *HarvestPlus* (desenvolvendo culturas específicas e combinações de produtos, no intuito de fornecer micronutrientes para as populações subnutridas na África e na Ásia) e *Agrosalud* (coordena e desenvolve cultivos biofortificados para a América Latina e Caribe) e o programa brasileiro *BioFORT*, liderado pela Embrapa. O foco desses programas são as espécies consideradas alimentos básicos em vários países, como é o caso do arroz, feijão comum, mandioca, milho, batata-doce e feijão-caupi (HARVESTPLUS, 2009; NUTTI et al., 2009).

### 2.2.1 Biofortificação no Brasil

A introdução de produtos biofortificados de maneira sustentável, acessível por meio do melhoramento de plantas no combate à desnutrição tem contribuído de forma relevante para a sociedade no Brasil.

Iniciando em 2004 através do Programa Desafio em Biofortificação, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), onde treze de seus centros de pesquisa participam da rede de biofortificação desenvolvendo produtos como: mandioca, batata doce, abóbora ricos em carotenóides; milho rico em lisina, triptofano e pró-vitamina A; arroz, feijão, trigo e feijão-caupi com elevados teores de ferro, zinco e proteína (MORAES et al., 2009; NUTTI, 2011).

A rede de biofortificação visa aumentar o valor nutricional de alimentos da dieta da população, permitindo o acesso, sem exigir alterações de hábitos alimentares. O principal objetivo é desenvolver cultivares com maior qualidade nutricional, bom desempenho agrônômico (produtividade, resistência à seca e a pragas e doenças) e boa aceitação pelos consumidores (NUTTI, 2011).

A rede conta com atuação de universidades colaboradoras, municípios parceiros e escolas em comunidades pilotos nos estados de Sergipe, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Maranhão (NUTTI, 2011). Universidades brasileiras e unidades da Embrapa realizam estudos que avaliam a retenção de nutrientes durante o processamento/cozimento (MORAES et al., 2009).

No Brasil, a biofortificação, obteve resultados significativos com as cultivares de milho rico em pró-vitamina A; Batata-doce, cultivar Beauregard, rica em

betacaroteno; Trigo e arroz ricos em ferro e zinco; Feijão-caupi, BRS Xique-xique, rico em ferro e zinco; Mandioca rica em betacaroteno; Feijão comum, cultivar BRS Pontal, rico em ferro e zinco. Em 2014, o Projeto *BioFort* avança alcançando mais dois municípios, Lagoa do Sítio, no Piauí e Santa Quitéria, no Maranhão. Totalizando 59 municípios em nove estados. O Piauí lidera com 42 municípios, seguido por Minas Gerais, com seis e o Maranhão com cinco. Desenvolve ações em escolas agrícolas desses Estados e melhora a vida de pequenos produtores. (BIOFORT, 2014; SINIMBU, 2014)

### 2.2.2 Biofortificação do feijão-caupi

A biofortificação do feijão-caupi no Brasil iniciou-se em 2006 quando pesquisadores da Embrapa Meio-Norte introduziram linhagens africanas e avaliaram germoplasma elite brasileiro, selecionando linhagens e cultivares com altas concentrações de ferro e zinco no grão. Em 2007 analisaram os grãos de 44 genótipos compreendendo linhagens e cultivares adaptadas às regiões Norte e Nordeste do Brasil do programa de melhoramento de feijão-caupi. Resultados desse trabalho foi a seleção de linhagens TE96-290-12G e MNC99-537F-4, ricas em ferro e zinco lançando-as como: BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque (FREIRE FILHO et al., 2008; ROCHA, 2008; ROCHA et al., 2008).

Em 2009 avaliaram genótipos dos grupos verde e fradinho destacando as linhagens MNC05-820B-240 (74,44 mg kg<sup>-1</sup> – ferro) e MNC05832B-230-2-1(50,74 mg kg<sup>-1</sup> – zinco) do grupo fradinho e MNC05-843B-88 (73,40 mg kg<sup>-1</sup> – ferro) e MNC00-595F-26 (55,19 mg kg<sup>-1</sup> – zinco) do grupo verde, que resultou no lançamento da cultivar BRS Aracê, rica em ferro (61,7 mg kg<sup>-1</sup>) e zinco (48,6 mg kg<sup>-1</sup>) (FREIRE FILHO et al., 2009).

Em avaliações em feijão-caupi na Nigéria, Singh (2007) obteve concentrações médias de proteína, ferro e zinco correspondendo a 24%, 59 mg kg<sup>-1</sup> e 38 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em outro trabalho, Costa (2013) ao avaliar o potencial de populações segregantes relatou ganhos significativos na seleção praticada no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia, porém a herdabilidade para teor de ferro no grão foi baixa.

Entre 2010 e 2013 foram realizados vários cruzamentos envolvendo genótipos elite com alta concentração de ferro e zinco no grão e caracteres

agronômicos no programa de biofortificação de feijão-caupi conduzido pela Embrapa Meio-Norte. Estudos sobre o controle genético desses caracteres e a validação em vários ambientes (CARVALHO, 2011; COSTA, 2013; MOURA, 2011; ROCHA et al., 2009; ROCHA et al., 2013).

### **2.3 Estimação de parâmetros genéticos**

A variabilidade genética na concentração de nutrientes presentes em partes comestíveis das culturas é de extrema importância para os programas de melhoramento convencional, possibilitando a utilização de estratégias de seleção de cultivares naturalmente mais eficientes em acumular nutrientes na parte comestível das culturas, ou seja, que apresentam genes que expressam essa característica, em interação com o ambiente (WHITE; BROADLEY, 2005).

Contudo a variabilidade se torna essencial para o desenvolvimento de cultivares biofortificadas e produtivas. Segundo Ramalho et al. (2012b), as estimativas dos componentes da variabilidade existente em uma população e sua relação com as diferenças genéticas é fundamental em qualquer programa de melhoramento, pois permite conhecer o controle genético do caráter e o potencial da população para a seleção.

Estimativas de componentes de variância genéticas confiáveis orientam os melhoristas na seleção de indivíduos superiores em populações segregantes em um programa de melhoramento (BORÉM; MIRANDA, 2013).

De acordo com Carvalho (2011) e Moura (2011) o feijão-caupi é um bom exemplo que retrata a ampla variabilidade genética de caracteres agrônômicos, nutricionais e culinário. Pesquisas relatadas na literatura tem constatado a existência de variabilidade genética em caracteres agrônômicos (LOPES et al., 2001; MATOS FILHO et al., 2009; SILVA et al., 2011), nutricionais e culinário (ROCHA et al., 2011; MOURA, 2011; CARVALHO, 2011; COSTA, 2013; SANTOS; BOITEUX, 2013).

Em feijão-caupi, a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos tem sido realizada por vários autores (BENVINDO et al., 2010; ANDRADE et al., 2010; MOURA et al., 2012; CORREA et al., 2012; COSTA, 2013). O conhecimento dessas estimativas têm sido úteis para aumentar a eficiência no melhoramento genético (SHING, 2007).



Em estudos com feijão-caupi, Carvalho et al. (2012), avaliaram seis caracteres em populações ( $F_2$ ) derivadas de cruzamentos entre genótipos com altos teores de ferro e zinco no grãos e analisaram a sua capacidade geral e específica de combinação. Os resultados demonstram variabilidade genética e possibilidade de seleção de genótipos superiores para teores de ferro e zinco e em caracteres de produção. Matos Filho et al. (2009) detectou a existência de variabilidade genética em feijão-caupi possibilitando a seleção simultânea de genótipos superiores com arquitetura ereta, produção de vagens e tamanho do grão.

### 2.3.1 Herdabilidade

Na seleção, cabe ao melhorista a tomada de decisões relativa à superioridade dos genótipos com base em informações fenotípicas. No entanto, ao selecionar um genótipo, em detrimento de outro, pode-se estar eliminando genes de interesse ou repassando genes desfavoráveis para a geração seguinte. Quando o valor fenotípico corresponde ao valor genotípico, as comparações com base em valores fenotípicos tem relação direta com as variações genéticas. Desta maneira, a herdabilidade, como um parâmetro que quantifica as relações das variâncias fenotípicas e genéticas, torna-se uma ferramenta indispensável no melhoramento genético (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

O conhecimento dos componentes de variância dos caracteres possibilita a estimação da herdabilidade, ganho com a seleção e correlação entre caracteres. A herdabilidade é a proporção da variância genética presente na variabilidade total, tornando-se essencial para os melhoristas, pois permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção, como: estimar o ganho genético, escolher o método de seleção mais eficiente e as alternativas para se conduzir o processo seletivo (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; RAMALHO et al., 2012a; RAMALHO et al., 2012b; BORÉM; MIRANDA, 2013).

Existem dois tipos de herdabilidade ( $h^2$ ): Herdabilidade no sentido amplo e herdabilidade no sentido restrito. No sentido amplo considera-se a variância genética total, enquanto que no sentido restrito considera apenas a variância genética aditiva. Os efeitos aditivos dos genes são determinantes das propriedades genéticas da população e, por isso é repassada a população melhorada (BORÉM; MIRANDA, 2013; FALCONER, 1987; RAMALHO et al., 2012a).

A herdabilidade pode variar de acordo com: o caráter analisado; a diversidade da população; o nível de endogamia da população; o tamanho da amostra; o número e tipo de ambiente; a unidade experimental e a precisão na condução do experimento e coleta de dados.

As estimativas de herdabilidade são obtidas em porcentagem e quanto maior o valor maior é a contribuição da variância genotípica. Nesse sentido, caracteres com baixa herdabilidade podem ser melhorados por seleção indireta através da seleção de outros caracteres correlacionados que possuem alta herdabilidade (SHIMELIS; SHIRINGANI, 2010).

Ao avaliar a variabilidade genética, herdabilidade e ganho genético em feijão-caupi em dois locais da Nigéria, Idahosa; Alike; Omoregie (2010), observaram estimativas de herdabilidade acima de 50% para os caracteres altura da planta, área foliar, comprimento da vagem, dias para a floração, dias para maturação, número de grãos por vagem e peso de cem grãos (80-99%). E para peso da vagem a herdabilidade foi estimada em 25,5% em Iyanomo.

Em estudo conduzido por Moura (2011), estimou-se a herdabilidade para os teores de proteína, ferro e zinco e para o tempo de cocção, em populações F2 e F3 de feijão-caupi. As estimativas de herdabilidade variaram de 12,11% (concentração de zinco) a 85,72% (concentração de proteína).

Variância ambiental alta foi encontrada para o caráter concentração de ferro no grão de feijão-caupi nos trabalhos de Moura (2011) e Costa (2013). Estimativas da interação genótipo x ambiente para esse caráter é o que mais ocorre, indicando que a seleção para esse caráter deve ser realizada em mais de um ambiente e deve levar em conta a identificação de genótipos com alta estabilidade, associado com alta adaptabilidade (ROCHA et al., 2009, 2013).

### 2.3.2 Coeficiente de variação genético

Segundo Ramalho et al., (2012b), a variação fenotípica, variação observada entre os indivíduos, é devido as diferenças ambientais, variação ambiental, que os indivíduos são submetidos ou diferenças em sua constituição genética.

O coeficiente de variação genético (CVg) tem como objetivo informar sobre a variabilidade da população, tendo a média como referência. É um parâmetro que possibilita a comparação da variabilidade existente em diferentes populações,

ou dentro da mesma população para diversos caracteres. É estimado pela razão do desvio-padrão (s) em relação à média (m) (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

A existência da variabilidade genética em feijão-caupi ocorre, praticamente, para todos os caracteres. Em trabalhos realizados por Matos Filho et al. (2009), Andrade et al. (2010) e Correa et al. (2012), o coeficiente de variação genético nas características avaliadas variaram de 3% a 35%, destacando-se a produtividade de grãos com variação de 31% a 35%.

Estimativas de coeficiente de variação genético elevados indicam maior variabilidade para o caráter, sendo altamente promissor para a realização de seleção visando a obtenção de ganhos no melhoramento genético.

### 2.3.3 Correlações entre caracteres

A correlação mede o grau de associação entre duas variáveis variando de -1 a +1. Constitui-se em uma alternativa de aproveitamento eficiente da variabilidade presente nas populações em curto tempo. Assim, são importantes para determinar a associação entre caracteres quantitativos e a produtividade, direcionando a seleção de forma direta ou indireta em caracteres de baixa herdabilidade.

