

Universidade Federal do Piauí

**Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações
produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína
em feijão-caupi**

Leonardo Castelo Branco Carvalho

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
2011**

Leonardo Castelo Branco Carvalho
Bacharel em Ciências Biológicas

**Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações
produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína
em feijão-caupi**

Orientador:

Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva

**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
2011

C331c

Carvalho, Leonardo Castelo Branco

Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi/Leonardo Castelo Branco Carvalho_Teresina.:2011.
92 fls.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) UFPI,
2011.

Orientação: Dr.Kaesel Jackson Damasceno e Silva

1. *Vigna unguiculata* 2. capacidade de combinação 3.
qualidade nutricional I Título.

**Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações
produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína
em feijão-caupi**

Leonardo Castelo Branco Carvalho

Aprovada em 21 de fevereiro de 2011

Comissão julgadora:

Dr. João Luis da Silva Filho EMBRAPA ALGODÃO

Dr. Maurisrael de Moura Rocha EMBRAPA MEIO-NORTE

Prof^a Dr^a. Regina Lucia Ferreira Gomes CCA/UFPI

Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva EMBRAPA MEIO-NORTE
(Orientador)

A meus pais e irmãos, pelo amor e dedicação. A **Luis Reginaldo de Meneses Carvalho** (*in memoriam*) pelo incentivo, e exemplo moral e intelectual.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos REUNI.

À Embrapa Meio-Norte, pela sólida parceria com o Programa que proporcionou o suporte fundamental para a concretização do projeto de pesquisa.

Ao Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, pela orientação, pelos valorosos ensinamentos durante todo o curso, compreensão, confiança e apoio incondicional nos momentos mais importantes e decisivos para a consolidação deste trabalho.

À Professora Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes, pelos valorosos conselhos, disponibilidade, dedicação para com todos os discentes do curso de Mestrado, e pela força transmitida principalmente no início desta caminhada.

A todos os professores do Mestrado em Genética e Melhoramento, em especial, Ângela Celis de Almeida Lopes, José Airton Rodrigues Nunes, Maurisrael de Moura Rocha e Sérgio Emílio dos Santos Valente.

Ao Dr. Valdomiro Aurélio Barbosa de Souza (*in memoriam*), tanto pela contribuição para a criação do programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento (UFPI), quanto pelo valioso auxílio intelectual prestado ao mesmo.

Ao Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, pela sua participação como docente no Curso de Mestrado, pela sua disponibilidade incondicional em ajudar, e pelos valiosos conselhos que foram muito importantes durante todo o tempo em que estive na Embrapa Meio-Norte.

A todos os funcionários e diaristas do grupo de pesquisas de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, onde sem os quais este trabalho seria impossível de ser realizado, em especial a Agripino Ferreira do Nascimento, Francisco Reis de França, Manoel Gonçalves da Silva e Paulo Sérgio Monteiro.

A todos os estagiários e bolsistas do "Caupi", que me ensinaram muito sobre meu trabalho, além da valiosa ajuda acompanhada sempre da disposição e empenho de todos.

Aos amigos de turma do Mestrado em Genética e Melhoramento – UFPI, pela convivência saudável e produtiva, em especial a Claudia Roberta, Jeane de Oliveira e Raimundo Nonato, pela amizade, conselhos e pelos exemplos de luta e superação.

Aos meus grandes amigos Carlos Alexandre, Fernando Fernandes e Rodrigo Carvalho, pela amizade que perdura por mais de vinte anos.

À Raiana Albuquerque pelo carinho, compreensão e companheirismo durante todo esse tempo.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 O feijão-caupi.....	15
2.1.1 Origem e classificação botânica	15
2.1.2 Importância sócio-econômica	16
2.1.3 Características nutricionais.....	18
2.2 Escolha de parentais	22
2.3 Estratégias de melhoramento	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
3. OBTENÇÃO DE POPULAÇÕES BIOFORTIFICADAS PARA TEORES DE FERRO, ZINCO E PROTEÍNA EM FEIJÃO-CAUPI	34
3.1 INTRODUÇÃO.....	36
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.2.1 Material Genético.....	38
3.2.2 Local de condução do experimento	39
3.2.3 Delineamento experimental e condução do experimento	39
3.2.4 Análise química dos grãos.....	39
3.2.5 Análises genético-estatísticas.....	41
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.4 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
4. POTENCIAL PRODUTIVO DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO-CAUPI OBTIDAS POR MEIO DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS	57
4.1 INTRODUÇÃO.....	59
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	61
4.2.1 Material Genético.....	61
4.2.2 Local de condução do experimento	61
4.2.3 Delineamento experimental e condução do experimento	61
4.2.4 Caracteres avaliados	62
4.2.5 Análises genético-estatísticas.....	63

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.4 CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

RESUMO

CARVALHO, Leonardo Castelo Branco. **Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 91p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento, área de concentração em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

Dentre as metodologias mais conhecidas para aplicação dos cruzamentos dialélicos, o método proposto por Griffing (1956) estima as capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) dos genótipos, informando quais os genótipos parentais mais adequados para melhorar a característica avaliada. O presente estudo teve por objetivo avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, oito genótipos de feijão-caupi ricos em ferro, zinco e proteína a fim de se identificar, dentre estes, os melhores genitores capazes de gerar populações com boa produtividade e elevados teores desses nutrientes. Para os teores de ferro, zinco e proteína avaliou-se a geração F_2 juntamente com os oitos parentais no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, e no que diz respeito aos componentes de produtividade, utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando, em ambos os casos, 36 tratamentos. Foram analisadas sete caracteres relacionados à produtividade, além dos teores de ferro, zinco e proteína nos grãos. Tanto os dados agrônômicos quanto os teores de ferro, zinco e proteína foram submetidos a análise dialélica, onde os efeitos dos genótipos obtidos por meio da análise de variância individual, foram decompostos em CGC e CEC por meio do método de Griffing. Foram estimadas as correlações existentes entre os caracteres analisados assim como as correlações entre as CGC dos genitores. Os efeitos aditivos foram mais importantes na determinação dos teores de ferro, zinco e proteína. Para um incremento no teor de proteína, recomenda-se a utilização dos genótipos parentais MNC05-843B-88, IT97K-1042-3 e Pretinho, além dos cruzamentos IT97K-1042-3 x Pretinho, MNC05-843B-88 x IT97K-1042-3, e MNC99-541F-15 x Pretinho. O genótipo parental Pretinho e o cruzamento entre TE97-304G-4 x Pretinho são os materiais mais indicados para propiciarem ganhos

satisfatórios no teor de ferro nos grãos de feijão-caupi. Pode-se utilizar o genótipo parental IT89K-205, e os cruzamentos BRS-Xiquexique x IT89K-205-8, TE97-304G-4 x IT89K-205-8, e MNC05-843B-88 x IT89K-205, para incrementar o teor de zinco nessa cultura. Para os caracteres agronômicos, os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos, e os genótipos BRS Xiquexique e TE97-304G-4 foram identificados como sendo os mais promissores. Os cruzamentos que apresentaram maior potencial para propiciarem um incremento nesses caracteres foram: BRS Xiquexique x Pretinho e TE97-304G-4 x MNC99-541F-15.

Palavras-chave: capacidade de combinação, qualidade nutricional, *