As correlações fenotípicas são diretamente observadas, podendo ter causas genéticas ou ambientais. A genética é devido à pleiotropia e à ligação gênica. O efeito pleiotrópico expressa o efeito total dos genes que estão em segregação. Por outro lado, a ligação gênica é transitória, podendo ser alterada em gerações avançadas pela ocorrência de permutas (CRUZ, 2005; RAMALHO et al., 2012a).

A existência de correlação entre caracteres significa que o processo de seleção provoca incremento em um caráter em detrimento ou não em outras. Dessa forma, a avaliação do sentido e da amplitude da resposta correlacionada da seleção é fundamental para a obtenção de genótipos superiores para um grupo de características de interesse (CRUZ, 2005; FALCONER, 1987).

Carvalho (2011), estimando a correlação entre caracteres agrônômicos, ressaltaram a necessidade de evitar a seleção de genótipos com elevado número de vagens por pedúnculo para a obtenção de elevados índices de produtividade. Assim, em grupo de cruzamentos é necessário introduzir genitores com alta capacidade de combinação para comprimento de vagens, número de grãos por vagem e produção por parcela

Um grupo de genótipos de feijão-caupi foi avaliado por Correa et al. (2012), que estimaram parâmetros genéticos e correlações entre caracteres, encontrando altas correlações genotípicas e fenotípicas positivas e significativas entre os pares de caracteres: massa de vagem e produtividade de grãos secos; número de grãos por vagem e produtividade de grãos; comprimento de vagem e número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e massa de vagem; e dias para a floração com dias para a maturação.

#### 2.3.4 Ganho genético com a seleção simultânea de caracteres

A identificação e obtenção de genótipos superiores, de ampla adaptabilidade e estabilidade e que reúna simultaneamente características favoráveis de interesse, é uma etapa importante em um programa de melhoramento. Dessa forma, é necessário ter conhecimento de informações da população, dos métodos de melhoramento que serão aplicados às mesmas e das metodologias de análises estatístico-genética que possibilitem a obtenção de genótipos promissores atendendo às exigências dos produtores e consumidores (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Esta exigência do mercado requer que os melhoristas a reúna em um mesmo fenótipo caracteres de interesse, pois quando ocorre seleção de genótipos com base em apenas um caráter, geralmente, ocorre insucesso de uma cultivar no mercado. Por essa razão, o estudo e avaliação dos caracteres sobre seleção, geralmente ocorre simultaneamente (RAMALHO et al., 2012a).

O processo seletivo pode ser dificultado devido à correlação existente entre os caracteres, muitas vezes em direções opostas. Para Cruz; Regazzi; Carneiro (2012) o conhecimento da associação entre os caracteres é importante, principalmente se a seleção de um deles for dificultada, em razão da baixa herdabilidade. Desta maneira, o método de índice de seleção permitirá combinar as múltiplas informações das características de interesse. Essa é uma forma de maximizar o êxito da seleção simultânea de caracteres utilizando índices de seleção (RAMALHO et al., 2012a).

Segundo Cruz; Regazzi; Carneiro (2012), o uso dos índices de seleção auxilia o melhorista na identificação de genótipos superiores para vários caracteres simultaneamente atendendo aos anseios dos produtores, mercado e consumidor.

Na literatura são descritas várias propostas de índices de seleção, as quais auxiliam na identificação de genótipos superiores para vários caracteres (CRUZ, 2005; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO 2012).

Segundo Bernardo (2010), o índice de seleção é uma alternativa eficiente de melhoramento e seleção de vários caracteres. Essa metodologia permite combinar múltiplas informações dos caracteres mensurados. O índice de seleção é estabelecido pela combinação linear ótima de vários caracteres quase sempre não correlacionados (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

O Índice clássico proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) requer o conhecimento de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos. As estimativas são obtidas a partir de uma função linear dos valores fenotípicos observados nos caracteres analisados, estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice de seleção e o agregado genotípico. Por sua vez, o agregado genotípico é estabelecido por outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos pesos econômicos. Com esses critérios é possível efetuar, com eficiência, a seleção simultânea de caracteres com base nos valores genéticos dos genótipos.

O Índice multiplicativo proposto por Subandi; Compton; Empig (1973) é obtido pela multiplicação de valores padronizados de cada caráter por genótipo. E o índice soma de ranks ou postos proposto por Mulamba; Mock (1978) baseia-se no interesse do melhorista, que estabelece uma ordem de importância em cada população para os múltiplos caracteres.

Os problemas relatados na literatura referentes ao uso de alguns índices devem-se a definição dos pesos econômicos de cada caráter, a intensidade de seleção a serem aplicados, os ganhos desejados e à obtenção das estimativas das variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas.

Estudos utilizando seleção simultânea por meio de índice de seleção têm sido usado com êxito em várias culturas agrícolas, porém escassos em feijão-caupi. Santos; Araújo (2001), avaliando genótipos de feijão-de-corda, realizaram a seleção por meio de índices de seleção e constataram que os índices soma de ranks, multiplicativo e livre de peso e parâmetros, além de apresentarem progressos satisfatórios para um conjunto de caracteres, foram os de mais fácil aplicação em relação aos demais índices utilizados.

Em estudos de seleção de genótipos de feijão-caupi e avaliação de ganhos preditos por meio de índices de seleção, Dias (2009) constatou que, dentre os índices utilizados, o de base e o multiplicativo foram os mais eficientes na seleção de genótipos precoces, produtivos e de porte ereto.

Ao analisar genótipos de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce quanto à divergência e o ganho com base em índice de seleção, Bertini et al. (2010) constataram que o índice de soma de ranks permitiu identificar genótipos superiores e divergentes, assegurando a escolha de parentais com maior potencial produtivo e que pudessem ser utilizados na formação de populações segregantes.

A possibilidade da predição de ganhos por meio de índice de seleção orienta de maneira mais efetiva o melhoramento de culturas (CRUZ, REGAZZI; CARNEIRO, 2012). O ganho com a seleção tem relação direta com o diferencial de seleção, o qual é dependente da média dos indivíduos selecionados e a média da população original. Entretanto, ao se tratar de caracteres quantitativos a seleção em um pequeno grupo de genótipos superiores resulta em um maior diferencial de seleção e, conseqüentemente um maior ganho genético devido a alta pressão exercida pela seleção (VENCOVSKY, 1987).

Alguns estudos, em espécies vegetais, foram realizados utilizando o método de Máxima Verosimilhança Restrita (REML) e Melhor Predição Linear Não-Viesada (BLUP), para fins de seleção no melhoramento de plantas, como uma ferramenta de seleção em gerações iniciais em várias culturas como: soja, feijão e cana de açúcar (COIMBRA et al., 2008; PIEPHO et al., 2008; PEDROZO et al., 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

O material genético foi constituído por 11 genótipos de feijão-caupi, obtidas do cruzamento de três genitores: cultivar BRS Xiquexique ( $P_1$ ) possuindo alta concentração de ferro e zinco no grão e alta produtividade, procedente do programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte; e as linhagens IT-98K-205-8 ( $P_2$ ), com alta concentração de ferro no grão; e IT-97K-1042-3 ( $P_3$ ), com alta concentração de zinco no grão, respectivamente, provenientes do programa de melhoramento do Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), em Ibadan, na Nigéria; e oito populações segregantes nas gerações  $F_3$  (planta) e  $F_4$  (semente), sendo quatro populações derivadas de cruzamentos entre os genitores acima e quatro retrocruzamentos para  $P_1$ , incluindo os recíprocos. A descrição das populações e detalhes de seus grãos são apresentados, respectivamente, na Tabela 1 e Figura 1.

Os cruzamentos, retrocruzamentos e avanço das gerações até  $F_2$  (planta) e  $F_3$  (semente), incluindo os recíprocos, foram realizados por Moura (2011).

**Tabela 1** - Características dos genótipos de feijão-caupi avaliados. Teresina, PI, 2013.

Descrição	Significado	Origem
$P_1$ - BRS Xiquexique	Cultivar	Brasil
$P_2$ - IT-98K-205-8	Linhagem	Nigéria
$P_3$ - IT-97K-1042-3	Linhagem	Nigéria
$F_4C_{12}$	Geração $F_4$ do cruzamento $P_1 \times P_2$	—
$F_4C_{21}$	Geração $F_4$ do cruzamento $P_2 \times P_1$	—
$F_4C_{13}$	Geração $F_4$ do cruzamento $P_1 \times P_3$	—
$F_4C_{31}$	Geração $F_4$ do cruzamento $P_3 \times P_1$	—
$F_4RC_{12}$	Geração $F_4$ do retrocruzamento $F_1(P_1 \times P_2) \times P_1$	—
$F_4RC_{21}$	Geração $F_4$ do retrocruzamento $F_1(P_2 \times P_1) \times P_1$	—
$F_4RC_{13}$	Geração $F_4$ do retrocruzamento $F_1(P_1 \times P_3) \times P_1$	—
$F_4RC_{31}$	Geração $F_4$ do retrocruzamento $F_1(P_3 \times P_1) \times P_1$	—



Fonte: Autoria própria

**Figura 1** - Sementes de: P<sub>1</sub> - BRS Xiquexique (esquerda); P<sub>2</sub> - IT-98K-205-8 (centro); P<sub>3</sub> - IT-97K-1042-3 (direita).



Fonte: Autoria própria

**Figura 2** - Semente das populações em geração F<sub>4</sub>: 1 – F<sub>4</sub>C<sub>12</sub>, cruzamento P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>; 2 - F<sub>4</sub>C<sub>21</sub>, cruzamento P<sub>2</sub> x P<sub>1</sub>; 3 - F<sub>4</sub>C<sub>13</sub>, cruzamento P<sub>1</sub> x P<sub>3</sub>; 4 - F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>, cruzamento P<sub>3</sub> x P<sub>1</sub>; e os retrocruzamentos: 5 - F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub>; 6 - F<sub>4</sub>RC<sub>21</sub>; 7 - F<sub>4</sub>RC<sub>13</sub>; 8 - F<sub>4</sub>RC<sub>31</sub>.



### **3.2 Caracterização da área experimental**

O ensaio de avaliação foi realizado em 2013 no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, Teresina - PI, situado a 5°5'20" S de latitude, 42°48'05" W de longitude e 72 m de altitude. O solo da área experimental é do tipo argissolo amarelo e textura franco-arenosa. Os resultados da análise do solo são apresentados no Anexo 1.

### **3.3 Caracterização do experimento**

Em campo os tratamentos foram avaliados em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela constituiu-se de quatro fileiras com um total de 160 plantas. Utilizou-se o espaçamento de 0,80 m entre fileiras e de 0,30m entre plantas. A área útil foi representada por duas fileiras centrais, com 40 plantas.

O preparo da área constou de uma aração e duas gradagens. No plantio, realizado no dia 21 de junho de 2013, colocaram-se quatro sementes por cova. No dia 28 de junho foi realizada a compensação de falhas e aos 15 dias, após o plantio, foi feito desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova. Realizaram-se duas capinas até o dia da colheita, realizada dia 29 de agosto de 2013. O ensaio foi conduzido em regime de irrigação por aspersão convencional, com irrigação diária e lâmina de água aplicada de 6 mm.

O controle de ervas daninha foi realizado com uso de herbicidas pós-emergente e pré-emergente, a base de Fluazifope-P-Butílico e S-metolacoloro, respectivamente. Para o controle de insetos-praga, quando necessário, realizou-se aplicação de inseticidas a base de Dimetoato e Tiametoxam.

### **3.4 Caracteres avaliados**

#### **3.4.1 Caracteres agronômicos**

Os caracteres agronômicos avaliados foram os seguintes:

- Número de dias para o início da floração (NDIF): o número de dias transcorrido do plantio ao aparecimento das primeiras flores em 50% das plantas da área útil da parcela;

- Número de dias para maturação (NDM): o número de dias do plantio até maturação de 50% das plantas da área útil da parcela;
- Porte de planta (PP): avaliado por meio de nota visual, em que: 1 – indica plantas com porte ereto, 2 - porte semiereto, 3 - porte semiprostrado e 4 - porte prostrado;
- Valor de cultivo (VC): avaliado por meio de nota visual, em que: 1 - planta da parcela sem características apropriadas ao cultivo comercial, 2 - planta da parcela com poucas características apropriadas ao cultivo comercial, 3 - planta da parcela com a boa parte das características adequadas ao cultivo comercial, 4 - planta com a maioria das características adequadas ao cultivo comercial e 5 - planta com todas as características adequadas ao cultivo comercial;
- Acamamento (ACAM): avaliado por escala de nota visual, em que: 1 – nenhuma planta acamada ou com ramo principal quebrado, 2 – de 1 a 5% das plantas acamadas, 3 – de 6 a 10% das plantas acamadas, 4 – de 11 a 20% das plantas acamadas, 5 – acima de 20% das plantas acamadas.
- Comprimento de vagem (COMPV): média do comprimento de cinco vagens tomadas ao acaso, em cm;
- Número de grãos por vagem (NGV): média do número de grãos de cinco vagens tomadas ao acaso;
- Peso de 100 grãos (P100G): peso de 100 grãos tomados ao acaso, em gramas;
- Índice de grãos (IG): obtido através da fórmula:  $(PGV \div PV) \times 100$ , em que: o peso de grãos de vagem (PGV) é obtido por meio da média do peso de grãos de cinco vagens e o peso de vagem obtido através da média do peso de cinco vagens.
- Produtividade de grãos (PG): produção tomada na área útil da parcela, em gramas, e o resultado convertido em  $\text{Kg ha}^{-1}$ .

#### 3.4.2 Caracteres nutricionais e culinário

Todas as análises nutricionais e tempo de cocção foram realizadas no laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte. Nas avaliações foram utilizadas amostras de grãos de cada tratamento coletadas de uma vagem de cada planta da área útil da parcela, em três repetições do ensaio.

### 3.4.2.1 Concentrações de ferro e zinco no grão

Amostras de 10 g de sementes de cada genótipo foram lavadas em água destilada para evitar contaminação de impurezas. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 65 °C por 72 horas. Posteriormente, as sementes foram colocadas em dessecador até que todas as amostras fossem trituradas em moinho de bolas de zircônio (Retsh MM 200) para a obtenção da farinha (Figura 3).



Fonte: Autoria própria.

**Figura 3** - Etapas do preparo das amostras para avaliação das características nutricionais de genótipos de feijão-caupi: 1 - Dessecador; 2 – Moinho de bolas de zircônio; 3 - Bolas de zircônio; 4 - Amostras moídas.

Após a obtenção da farinha, pesou-se 0,2 g de cada amostra e as mesmas foram transferidas para tubo de ensaio, onde foi adicionado 5 ml de solução nítrica-perclórica na proporção 2:1 e submetidas a digestão em bloco aquecedor por duas horas e, gradualmente, elevou-se a temperatura de 100 °C a 200 °C. Após a digestão, adicionou-se água destilada aos tubos até a obtenção de 20 ml no volume

final. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas em agitador apropriado conforme Silva (1981).

As concentrações de ferro e zinco no grão foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme Sarruge; Haage (1974) por meio de curvas de calibração de 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 mg/100<sup>-1</sup>g para ferro e 0,2; 0,4; 0,8 e 1,6 mg/100<sup>-1</sup>g para zinco.

#### 3.4.2.2 Concentração de proteína no grão

Após o preparo das amostras e obtenção da farinha (Figura 3), em tubo de ensaio foram adicionados 0,2 mg de cada genótipo, 5 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e 2 g de catalisador, que é uma mistura digestora composta por sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>: 3,5%) e sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 96,5%), no intuito de acelerar a oxidação da matéria orgânica.

Posteriormente foram submetidos à digestão em bloco aquecedor por duas horas a 450 °C. Após a digestão foi adicionado em cada tubo de ensaio 10 ml de solução (1+1) com hidróxido de sódio (NaOH) e água destilada e colocadas em destilador de nitrogênio detectando a presença de nitrogênio por arraste de vapor, seguida de titulação (Figura 4). As concentrações de proteína foram obtidas conforme método de Kjeldahl (AOAC, 1970). Determinou-se a matéria seca de 0,2g de cada amostra para fazer a correção e expressar os resultados de proteína bruta, conforme Silva (1981).

#### 3.4.2.3 Tempo de cocção (cozimento)

O tempo de cocção (TC) dos tratamentos foi realizado utilizando-se o cozedor de Mattson. Inicialmente, realizou-se a limpeza das amostras, retirando-se as impurezas e separando os grãos uniformes. Adotou-se uma amostra de 12 gramas dos tratamentos para a análise, realizada em quatro repetições.

Cada amostra, contendo 25 grãos, foi colocada em copo plástico identificado, ficando imersa em água por quatro horas. Após a embebição, os grãos foram colocados no cozedor de Mattson (Figura 5).



Fonte: Autoria própria.

**Figura 4** - Análise de proteína de genótipos de feijão-caupi: 1 – Destilação de nitrogênio da farinha obtida dos grãos; 2 – Amostra em bloco aquecedor após digestão; 3-Amostra após a destilação.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 5** - Avaliação do tempo de cocção de genótipos de feijão-caupi em Cozedor de Mattson: grãos em embebição (à esquerda) e cozedor de Mattson com grãos de feijão (à direita).

Mergulhou-se o cozedor em béquer com água previamente fervida em chapa de aquecimento a 300 °C. Disparou-se o cronômetro até que 13 varetas perfurassem os grãos de feijão, anotando-se o tempo transcorrido, como apresentado por Proctor; Watts (1987) e Ribeiro, et al.(2007).

### 3.5 Análises estatístico-genéticas

As análises estatístico-genéticas foram realizadas por meio dos softwares computacionais SAS (SAS INTITUTE, 1999), Genes (CRUZ, 2013) e SELEGEN (RESENDE, 2002a).

#### 3.5.1 Análises de variância

Realizaram-se análises de variância dos caracteres agrônômicos, culinário e nutricionais das populações avaliadas, considerando as populações de efeito aleatório, conforme o modelo estatístico da equação (1):

$$Y_{ij} = \mu + P_i + B_j + E_{ij} \quad (1)$$

em que:

$Y_{ij}$ : valor observado referente da população  $i$  no bloco  $j$ ;

$\mu$  : média geral;

$P_i$ : efeito aleatório da  $i$ -ésima população, com  $i = 1, 2, \dots, 11$ ;

$B_j$ :efeito aleatório do  $j$ -ésimo bloco, com  $j = 1, 2, \dots, 4$ ;

$E_{ij}$ :erro experimental.

#### 3.5.2 Comparação de médias

As médias dos caracteres avaliados nos genótipos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para comparar a testemunha com as demais genótipos foram estabelecidos contrastes ortogonais e a significância foi verificada pelo teste de Dunnett.

#### 3.5.3 Estimação de parâmetros genéticos

Para cada característica, estimaram-se os seguintes parâmetros genéticos pelo método dos quadrados mínimos: coeficiente de variação genético (CVg), herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ) e a relação entre os coeficientes de variação genética e de variação ambiental (CVg/CVe), conforme procedimentos apresentados por Cruz (2006a), Cruz (2006b); Cruz; Regazzi; Carneiro (2012).

O coeficiente de variação genético (CVg) foi estimado de acordo com a equação (2):

$$CVg (\%) = \frac{100 \sqrt{\sigma^2_g}}{m} \quad (2)$$

em que:

$\sigma^2_g$ : variação genotípica;

m: média geral

A herdabilidade no sentido amplo foi estimada através da equação (3):

$$h^2 = \frac{\sqrt{\sigma}}{m} 100 \quad (3)$$

em que:

$\sigma$ : desvio padrão da média do caráter;

m: média geral

As correlações genotípicas entre caracteres ( $r_g$ ) e o ganho genético esperado com a seleção (Gs) simultânea dos caracteres foram estimadas por meio do método de estimação/predição REML / BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Não-viesada), via software computacional Selegen, conforme Resende (2002a), conforme a equação (4):

$$Y = Xb + Za + e \quad (4)$$

em que:

Y: vetor de dados observados;

X, Z e W: matrizes de incidência para b, a e c, respectivamente;

b: vetor de efeitos dos blocos (fixo);

a: vetor de efeitos genotípicos (aleatórios);

e: vetor de efeito dos erros aleatórios.

Com o objetivo de garantir a confiabilidade das variâncias e covariâncias genóticas estimadas via método REML/BLUP, e viabilizar o estudo das correlações genóticas e dos índices de seleção, anteriormente à obtenção destes, realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade dos caracteres por meio do programa Genes (CRUZ, 2013).

O coeficiente de correlação genotípico ( $r_g$ ) foi estimado de acordo com a equação (5):

$$r_g = \frac{\hat{\sigma}_{xy}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{gx}^2 \hat{\sigma}_{gy}^2}} \quad (5)$$

em que:

$\hat{\sigma}_{xy}$ : estimador da covariância genotípica entre os caracteres X e Y;

$\hat{\sigma}_{gx}^2$  e  $\hat{\sigma}_{gy}^2$ : estimadores das variâncias genóticas dos caracteres X e Y, respectivamente.

A predição do ganho genético esperado com a seleção simultânea dos caracteres foi realizada por meio da metodologia REML/BLUP via programa Selegen (RESENDE, 2002a,b) e com o uso das seguintes metodologias de índices de seleção, onde o efeito de blocos foi adotado como fixo e o efeito de populações como aleatório.

- Índice clássico proposto por Smith (1936) e Hazel (1943): consiste na combinação linear dos vários caracteres, cujos coeficientes de ponderação são estimados no intuito de maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Esse agregado é estabelecido por uma combinação linear, envolvendo os valores genéticos, ponderados por seus respectivos pesos econômicos. Sejam o índice (I) e o agregado (H), conforme equação (6) e (7):

$$I = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n = \sum_{i=1}^n b_i x_i = b'x \quad (6)$$



$$H = a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_n g_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = a' g \quad (7)$$

em que:

$n$  : número de caracteres avaliados;

$g'$ : matriz de dimensão  $p \times n$  de valores genéticos dos  $n$  caracteres avaliados;

$x'$ : matriz de dimensão  $p \times n$  dos valores (ou médias) dos caracteres;

$a$ : vetor de dimensão  $n \times 1$  de pesos econômicos estabelecidos;

$b$ : vetor de dimensão  $n \times 1$  dos coeficientes de ponderação do índice, a serem estimados;

$p$ : número de populações avaliadas;

Na análise do índice de seleção Smith (1936) e Hazel (1946) foram adotados pesos econômico diferenciais para cada caráter (0 a 1) e o sentido da seleção (maior, menor ou nulo). Adotaram-se os seguintes pesos econômicos para os caracteres: NDIF (0,10), NDIM (0,12), PP (0,10), ACAM (0,02), VC (0,02), COMPV (0,02), NGV (0,05), P100G (0,15), PG (0,20), IG (0,02), TC (0,05), CP (0,05), CF (0,05) e CZ (0,05) e o sentido da seleção foi para maior valor nos caracteres VC, COMPV, NGV, PG, IG, CP, CF CZ e, para menor valor, nos caracteres NDIF, NDM, TP, ACAM e TC.

- Índice multiplicativo proposto por Subandi; Compton; Empig (1973): obtido pela multiplicação dos valores padronizados de cada caráter por população, conforme equação (8):

$$I = Y_1^{k_1} Y_2^{k_2} \dots Y_n^{k_n} \quad (8)$$

Em que:

$I$ : Índice de seleção;

$Y_j$ : Valor médio do caráter  $j$ ; em que:

Com  $k_j = 1$ , se for considerada a relação direta do índice com o caráter; e  $k_j = -1$ , se for considerada a relação inversa do índice com o caráter.

- Índice de soma de postos ou *ranks* proposto por Mulamba; Mock (1978): as médias fenotípicas dos genótipos para cada carácter foram transformadas em postos ou *ranks* em ordem favorável ao melhoramento. Atribuíram-se pesos econômicos aos caracteres e somaram-se as ordens destes, obtendo-se uma medida tomada como índice de seleção, conforme a equação (9):

$$I_{MM(i)} = \sum_{k=1}^n u_k r_{ik} = u_1 r_{i1} + u_2 r_{i2} + \dots + u_n r_{in} \quad (9)$$

Em que:

$I_{MM(i)}$ : valor do índice de Mulamba; Mock associado à população i;

$u_k$ : peso econômico do carácter k, sendo adotado a unidade para todos os caracteres;

$r_{ik}$ : posto (*rank*) associado à média genotípica da população i relativo ao carácter k;

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises de variância

#### 4.1.1 Caracteres agronômicos

O efeito de genótipos foi significativo ( $P < 0,01$ ) para todos os caracteres, evidenciando a existência de variabilidade entre as populações avaliadas (Tabela 2). Isso demonstra que estas apresentam grande potencial para seleção de progênies superiores para produção, biofortificação e culinária, visto que a presença de variabilidade genética em uma população é fator fundamental para os programas de melhoramento (RAMALHO et al., 2012b). Carvalho (2011), Costa (2013) e Moura (2011), em estudos envolvendo populações segregantes de feijão-caupi, apresentaram resultados semelhantes.

A decomposição do efeito de populações mostra que as populações  $F_3$  são mais contrastantes que os genitores, visto que para aqueles houve diferenças significativas em todos os caracteres, enquanto que para estes, não houve diferença significativa. Isso indica que as populações são mais divergentes entre si do que os genitores. Esperava-se variabilidade tanto em populações segregantes quanto em genitores, tendo em vista que os genitores utilizados em cada um dos dois cruzamentos são divergentes entre si em termos de origem, já que em ambos, um deles é brasileiro (adaptado) e o outro é africano (exótico), conforme Tabela 1.

O efeito de contraste entre genitores e populações  $F_3$  foi significativo ( $P < 0,01$ ) apenas para os caracteres PP, ACAM, PG e IG, indicando diferenças no comportamento médio entre genitores e populações. A baixa variabilidade observada no contraste pode ser devido ao fato de metade das populações dentro de cruzamentos serem recíprocos, sem efeito materno. Outro aspecto que pode ter contribuído para não detecção de variabilidade é que os dados analisados foram tomados em nível de médias de parcelas e não oriundos de plantas individuais.

O coeficiente de variação experimental (CV) variou de 2,37% (NDIF) a 14,61% (PG), conforme Tabela 2. Segundo o critério adotado por Pimentel-Gomes (2009), apenas a produtividade de grãos apresentou CV mediano, os demais caracteres apresentaram CV's baixos, indicando boa precisão experimental. Ahmed; Zargar; Ali (2005) e Matos Filho et al. (2009) obtiveram CV's mais elevados do que os obtidos no presente trabalho.

**Tabela 2** – Resumo das análises de variância em caracteres agrônômicos<sup>(2)</sup> obtido a partir da avaliação de três genitores e oito populações F<sub>3</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

FV	GL	Quadrados médios									
		NDIF (dias)	NDM (dias)	PP <sup>(1)</sup> (nota)	ACAM <sup>(1)</sup> (nota)	VC <sup>(1)</sup> (nota)	COMPV (cm)	NGV (unid)	P100G (g)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )	IG (%)
Blocos	3	8,30	2,08	0,02	0,01	0,01	0,26	2,06	0,67	68343,00	13,39
Genótipos	10	5,57**	2,22**	0,11**	0,08**	0,03**	6,65**	4,54**	5,33**	122049,00**	35,64**
Genitores	2	1,75 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	53480,80 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>
Populações F <sub>3</sub>	7	7,46**	2,78**	0,15**	0,10**	0,03**	8,95**	5,93**	7,23**	131598,00**	45,65**
Gen. vs Pop.F <sub>3</sub>	1	0,01 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	0,04*	0,07*	0,01 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	192350,00*	31,68*
Resíduo	30	0,94	0,73	0,01	0,02	0,01	1,40	1,44	0,88	37762	6,49
CV(%)		2,37	1,48	5,72	7,75	5,21	5,59	8,48	5,69	14,61	3,28

\*\*; \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F; <sup>(1)</sup>Dados transformados para  $\sqrt{x + 0,5}$ ; <sup>(2)</sup>Número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), porte de planta (PP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G), produtividade de grãos (PG); índice de grãos (IG), tempo de cocção (TC).

Segundo Ramalho; Ferreira; Oliveira (2012), o critério adotado por Pimentel-Gomes (2009) na classificação do CV desconsidera a cultura estudada e o caráter avaliado. Considerando adicionalmente esses aspectos, a precisão experimental foi boa para todos os caracteres agrônômicos avaliados.

#### 4.1.2 Caracteres nutricionais e culinário

As populações apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) para a concentração de proteína e o tempo de cocção (Tabela 3). Isto indica que existe variabilidade na expressão desses caracteres, o que possibilita a prática da seleção e o seu melhoramento. A não significância para as concentrações de ferro e zinco no grão pode ser devido à forte influência ambiental, conforme as estimativas de parâmetros genéticos mostradas na Tabela 7. O efeito de contraste entre genitores e populações F<sub>4</sub> apresentou diferença significativa ( $P < 0,01$ ) apenas para concentração de proteína, evidenciando a diferença de comportamento médio entre genitores e populações.

**Tabela 3** – Resumo das análises de variância dos caracteres tempo de cocção (TC), concentração de proteína (CP), concentração de ferro (CF) e concentração de zinco (CZ) obtido a partir da avaliação de três genitores e oito populações F<sub>4</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

FV	GL	TC (min.)	GL	CP (%)	CF (mg kg <sup>-1</sup> )	CZ (mg kg <sup>-1</sup> )
Blocos	3	2,20	2	13,38	98,98	541,45
Genótipos	10	7,02**	10	2,69**	8,74 <sup>ns</sup>	8,36 <sup>ns</sup>
Genitores	2	3,75**	2	0,24 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
Populações F <sub>4</sub>	7	8,27**	7	2,90**	8,82 <sup>ns</sup>	8,92 <sup>ns</sup>
Gen. vs Pop. F <sub>4</sub>	1	4,85 <sup>ns</sup>	1	6,16**	22,96 <sup>ns</sup>	19,80 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	1,44	20	0,54	6,46	5,16
CV(%)		10,17		2,82	3,88	5,05

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Em um estudo prévio, conduzido por Moura (2011), com as mesmas populações e caracteres, porém nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, evidenciou diferenças apenas para a concentração de proteína. Costa (2013) encontrou variabilidade para a concentração de ferro em populações resultantes de outro cruzamento em feijão-

caupi. Entretanto, Carvalho (2011), ao avaliar vários cruzamentos de feijão-caupi encontrou diferenças significativas para as concentrações de proteína, ferro e zinco.

O coeficiente de variação experimental variou de 2,82% (Concentração de proteína) a 10,17% (tempo de cocção), evidenciando boa precisão experimental para os caracteres nutricionais e culinário (Tabela 3), de acordo com o critério adotado por Pimentel Gomes (2009). Precisos similares foram obtidos por Carvalho (2011) e Moura (2011).

As médias dos caracteres TC, CP, CF e CZ foram, respectivamente, 11,80 minutos, 26,13 %, 65,43 mg kg<sup>-1</sup> e 45,03 mg kg<sup>-1</sup>. Essas médias foram semelhantes aos obtidos por Moura (2011), avaliando essas mesmas populações de feijão-caupi na geração F<sub>3</sub>. Mesmo sendo as mesmas populações, essas se encontravam em gerações diferentes e foram avaliados em áreas experimentais diferentes. E a metodologia de avaliação do tempo de cocção adotada nos dois trabalhos embora fosse a mesma (cozedor de Mattson), houve diferença na etapa de embebição. A média da CF foi semelhante à obtida por Costa (2013), estudando populações segregantes obtidas dos cruzamentos com os genitores, BRS Xiquexique, BR 17-Gurguéia, IT-98K-205-8 e Evx-63-10E, para esse caráter em feijão-caupi.

Segundo Waters; Sankaran (2011), a concentração de micronutrientes nos grãos depende da quantidade disponível no solo e da habilidade dos genótipos de extrair e translocar estes até os grãos. Guimarães et al. (2011) relata a importância da adoção de práticas agronômicas adequadas, como a aplicação de doses adequadas de nutrientes no solo, que pode tanto aumentar a produtividade dos grãos como agregar maior valor nutritivo aos mesmos.

## **4.2 Comparação de médias**

### **4.2.1 Caracteres agronômicos**

As estimativas de médias para os caracteres NDIF e NDM variaram de 38 a 42 dias e 56 a 59 dias, respectivamente, com a linhagem IT-98K-205-8 apresentando o limite inferior e a população F<sub>4</sub>C<sub>31</sub> o superior para estes caracteres (Tabela 4). A linhagem IT-98K-205-8 destacou-se das demais por apresentar a menor média para esses caracteres, podendo ser utilizada em cruzamentos que visem à precocidade.

**Tabela 4** – Médias<sup>1</sup> dos caracteres agrônômicos obtidas a partir da avaliação de três genitores e oito populações F<sub>3</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

Genótipo	NDIF (dia)	NDIM (dia)	PP (nota)	ACAM (nota)	VC (nota)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )	IG (%)
P <sub>1</sub>	41,8ab	58,8ab	1,76a	1,82a	1,80ab	22,70a	16,60a	17,93a	1.859,88ab	81,72a
P <sub>2</sub>	38,3c*	56,8b*	1,43bc*	1,41c*	1,98ab	18,00b*	12,85b*	16,40ab	1.337,85ab*	78,60ab
P <sub>3</sub>	40,8ab	57,0b	1,25c*	1,50bc*	2,00ab*	20,2ab*	13,20b*	13,48c*	1.292,29b*	70,67c*
F <sub>4</sub> C <sub>12</sub>	39,8bc	58,3ab	1,71a	1,55abc*	1,82ab	21,00a	14,25ab	15,53bc*	1.507,25ab	77,10ab
F <sub>4</sub> C <sub>21</sub>	40,3bc	57,8ab	1,66ab	1,63abc	1,87ab	21,70a	13,45b*	16,88ab	1.554,19ab	76,58abc
F <sub>4</sub> C <sub>13</sub>	41,5ab	58,3ab	1,78a	1,84a	1,75b	21,10a	13,80ab*	17,18ab	1.489,47ab	75,04bc*
F <sub>4</sub> C <sub>31</sub>	42,8 <sup>a</sup>	59,3a	1,78a	1,70abc	1,76b	22,50a	13,90ab*	16,30ab	1.460,00ab	76,34abc
F <sub>4</sub> RC <sub>12</sub>	40,8ab	58,0ab	1,73a	1,75ab	1,87ab	21,4a	15,20ab	16,88ab	1.882,57 <sup>a</sup>	80,24ab
F <sub>4</sub> RC <sub>21</sub>	40,0bc	57,3ab	1,71a	1,65abc	1,85ab	21,4a	13,75ab*	17,15ab	1.702,32ab	78,94ab
F <sub>4</sub> RC <sub>13</sub>	41,0ab	58,0ab	1,75a	1,80ab	1,76b	20,9a	13,65b*	16,60ab	1.600,76ab	79,75ab
F <sub>4</sub> RC <sub>31</sub>	41,3ab	57,5ab	1,66ab	1,77ab	1,85ab	22,1a	14,90ab	16,55ab	1.875,19 <sup>a</sup>	78,14ab
Média geral	40,73	57,89	1,65	1,68	1,84	21,18	14,14	16,44	1.330,43	77,55

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ); \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett ( $P < 0,05$ ): Contraste entre o parental P<sub>1</sub> – BRS Xiquexique e os demais genótipos avaliados. <sup>1</sup>Número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para o início da maturação (NDM), porte de planta (PP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G), produtividade de grãos (PG), índice de grãos (IG), tempo de cocção (TC), concentração de proteína (CP).

Dentre as populações F<sub>4</sub>, destacaram-se F<sub>4</sub>C<sub>12</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>21</sub> como as mais precoces. Matos Filho et al. (2009), avaliando progênies de feijão-caupi, e Rocha et al. (2003), avaliando um grupo de linhagens de feijão-caupi de tegumento branco, obtiveram variações semelhantes para esses caracteres.

Para os caracteres PP, ACAM e VC foram obtidos, respectivamente, amplitude de 1,25 (IT-97K-1042-3) a 1,78 (F<sub>4</sub>C<sub>13</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>); 1,41 (IT-98K-205-8) a 1,84 (F<sub>4</sub>C<sub>13</sub>); e 1,75 (F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>) a 2,0 (IT-97K-1042-3) (Tabela 4). As linhagens IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3 destacaram-se para esses caracteres, sendo promissores em cruzamentos que visem à melhoria da arquitetura de planta em feijão-caupi.

O COMPV variou de 17,99 cm (IT-98K-205-8) a 22,72 cm (BRS Xiquexique). Os genótipos com valores acima de 18 cm são boas fontes de genes para aumento do tamanho da vagem em feijão-caupi, pois estão acima da média das cultivares de feijão-caupi lançadas até o momento (FREIRE FILHO et al., 2011). As médias de NGV variaram de 12,85 grãos (IT-98K-205-8) a 16,6 grãos (BRS Xiquexique). Observa-se que a cultivar BRS Xiquexique apresenta bom potencial como genitor em futuros cruzamentos quando o objetivo for maior quantidade de grãos por vagem. O P100G variou de 13,48 g (IT-97K-1042-3) a 17,93g (BRS Xiquexique). Esses valores estão abaixo da média do tamanho de grão das cultivares de feijão-caupi (FREIRE FILHO et al., 2011). Atualmente busca-se tamanho de grão acima de 20 g, devido à exigência de mercado.

A PG variou de 1.292,29 kg ha<sup>-1</sup> a 1.882,57kg ha<sup>-1</sup> e IG com intervalo de 70,67% (IT-97K-1042-3) a 81,72% (BRS Xiquexique). Essas variações de PG e IG são consideradas bons indicativos em termos de potenciais de genótipos de feijão-caupi.

Para a maioria dos caracteres, os genótipos BRS Xiquexique, IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3, respectivamente, destacaram-se com os melhores desempenhos. A média geral de PG foi 1.330,43 kg ha<sup>-1</sup> e apenas a linhagem IT-97K-1042-3 teve produtividade inferior a essa média.

O contraste entre o genitor BRS Xiquexique (cultivar brasileira) e os demais genótipos apresentou diferença significativa (P<0,05) para a maioria dos caracteres. Pelo menos um dos genótipos apresentaram contraste significativo, exceto as populações F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub> e F<sub>4</sub>RC<sub>31</sub> (Tabela 4). Para os caracteres NDIF e NDM, apenas IT-98K-205-8 apresentou diferença em relação à BRS Xiquexique, e esta última apresentando melhor desempenho, indicando que a linhagem diferiu positivamente



com menor média em relação a cultivar, visto que se espera obter genótipos mais precoces.

Para os caracteres PP, COMPV e PG apenas as linhagens, IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3 diferiram da cultivar brasileira apresentando menores médias, visto que, são genótipos exóticos. Em VC apenas IT-97K-1042-3 diferiu positivamente da BRS Xiquexique apresentando melhor média que a cultivar. Para ACAM os genótipos IT-98K-205-8, IT-97K-1042-3 e F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub> diferiram positivamente da cultivar, com menores médias, quanto a obtenção de genótipos com arquitetura mais ereta.

Em NGV teve diferença significativa entre a cultivar e os genótipos IT-97K-1042-3, IT-98K-205-8, F<sub>4</sub>C<sub>21</sub>, F<sub>4</sub>C<sub>13</sub>, F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>, F<sub>4</sub>RC<sub>21</sub> e F<sub>4</sub>RC<sub>13</sub>, estes apresentando médias menores. Para P100G houve diferença significativa entre os genótipos IT-97K-1042-3, F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub> e a cultivar, estes apresentando menores médias. E IG com IT-97K-1042-3 e F<sub>4</sub>C<sub>13</sub> apresentando menor média que a cultivar brasileira. Portanto, estes resultados indicam que estes genótipos diferiram da BRS Xiquexique positivamente (melhor média) ou negativamente (menor média).

#### 4.2.2 Caracteres nutricionais e culinário

O caráter TC variou de 9,46 (F<sub>4</sub>C<sub>12</sub>) a 13,73 minutos (BRS Xiquexique), destacando-se a população F<sub>4</sub>C<sub>12</sub> com o menor tempo de cocção (Tabela 5). Essa população segregante é promissora para a seleção de progênies com rápido tempo de cozimento, uma preferência do consumidor.

Ribeiro et al. (2007) relata a falta de padronização na metodologia de avaliação do tempo de cocção dificultando a comparação dos resultados obtidos. No entanto, o cozimento é importante para a inativação dos fatores antinutricionais, além de conferir características importantes para o consumo, como maciez e textura adequada para o consumo (YOKOYAMA; STONE, 2000). Desta maneira, o caráter culinário tem grande importância na aceitação de uma cultivar de feijão-caupi pelos consumidores.

A concentração de proteína variou de 25,24% (F<sub>4</sub>RC<sub>21</sub>) a 28,52% (IT-97K-1042-3) (Tabela 5). Essa variação encontra-se acima da média da espécie citada na literatura (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). A média geral de 26,14% foi superada pelos genótipos IT-97K-1042-3, F<sub>4</sub>C<sub>21</sub>, F<sub>4</sub>C<sub>13</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>, evidenciando que estes são promissores para esse caráter.

**Tabela 5** – Médias<sup>1</sup> dos caracteres nutricionais e culinário obtidas a partir da avaliação de três genitores e oito populações F<sub>4</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

Genótipo	TC (min.)	CP (%)	CF (mg kg <sup>-1</sup> )	CZ (mg kg <sup>-1</sup> )
P <sub>1</sub>	13,73 <sup>a</sup>	25,36 <sup>b</sup>	65,00	43,34
P <sub>2</sub>	10,83 <sup>abc*</sup>	25,84 <sup>b</sup>	63,27	45,74
P <sub>3</sub>	11,77 <sup>abc</sup>	28,52 <sup>a*</sup>	66,20	46,31
F <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	9,46 <sup>c*</sup>	26,13 <sup>b</sup>	65,25	48,08
F <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	11,25 <sup>abc</sup>	26,52 <sup>ab</sup>	66,06	45,74
F <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	10,71 <sup>bc*</sup>	26,52 <sup>ab</sup>	66,91	43,04
F <sub>4</sub> C <sub>4</sub>	13,55 <sup>ab</sup>	26,73 <sup>ab</sup>	69,25	46,89
F <sub>4</sub> RC <sub>1</sub>	11,47 <sup>abc</sup>	25,59 <sup>b</sup>	65,64	45,93
F <sub>4</sub> RC <sub>2</sub>	12,08 <sup>abc</sup>	25,24 <sup>b</sup>	63,30	44,28
F <sub>4</sub> RC <sub>3</sub>	13,41 <sup>ab</sup>	25,30 <sup>b</sup>	64,43	43,32
F <sub>4</sub> RC <sub>4</sub>	11,53 <sup>abc</sup>	25,75 <sup>b</sup>	64,49	43,71
Média geral	11,80	26,14	65,25	45,54

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey (P<0,05); \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett (P<0,05): Contraste entre o parental P<sub>1</sub> – BRS Xiquexique e os demais genótipos avaliados; tempo de cocção (TC), concentração de proteína (CP), concentração de ferro (CF), concentração de zinco (CZ).

A linhagem IT-97K-1042-3 representa uma boa fonte de genes para aumento do teor de proteína em feijão-caupi, confirmando os resultados anteriormente encontrados para esse genótipo por Carvalho (2011) e Moura (2011).

Os caracteres CF e CZ variaram de 63,27(IT-98K-205-8) a 69,25 mg kg<sup>-1</sup> (F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>) e 43,04 (F<sub>4</sub>C<sub>13</sub>) a 48,08 (F<sub>4</sub>C<sub>12</sub>) mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Moura (2011). Amplitudes maiores foram obtidas para esses caracteres por Carvalho (2011) e Santos; Boiteux (2013) e, para CF, por Costa (2013).

O contraste entre o genitor BRS Xiquexique e os demais genótipos apresentou diferença significativa (P<0,05), indicando que estes podem diferir da BRS Xiquexique positivamente (melhor média) ou negativamente (menor média). Em CP apenas IT-97K-1042-3 apresentou contraste significativo apresentando maior média. E, TC os genótipos IT-98K-205-8, F<sub>4</sub>C<sub>12</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>13</sub> apresentaram médias inferiores a cultivar. Entretanto, para os caracteres CF e CZ não houve contraste significativo (Tabela 5).

### 4.3 Estimativas de parâmetros genéticos

#### 4.3.1 Caracteres agronômicos

As estimativas de herdabilidade ( $h^2$ ) foram superiores a 70% para todos os caracteres (Tabela 6), indicando que há uma boa confiabilidade do genótipo com base na seleção fenotípica. O coeficiente de variação genético (CVg) variou de 1,24 para o NDM a 11,87% para a PG, evidenciando que maior sucesso entre os caracteres será obtido com a seleção sobre PG. A relação CVg/CVe apresentou amplitude de 0,79 para PG a 1,96 para PP.

Em avaliação do potencial de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta, Matos Filho et al. (2009), obtiveram estimativas de  $h^2$  inferiores, exceto para o caráter NDIF, que apresentou valores superiores. Já para a relação CVg/CVe, as estimativas, desses autores, para os caracteres NDIF, NGV, P100G e PG foram inferiores às obtidas neste trabalho.

**Tabela 6** – Estimativas de parâmetros genéticos de caracteres agronômicos<sup>1</sup> obtidas a partir da avaliação de três genitores e oito populações F<sub>3</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

Parâmetro	NDIF	NDM	PP	ACAM	VC	COMPV	NGV	P100G	PG	IG
	(dia)	(dia)	(nota)	(nota)	(nota)	(cm)	(unid.)	(g)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)
$h^2$ (%)	87,45	73,68	93,88	83,01	73,69	84,32	75,75	87,88	71,30	85,78
CVg (%)	3,14	1,24	11,32	8,69	4,33	6,52	7,49	7,72	11,87	4,06
CVg/Cve	1,32	0,84	1,96	1,11	0,84	1,16	0,88	1,35	0,79	1,23

<sup>1</sup>Número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), porte de planta (PP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G) produtividade de grãos (PG), índice de grãos (IG), tempo de cocção (TC).

No estudo do potencial dos mesmos genótipos e caracteres em gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, exceto NDM, desenvolvido por Moura (2011) as estimativas de  $h^2$  e CVg para NDIF, ACAM, COMPV, P100G e IG foram inferiores às deste trabalho. No entanto, para os caracteres TP, VC, NGV, PG apresentaram-se superiores.

A relação CVg/CVe apresentou magnitudes satisfatórias para os caracteres NDIF, TP, ACAM, COMPV, P100G e IG (>1,0) (Tabela 6). Segundo Vencovsky (1978), valores igual ou superior a 1,0 para um determinado caráter, indicam

situação favorável ao melhoramento, visto que a maior porção da variação fenotípica é determinada por variações genéticas.

Embora a PG tenha apresentando herdabilidade acima de 70% (Tabela 6), o quociente CVg/CVe obtido foi abaixo de 1,0, evidenciando uma maior influência ambiental nesse caráter, visto que é de natureza poligênica e influenciado fortemente pelo ambiente.

Em estudo de parâmetros genéticos em populações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> de feijão-caupi, Bhadrú; Navale (2012), obtiveram estimativas de CVg e h<sup>2</sup> mais elevadas do que as obtidas no presente trabalho para os caracteres NDM, NGV, P100G e PG..

#### 4.3.2 Caracteres nutricionais e culinário

As estimativas de parâmetros genéticos dos caracteres nutricionais e culinário são apresentadas na Tabela 7. A concentração de proteína apresentou herdabilidade alta, acima de 80%, evidenciando boa confiabilidade do fenótipo na seleção para altos teores de proteína nas populações avaliadas. Moura (2011) encontrou também herdabilidade elevada para esse caráter, porém inferior (74,31%) da obtida no presente trabalho, avaliando as mesmas populações na geração F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

**Tabela 7** – Estimativa de parâmetros genéticos dos caracteres nutricionais e culinário<sup>1</sup> obtidas a partir da avaliação de três genitores e oito populações F<sub>4</sub> de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

Parâmetro	CP (%)	CF (mg kg <sup>-1</sup> )	CZ (mg kg <sup>-1</sup> )	TC (min.)
h <sup>2</sup> (%)	81,24	25,99	38,22	82,58
CVg (%)	3,35	1,33	2,29	11,27
CVg/Cve	1,20	0,34	0,45	1,09

<sup>1</sup>Concentrações de proteína (CP), Ferro (CZ) e zinco (CZ), tempo de cocção (TC).

As concentrações de ferro e zinco apresentaram estimativas de herdabilidade e CVg/CVe baixas (Tabela 7). Portanto, estas estimativas evidenciam alta influência ambiental indicando que a seleção será difícil para o aumento das concentrações desses caracteres nos grãos das populações segregantes de feijão-caupi avaliadas. Moura (2011) também obteve herdabilidade baixa para CF e CZ, avaliando essas mesmas populações nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

Segundo Rocha et al. (2009) e Rocha et al. (2013), as concentrações de ferro e zinco no grão de feijão-caupi são bastante influenciadas pelo ambiente. Entre os fatores ambientais que influenciam as estimativas de parâmetros desses caracteres neste trabalho foi a disponibilidade desses minerais no solo da área experimental, apresentando em média  $49,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de ferro e  $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$  de zinco (Anexo 1). No entanto observou-se uma variação acentuada entre alguns blocos, o que pode ser indício de manchas de solos na área experimental, contribuindo para as altas estimativas da variância ambiental, em detrimento da variância genética.

O tempo de cocção (TC) apresentou herdabilidade acima de 80% e componente genético superior ao componente ambiental (CVg/CVe) (Tabela 7). Moura (2011) também teve herdabilidade elevada para o TC.

Segundo os resultados da relação CVg/CVe, maior sucesso será obtido no melhoramento dos caracteres CP e TC, pois apresentaram valores acima de 1 (Tabela 7), com, respectivamente, 1,2 e 1,09, tendo em vista que a maior proporção da variação fenotípica observada é devido às diferenças genéticas.

#### **4.4 Correlações genotípicas entre caracteres**

As estimativas de correlações genotípicas entre os caracteres avaliados e o número de condição, que mede o nível de multicolinearidade entre os caracteres, são apresentados na Tabela 8. O diagnóstico de multicolinearidade apresentou número de condição (NC) igual a 1,046 (Tabela 8). De acordo com Montgomery; Peck (1981), esse valor é menor que 100, indicando que a multicolinearidade entre os caracteres é fraca. Portanto, não constitui um problema para a obtenção dos índices de seleção. Segundo Pedrozo et al. (2009), a ausência de inter-relação ou multicolinearidade entre os caracteres garante a confiabilidade das variâncias estimadas e, conseqüentemente dos coeficientes de correlações entre caracteres.

Para efeito das discussões das correlações entre caracteres neste trabalho, adotou-se o seguinte intervalo de magnitude, conforme Costa (2013): estimativas inferiores a 0,4 serão consideradas de baixa magnitude; entre 0,4 a 0,7, de média magnitude; e acima de 0,7, de alta magnitude.

**Tabela 8** – Estimativas de coeficientes de correlação genotípica entre caracteres agrônômicos, nutricionais e culinário obtidos a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2013.

Caráter	NDIM (dia)	PP (dia)	ACAM (nota)	VC (nota)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )	IG (%)	TC (min.)	CP (%)	CF (mg kg <sup>-1</sup> )	CZ (mg kg <sup>-1</sup> )
NDIF	0,76**	0,48**	0,74**	-0,65**	0,81**	0,46*	0,15 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,62**	0,14 <sup>ns</sup>	0,72**	-0,13 <sup>ns</sup>
NDIM		0,74**	0,61**	-0,81**	0,74**	0,52**	0,37*	0,25 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,41*	-0,14 <sup>ns</sup>	0,68**	0,12 <sup>ns</sup>
TP			0,77**	-0,92**	0,67**	0,48*	0,77**	0,58**	0,60**	0,24 <sup>ns</sup>	-0,65**	0,20 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>
ACAM				-0,80**	0,74**	0,61**	0,62**	0,67**	0,40*	0,46*	-0,42*	0,23 <sup>ns</sup>	-0,57**
VC					-0,67**	-0,36*	-0,57**	-0,35*	-0,35*	-0,35*	0,42*	-0,37*	0,27 <sup>ns</sup>
COMPV						0,66**	0,39*	0,62**	0,23 <sup>ns</sup>	0,47*	-0,17 <sup>ns</sup>	0,45*	-0,05 <sup>ns</sup>
NGV							0,49**	0,82**	0,59**	0,33*	-0,44*	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>
P100G								0,64**	0,80**	0,27 <sup>ns</sup>	-0,81**	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,57**
PG									0,72**	0,27 <sup>ns</sup>	-0,68**	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,37*
IG										0,31*	-0,95**	-0,46*	-0,38*
TC											-0,17 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	-0,36*
CP												0,55**	0,46*
CF													0,40*

NC<sup>2</sup>=1,046

\*\* , \*significativo a 1% e 5%, respectivamente pelo teste t; <sup>ns</sup> Não significativo; <sup>1</sup>Número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), porte de planta (PP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G) produtividade de grãos (PG), índice de grãos (IG), e tempo de cocção (TC), concentração de proteína (CP), concentração de ferro (CF) e concentração de zinco (CZ); <sup>2</sup>NC = Número de condição de Montgomery; Peck (1981).

A maioria das correlações genótípicas obtidas neste trabalho foi baixa (43%), média (38%) e apenas 19% de alta magnitude. Esses resultados concordam com os obtidos por Costa (2013), que avaliando os coeficientes de correlações fenotípicas em 13 caracteres agronômicos e nutricionais de seis populações de feijão-caupi, encontrou coeficientes de correlações fenotípicas variando de baixo a média magnitude. No entanto, as magnitudes obtidas de forma geral nesse trabalho foram superiores às obtidas por Costa (2013), com a vantagem de terem sido obtidas com base em variâncias e covariâncias genéticas, estimadas via metodologia REML/BLUP, que segundo Resende (2002b), garante mais acurácia às estimativas.

A produtividade de grãos apresentou correlações genótípicas positivas de média a alta com os caracteres PP, ACAM, COMPV, NGV, P100G e IG. Isso indica que a seleção indireta para aumento dos caracteres COMPV, NGV, P100G e IG pode levar a ganhos simultâneos para a produtividade de grãos. Entretanto, a seleção para porte mais ereto da planta e baixo acamamento como forma indireta de seleção para aumento da produtividade de grãos deve ser evitada. As correlações entre PG com PP, COMPV, NGV, P100G foram semelhantes em sentido e magnitude às obtidas por Silva; Neves (2011a), mas diferentes em magnitude, quando comparadas às obtidas por Costa (2013).

As correlações genótípicas entre a produtividade de grãos e os caracteres nutricionais foram, geralmente, negativas e de média magnitude com a concentração de proteína e baixa magnitude com as concentrações de ferro e zinco. A correlação entre a produtividade de grãos e a concentração de proteína, por ser mais forte (-0,68), sugere que a seleção para aumentos na produtividade de grãos pode levar a decréscimos na concentração de proteína no grão. Santos; Boiteux (2013) também encontraram correlação negativa, porém fenotípica e baixa (-0,19) entre esses dois caracteres.

Correlações negativas de baixa magnitude, entre a produtividade e as concentrações de ferro e zinco no grão, indicam que a seleção para aumento de produção não afeta a concentração desses microminerais no grão. Resultados diferentes foram obtidos por Moura et al. (2012), que encontraram correlações negativas e de média magnitude (-0,54 e -0,56) entre esses caracteres. Diferentemente desses resultados, Santos; Boiteux (2013) obtiveram correlação positiva e de média magnitude (0,45) entre a produção e a concentração de ferro no grão, avaliando linhagens derivadas de cruzamentos visando produção e a

biofortificação de minerais. Como estes resultados são influenciados pelo ambiente, resultados discrepantes na literatura podem estar correlacionados à disponibilidade desses nutrientes para as plantas.

As correlações genotípicas negativas como a concentração de proteína no grão e os componentes de produção, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, peso de cem grãos e índice de grãos, indicam que o melhoramento para aumento desses componentes pode levar à diminuição da concentração de proteína no grão. Resultados semelhantes foram encontrados por Moura et al. (2012), estudando essas mesmas populações na geração F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

Resultados semelhantes foram obtidos por Moura et al. (2012), avaliando essas mesmas populações segregantes de feijão-caupi na geração F<sub>3</sub>, e Costa (2013), avaliando outras seis populações de feijão-caupi na geração F<sub>3</sub>, sendo ambas as populações derivadas de cruzamentos com ênfase na produção e biofortificação para ferro e zinco no grão.

Os coeficientes de correlações genotípicos entre os caracteres relacionados ao ciclo da cultura (NDIF e NDM) e os caracteres concentração de ferro no grão e o tempo de cocção, foram positivas (Tabela 8), indicando que o melhoramento para precocidade, um dos objetivos do programa de melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte (ROCHA et al., 2013), pode levar a decréscimos na concentração de proteína no grão e no tempo de cozimento. Resultado semelhante foi obtido por Costa (2013), que obteve correlação positiva e significativa entre a produção e o ciclo de maturação. Moura et al. (2012) encontrou correlação positiva entre a maturação e o tempo de cozimento. Segundo Moura et al. (2012), essa última correlação é uma situação favorável para a obtenção de genótipos precoces e de rápido tempo de cozimento, o que atualmente é enfatizado no melhoramento de feijão-caupi no Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011; ROCHA et al., 2013).

A correlação entre o peso de cem grãos e o índice de grãos é positiva e alta, sugerindo que a seleção para aumento do tamanho do grão, pode levar a ganhos simultâneos para a relação grão/vagem em feijão-caupi. O mercado atual tem requisitado cada vez grãos maiores (FREIRE FILHO et al., 2011; ROCHA et al., 2013), que aliado a um alto índice de grãos, representa uma situação ideal atualmente requerida pelos produtores e comerciantes.

As correlações genotípicas entre as concentrações de proteína e as concentrações de ferro e zinco no grão foram, em geral, positivas. Essa situação é



favorável para a seleção simultânea visando aumento na concentração desses nutrientes em feijão-caupi. Esses resultados foram diferentes dos obtidos por Santos; Boiteux (2013) e Moura et al. (2012), que encontraram correlações fenotípicas positivas e negativas, porém baixas, entre esses caracteres, que variou de -0,02 a 0,31. Moura et al. (2012) encontraram resultado similar ao obtido neste trabalho para a correlação entre a concentração de proteína e ferro no grão, que também foi positiva e de média magnitude (0,63).

#### 4.5 Ganho genético esperado com a seleção simultânea de caracteres

As estimativas de ganhos genéticos esperados em porcentagem com base na seleção simultânea dos caracteres agrônômicos, nutricionais e culinários avaliados em oito populações F<sub>3</sub> para caracteres agrônômicos F<sub>4</sub> para caracteres nutricionais e culinário de feijão-caupi são apresentadas na Tabela 9.

Com base no índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), as populações F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub>, F<sub>4</sub>RC<sub>21</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>21</sub> apresentaram os maiores ganhos genéticos, com 0,36%, 0,33% e 0,29%, respectivamente. Este índice teve os menores ganhos genéticos, relativamente aos índices multiplicativo de Subandi; Compton; Empig (1973) e soma de postos ou *ranks* de Mulamba; Mock (1978).

**Tabela 9** – Estimativas de ganhos genéticos esperados (Gs) com a seleção simultânea de 14 caracteres, avaliados em oito populações de feijão-caupi, por meio do uso dos índices clássico (Smith, 1936; e Hazel, 1943), soma de postos ou *ranks* (Mulamba; Mock, 1978) e multiplicativo (Subandi; Compton; Empig 1973). Teresina, PI, 2013.

Smith (1936) e Hazel (1943)		Mulamba; Mock (1978)		Subandi; Compton; Empig (1973)	
População	Gs (%)	População	Gs (%)	População	Gs (%)
F <sub>4</sub> RC <sub>12</sub>	0,36	F <sub>4</sub> RC <sub>12</sub>	31,25	F <sub>4</sub> C <sub>31</sub>	15,69
F <sub>4</sub> RC <sub>21</sub>	0,33	F <sub>4</sub> C <sub>21</sub>	29,90	F <sub>4</sub> RC <sub>13</sub>	13,31
F <sub>4</sub> C <sub>21</sub>	0,29	F <sub>4</sub> C <sub>12</sub>	23,53	F <sub>4</sub> RC <sub>12</sub>	12,04
F <sub>4</sub> RC <sub>31</sub>	0,27	F <sub>4</sub> RC <sub>21</sub>	19,43	F <sub>4</sub> RC <sub>31</sub>	10,45
F <sub>4</sub> C <sub>12</sub>	0,20	F <sub>4</sub> RC <sub>31</sub>	17,10	F <sub>4</sub> RC <sub>21</sub>	7,84
F <sub>4</sub> RC <sub>13</sub>	0,14	F <sub>4</sub> C <sub>31</sub>	10,53	F <sub>4</sub> C <sub>13</sub>	5,36
F <sub>4</sub> C <sub>13</sub>	0,08	F <sub>4</sub> C <sub>13</sub>	5,00	F <sub>4</sub> C <sub>21</sub>	3,26
F <sub>4</sub> C <sub>31</sub>	0,00	F <sub>4</sub> RC <sub>13</sub>	0,00	F <sub>4</sub> C <sub>12</sub>	0,00

Segundo Santos; Araújo (2001), um dos fatores que explicam os baixos ganhos proporcionados pelo índice clássico, relativamente aos demais índices utilizados neste trabalho, é o fato deste ser o único índice paramétrico e linear, sendo calculado com variâncias e covariâncias entre os caracteres, ou seja, depende das correlações entre estes. Também foi o único índice onde se levou em conta os pesos econômicos diferentes para os caracteres, com ênfase na produção, biofortificação e culinária. Com base nesse índice, as populações F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub>, F<sub>4</sub>RC<sub>21</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>21</sub> apresentam potencial de obtenção de ganhos genéticos com a seleção simultânea para precocidade de floração e maturação, porte ereto da planta, tamanho grande de grão, alta produtividade, tempo rápido de cozimento e altas concentrações de proteína, ferro e zinco no grão.

O índice de soma de postos ou *ranks* (MULAMBA; MOCK, 1978) e o multiplicativo (SUBANDI; COMPTON; EMPIG, 1973) apresentaram ganhos genéticos mais favoráveis (Tabela 9). Entretanto, observou-se que o genótipo F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub> teve os melhores ganhos preditos nos índices clássico e soma de postos ou *ranks*, respectivamente, com 0,36% e 31,25%. Portanto, esta população, com base nesses dois índices, reúne simultaneamente características favoráveis para produção, biofortificação e culinária.

No que diz respeito ao índice de soma de postos de Mulamba; Mock (1978), as populações F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub>, F<sub>4</sub>C<sub>21</sub> e F<sub>4</sub>C<sub>12</sub> mostraram os melhores ganhos genéticos, com 31,25%, 29,90% e 23,53%, respectivamente. Esse índice apresentou os maiores ganhos com a seleção simultânea. Segundo Cruz; Carneiro (2006), o índice de soma de postos ou *ranks* é não paramétrico, ou seja, não depende das variâncias e covariâncias entre os caracteres, no entanto, na presente análise, levou em conta o sentido da seleção para cada caráter. Segundo Santos; Araújo (2001) e Bertini et al. (2010), esse índice é de fácil interpretação e aplicabilidade.

Com relação ao índice multiplicativo de Subandi; Compton; Empig (1973), as populações F<sub>4</sub>C<sub>31</sub>, F<sub>4</sub>RC<sub>13</sub> e F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub>, apresentaram ganhos genéticos de 15,69 %, 13,31 % e 12,04 %, respectivamente. Santos; Araújo (2001), em estudos sobre aplicação de índices de seleção em feijão-caupi, relataram que os índices soma de postos ou *ranks* e multiplicativo estiveram entre os melhores, apresentando progressos genéticos satisfatórios com a seleção simultânea de caracteres. Dias (2009), ao utilizar vários índices na seleção de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e precoces, evidenciou o índice multiplicativo de Subandi; Compton; Empig

(1973) como um dos que foram mais eficientes na seleção de genótipos superiores com relação à produtividade de grãos. Pedrozo et al. (2009), utilizaram os mesmos índices de seleção do presente trabalho em um estudo de ganho genético, também estimados via modelos mistos e método RMEL/BLUP em cana-de-açúcar e obtiveram maior eficiência de seleção, relativamente aos demais.

Estimativas do ganho genético esperado com a seleção utilizando índices de seleção em feijão-caupi ainda são escassas (SANTOS; ARAÚJO, 2001; DIAS, 2009; BERTINI et al., 2010; SANTOS; BOITEUX, 2013; ABUA; AKPANWO; OBOK, 2014), principalmente comparando índices (SANTOS; ARAÚJO, 2001; DIAS, 2009). A literatura relata mais trabalhos em outras culturas. Arnhold; Silva (2009), em estudos da eficiência relativa de índices de seleção considerando espécies vegetais, obteve resultado similar ao deste trabalho, visto que o índice clássico de Smith (1836) e Hazel (1943) apresentou desempenho inferior ao de soma de *ranks* de Mulamba e Mock (1978). No entanto, Neves et al. (2011), ao predizer ganhos com índices de seleção para caracteres do maracujazeiro, evidenciou os índices clássico e de soma de postos com ganhos satisfatórios a partir das análises genotípica e fenotípica.

Os coeficientes de coincidências e correlação de Sperman entre índices clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), multiplicativo de Subandi; Compton; Empig (1973) e soma de postos ou *ranks* de Mulamba; Mock (1978), estimados com base no ranqueamento dos ganhos genéticos esperados pelas populações segregantes de feijão-caupi a partir da seleção simultânea de todos os caracteres são apresentados na Tabela 10.

O coeficiente de coincidência entre os três índices de seleção indicam o quanto suas abordagens e princípios estatísticos coincidem ou divergem entre si. Dentre estes índices, verificaram-se coeficientes baixos, indicando que suas abordagens e princípios estatísticos são diferentes entre si. De acordo com Pedrozo et al. (2009), quanto maior o coeficiente de coincidência entre dois índices de seleção, maior será a concordância dos resultados de seleção entre eles.

Tendo em vista que o coeficiente de coincidência revela a concordância do resultado da seleção entre índices, nota-se que a menor concordância foi verificada entre os índices multiplicativo de Subandi; Compton; Empig. (1973) e soma de postos ou *ranks* de Mulamba; Mock (1978), onde não houve coincidência entre as classificações dos ganhos genéticos entre as populações. Mas, o índice multiplicativo revelou coincidência de 12% com índice clássico. Entretanto, o índice

clássico e soma de *ranks* apresentaram maior coincidência (25%), ou seja, estes índices apresentaram semelhanças na classificação dos ganhos genéticos esperado com a seleção simultânea entre as populações, mesmo se tratando de metodologias diferentes.

**Tabela 10** - Coeficientes de coincidência e correlação de Spearman entre os índices de seleção clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), multiplicativo de Subandi; Compton; Empig (1973) e soma de postos ou *ranks* de Mulamba; Mock (1978) estimados com base no ranqueamento dos ganhos genéticos esperados de oito populações de feijão-caupi com a seleção simultânea de 14 caracteres. Teresina, PI, 2013.

	Índice multiplicativo	Índice de soma de ranks
Índice clássico	0,125 (-0,24)	0,25 (0,79)
Índice multiplicativo		0,00 (-0,40)

Com base nos coeficientes de correlação de Spearman (ao lado entre parêntese) (Tabela 10), observa-se que houve uma correlação alta e positiva entre os índices clássico e soma de *ranks*, indicando que esses índices foram redundantes quanto a estimativa do ganho genético esperado com as seleção simultânea dos caracteres. Neste, caso deve-se utilizar um deles, no caso o soma de *ranks*, já que este proporcionou os melhores ganhos. A correlação baixa e negativa entre os índices multiplicativo e de soma de postos ou *ranks* sugere que esses dois índices apresentam propriedades diferentes quanto a forma de estimar o ganho esperado com a seleção simultânea de caracteres. De fato, embora esses dois índices sejam não paramétricos e não considerem pesos diferenciados para cada caráter, apresentam algumas diferenças; o índice de soma de postos ou *ranks* adota o ranqueamento dos índices e considera o sentido da seleção para efeito do cálculo do ganho, enquanto o índice multiplicativo realiza apenas um produto entre os índices de cada população na estimativa do ganho.

## 5 CONCLUSÕES

As populações de feijão-caupi avaliadas apresentaram variabilidade genética para maioria dos caracteres analisados, evidenciando potencial para o melhoramento destes, exceto para as concentrações de ferro e zinco no grão.

A seleção para precocidade e alta produtividade de grãos pode levar a ganhos negativos na concentração de ferro no grão.

A seleção para aumento da produtividade e índice de grãos pode levar a decréscimos nas concentrações de proteína e ferro no grão.

A seleção para rápido tempo de cozimento do grão não influencia nos caracteres de produção e biofortificação, exceto a precocidade.

Os índices clássico de Smith e Hazel e de soma de postos ou *ranks* de Mulamba; Mock foram mais similares e os índices Multiplicativo de Subandi; Compton; Empig e de soma de postos ou *ranks* de Mulamba e Mock mais divergentes. Esses dois últimos apresentaram os maiores ganhos, destacando-se, respectivamente, as populações F<sub>4</sub>RC<sub>12</sub> (31,25%) e F<sub>4</sub>C<sub>31</sub> (15,69%).

O índice soma de postos ou *ranks* de Mulamba; Mock (1978) apresenta-se como a melhor alternativa, entre as metodologias avaliadas, para a estimação dos ganhos genéticos esperados com a seleção simultânea de caracteres agrônômicos, nutricionais e culinário, nas populações segregantes de feijão-caupi avaliadas.

## REFERÊNCIAS

ABUA. M.; AKPANWU. G.; OBOK. E. Lead selection traits relationship in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): is grain yield still key? **American Journal of Experimental Agriculture**, v.4, n.7, p.809-816, 2014.

AHMED, S.; ZARGAR, M. A.; ALI, T. Genetic variability, heritability, genetic advance for seed yield and component traits in cowpea. **National Journal of Plant Improvement**, v. 7, n. 2, p. 85-87, 2005.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; **Cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Sistemas de produção. 2002. 108p.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 15.ed. Washington: AOAC, 1990.

ARNHOLD, E.; SILVA, R. G. Eficiências relativas de índices de seleção considerando espécies vegetais e pesos econômicos iguais entre caracteres. **Biocience Journal**, v. 25, n. 3. P. 76-82, 2009.

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

BERNARDO, O. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2 ed. Wood burg: Stemma, 2010, 400p.

BERTINI, C. H. C. de M.; ALMEIDA, W. S. de; SILVA, A. P. M. da; LIMA, L. W.; TEÓFILO, E. M. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão- caupi. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 613-619, 2010.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; BARILI, L. D. GRIMALDI, F.; COELHO, C. M. M.; SILVEIRA, C. B. Avaliação do tempo máximo de hidratação e comparação entre duas metodologias d hidratação em grãos de feijão. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 22, n. 2, p. 77-82, 2010.

BHADRU, D.; NAVALE, P. A. Genetic variability parameters in F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> populations of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Legume Research**, v. 35, n. 1, p. 75-77, 2012.

- BIOFORT. **Biofortificação**: resultados.2014. Disponível em: [http://www.biofort.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=86:resultados&catid=47:institucionalcateg&Itemid=106](http://www.biofort.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=86:resultados&catid=47:institucionalcateg&Itemid=106). Acessado em: 15 fev. 2014
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 6.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 523p.
- BRITO, E. S. de (Ed.). **Feijão caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 97p.
- CARVALHO, L. C. B. **Cruzamentos dialélicos visando a obtenção de populações produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 111f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí. Teresina-PI.
- CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUBEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, 2012.
- COIMBRA, J. L. M.; BARILI, L. D.; VALE, N. M.; GUIDOLIN, A. F.; BERTOLDO, J. G.; ROCHA, F.; TOALDO, D. Seleção para caracteres adaptativos em acessos de feijão usando REML/BLUP. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 20, n. 02, p. 177-185, 2008.
- CORREA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. de A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 88-94, 2012.
- COSTA, M. M. **Potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e caracteres agronômicos em feijão-caupi**. 2013. 79f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí. Teresina-PI.
- COSTA, G. R.; RAMALHO, M. A. O.; ABREU, A. F. B. Variabilidade para absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 4, p. 1017-1021, 2001
- CRUZ, C. D. **Princípios de Genética Quantitativa**. Editora UFV, Viçosa. 2005. 394p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Estatística experimental e matrizes. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006a, 285p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006b. 382p.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed., v. 2, Viçosa: Editora UFV, 2006. 585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed., v. 1, Viçosa : Editora UFV, 2012. 514p.

DAMASCENO-SILVA, K. J. **Estatística da produção de feijão-caupi. Grupo cultivar**. <http://ww.grupocultivar.com.br/arquivos/estatistica.pdf>, 2009. Acesso em 14 de fevereiro de 2013.

DIAS, F. T. C. **Utilização de técnicas multivariadas e moleculares na caracterização e seleção de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce**, 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-Pi.

DIBB, D. W.; ROBERTS, T. L.; WELCH, R. M. Da quantidade para a qualidade: a importância dos fertilizantes na nutrição humana. **Informações agrônomicas**, Piracicaba, n. 111 p. 1-6, 2005.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. 2 ed. Viçosa: UFV, 1987, 279p

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

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; SITTOLIN, I. M.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. de; ALCÂNTARA, J. dos P.; FERNANDES, J. B.; GONÇALVES, J. R. P.; VILARINHO, A. A.; CRAVO, M. da S.; CAVALCANTE, E. da S.; NÚTTI, M. R.. **BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 4p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 209).

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; NOGUEIRA, M. S. R. Feijão-caupi: melhoramento genético, resultados e perspectivas. In; SIMPÓSIO NORDESTINO DE GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2009, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 25-59, 2009.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D. NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.

GIAMI, S. Y. Chemical composition and nutritional attributes of selected newly developed lines of soybean (*Glycine Max* L Merr.) **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 1735-1739, 2002.



GRAHAM, R. D. Biofortification: a global challenge program. **International Rice Research Notes**, v.28, p.4-8, 2003.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, L.; OUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems, **Advances in Agronomy**. v. 92, p. 1-74, 2007.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BASSINELO, P. Z.; SILVA, A. C. L.; BORGES, L. L. Biofortificação via aplicação de ferro no solo: respostas de genótipos. In: IV REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 4p. 1. CD ROM.

HARVESTPLUS. **Breeding crops for better nutrition**. Washington: CGIAR, 2009, 4p. In: <http://www.harvestplus.org>. Acessado: 13 jan. 2014.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, p. 476-490, 1943.

IDAHOSA, D. O.; ALIKA, J. E.; OMOREGIE, A. U. Genetic variability, heritability and expected genetic advance as indices for yield and yield components selection in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Academia Arena**, v. 2, n. 5, p. 22-26, 2010.

LIMA, E. D. P. A.; FIGUEIREDO, P. C. S.; SILVA, J. J.; NASCIMENTO, B. M. S.; FREIRE FILHO, F. R. Obtenção e utilização de farinha de feijão-caupi de grãos brancos na elaboração de pastel de forno. In: III CONAC - Congresso Nacional de feijão-caupi. **Anais**. Recife, PE. 2013.

LOPES, A. C. de A.; FREIRE FILHO, F. R.; QUERINO SILVA, R. B.; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. de M. Variabilidade e correlações entre caracteres agrônômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 515-520, 2001.

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

MATOS FILHO, C. H. A.; GOMES, R. L. F.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A.; Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 348-354, 2009.

MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, p. 166-170, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acessado: 13 jan. 2014.  
MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 504p

MORAES, M. F. **Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana**. Informação agrônômicas, n.123, p.21-23, 2008.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agrônômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: LANA, R. P.; MÂNCIO, A. B.; GUIMARÃES, G.; SOUZA, M. R. M. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1, 2009. **Anais**. Viçosa: Departamento de Zootecnia - UFV, p. 299-312, 2009.

MOREIRA, P. X.; BARBOSA, M. M.; GALLÃO, M. I.; LIMA, A. C.; AZEREDO, H. M. C. de; BRITO, E. S. Estrutura e composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). In: BRITO, E. S. de (Ed.). **Feijão caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. p. 13-24.

MOREIRA-ARAÚJO, R. R. S.; FROTA, K. M.; MENESES, M. A.; MARTINS, L. S.; ARAÚJO, A. M. Composição química de formulações elaboradas à base de farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

MOURA, J. O. **Potencial de populações segregantes e feijão-caupi para biofortificação e produção de grãos**, 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí. Teresina-PI.

MOURA, J. O; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. Path analysis of iron and zinc contents and others traits in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, p. 245-252, 2012.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40-51, 1978.

NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; INGLIS-VALADARES, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, 1183p.

NEVES, L. G.; BRUCKNER, C. H.; CRUZ, C. D.; VIANA, A. P.; BARELLI, M. A. A.; Predição de ganhos, com diferentes índices de seleção, para características de frutos do maracurazeiro-amarelo. **Revista de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 33, n.4, p. 1322-1330, 2011.

NUTTI, M. R. Biofortificação no Brasil: desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Teresina: Embrapa Meio-norte, 2011. **IV Reunião de Biofortificação**. Disponível: <<http://www.biofort.com.br/repositorio/arquivos/publicacoes>>. Acessado: 23 maio. 2013.

NUTTI, M.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. **A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes**. Embrapa Agroindústria de Alimentos: In: Workshop Internacional de Biologia Médica, Rio de Janeiro, jun. 2005. 5p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/>>

media/geo\_med7.pdf>. Acessado em: 25 maio. 2013

NUTTI, M. R.; ROCHA, M. M.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. de; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. Biofortificação do feijão-caupi no Brasil, In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 2, 2009, Belém, Da Agricultura de Subsistência ao agronegócio: **Anais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 1 CD-ROM.

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

PEDROZO, C. A.; BENITES, F. R. G.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. L. Eficiência de índices de seleção utilizando a metodologia REML/ BLUP no melhoramento da cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 31-36, 2009.

PIEPHO, H. P.; MOHRING, J.; MELCHINGER, E. A.; BUCHSE, A. Blup for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, v. 161, p. 209-228, 2008.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 2009, 467p.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v. 20, n. 1 p. 9-14, 1987.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2012, 305 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ABREU, A. F. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1 ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012a, 522p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 5 ed., Lavras: Ed. UFLA, 2012b, 565p.

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

RESENDE, M. D. V. **Software Selegen – REML/BLUP**. Curitiba: Embrapa, 2002a. 67 p. (Documentos, 77).

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002b. 975 p.

RIBEIRO, E. S.; CENTENO, D. G.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C.; FERNANDES, K. V. S.; XAVIER FILHO, J.; OLIVEIRA, A. E. A. Free Cyclitol, Soluble Carbohydrate and Protein Contents in *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* Bean Sprouts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p.4273-4278, 2011.

RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N. L.; ROSA, S. S., Padronização de Metodologia para Avaliação do Tempo de Cozimento dos Grãos de Feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 335-346, 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90866218>>. Acessado em: 04 mar. 2014.

ROCHA, M. M. O feijão-caupi combatendo a desnutrição, 2008. **Agrosoft Brasil**, Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/NoticiaDetalhe.aspx?codNoticia=73279>. Acessado em: 23 maio. 2013.

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

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, A. L. H.; FRANCO, L. J. D.; BASSINELO, P. Z.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. **Avaliação dos componentes de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi**, 2008, 4p. (Embrapa Meio-Norte, Comunicado Técnico, 212).

ROCHA, F. M. R.; MOUSINHO, S. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, S. M. S.; BEZERRA, A. A. de C. Aspectos da biologia floral do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5., 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão caupi: **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 27-29, 2001. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).

ROCHA, M. M.; SANTOS, A. M. F.; VILARINHO, A. A.; BARRETO, A. L. H.; FRANCO, L. J. D.; SILVA, A. B.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. Estimativas de parâmetros genéticos (G), ambientais (A) e da interação G x A para os conteúdos de ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi. In: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 3., 2009, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 1 CD-ROM. (Embrapa Tabuleiros. Documentos, 148).

ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D. Variabilidade genética de acessos de feijão-caupi para os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos. In: IV REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 5p. 1. CD ROM.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F.R.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RIBEIRO, V. Q. Melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil. In: JORNADA TECNOLÓGICA INTERNACIONAL SOBRE EL FRÍJOL CAUPÍ, 1., 2013, Montería, Colômbia. **[Memórias...]**. Montería, Colômbia: Universidade de Córdoba, 2013. 1 CD-ROM. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974091/1/FRIJOLCAUPIBRASIL.pdf>. Acesso em 06 de março 2014.

- ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; VILARINHO, A. A.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. **Feijão-caupi**: cultivares ricas em ferro e zinco. Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI. 2010. (Embrapa Meio-Norte, folder).
- SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. **Anais. II CONAC**: Congresso Nacional do feijão-caupi, Belém. p.573-587, 2009.
- SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. Aplicação de índices para seleção de caracteres agronômicos de feijão de corda, **Ciência Agrônômica**, v. 32, n. 1-2, p. 78-84, 2001.
- SANTOS, C.A.F.; BOITEUX, L.S. Breeding biofortified cowpea lines for semi-arid tropical áreas by combining higher seed protein and mineral levels. **Genetics and Molecular Reserach**, v.12, n.4, p. 6782-6789, 2013.
- SARRUGE, J. R.; HAAGE, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/ETS® User's Guide, Version 7-2**. Cary: SAS Institute, 1999. 1550p.
- SHIMELIS, H.; SHIRINGANI, R. Variance components and heritabilities of yield and agronomic traits among cowpea genotypes. **Euphytica**, p.1-7, 2010.
- SILVA, K. J. D.; CARVALHO, L. C. B.; ROCHA, M. M.; SOUSA, M. B.; PIRES, C. J.; SOUSA, C. M. B.; SILVA, J. D. L. Correlações fenotípicas em populações F2 para caracteres relacionados à produtividade em feijão-caupi. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. **Anais**. Búzios: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). Viçosa: UFV, p. 59-63, 1981.
- SILVA, J. A. L. da; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, 2011a.
- SILVA, J. A. L. da; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Recife, v.6, n.1, p.29-36, 2011b.
- SINGH, B. B. Recent progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 752, p. 69-76, 2007. Edition of the Proceedings of the International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes, Hyderabad, India, Sep. 2007. Disponível em: <[http://www.actahort.org/books/752/752\\_7.html](http://www.actahort.org/books/752/752_7.html)>. Acessado em: 07 jan. 2014.

- SINIMBU, F. **Projeto BioFort**. 2014. Disponível em: <[http://www.biofort.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=221:not201402060950rs&catid=42:noticiasprincnoticias&Itemid=133](http://www.biofort.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=221:not201402060950rs&catid=42:noticiasprincnoticias&Itemid=133)>. Acessado em: 13 fev. 2014.
- SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, v. 7, p. 240-250, 1936.
- SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, v. 13, p. 184-186, 1973.
- TEIXEIRA, I. T.; SILVA, G. C.; OLIVEIRA, J. P. R.; SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 300-307, abr-jun, 2010.
- TEÓFILO, E. M.; MAMEDE, F. B. F.; SOMBRA, N. S. Comunicação: Híbridação natural em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp – Fabaceae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.1010-1011, 1999.
- VASCONCELOS, I. M.; MAIA, F. M. M.; FARIAS, D. F.; CAMPELLO, C. C.; CARVALHO, A. F. U.; MOREIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 1, p. 54–60, 2010.
- VENCOVSKY, R. Effective size of monoecious populations submitted to artificial selection. **Revista brasileira de genética**, 1(3): 181-91, 1978
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.137-214.
- WATERS, B. M.; SANKARAN, R. P. Moving micronutrients from the soil to the seeds: genes and physiological processes from a biofortification perspective. **Plant Science**, Limerick, v.180, n. 4, p. 564-574, 2011.
- WELCH, R. M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R. M. (Ed.). **Perspectives on the micronutrient nutrition of crops**. Jodhpur: Scientific Publishers, p. 247-289, 2001.
- WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, J. (Ed.) **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 2008. p. 287-309.
- WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for nutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, p. 586-593, 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v.182, p.49-84, 2009.

YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. **Cultura do feijoeiro no Brasil**: características da população. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 75p.

ZANCUL, M. S. Fortificação de alimentos com ferro e vitamina A. **Medicina**, Ribeirão Preto, v. 37, p. 45-50, 2004.

ZUO, Y.; ZHANG, F. Iron and zinc biofortification strategies in dicot plants by intercropping with gramineous species: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, n.1, p. 63-71, 2009.

## ANEXOS

### Anexo 1 -Resultado da análise de solo da área experimental da Embrapa Meio Norte. Teresina, PI, 2013.

Parâmetro	Resultado
pH água	5,8
pH CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	5,1
Al	0,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ca	1,4 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mg	0,7 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
H + Al	2,0 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
K	0,26 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
P	19,0 mg dm <sup>-3</sup>
Cu	0,3 mg dm <sup>-3</sup>
Fe	49,2 mg dm <sup>-3</sup>
Mn	7,9 mg dm <sup>-3</sup>
Zn	2,1 mg dm <sup>-3</sup>
M,O	8,57g Kg <sup>-1</sup>
m	0 %
V	54%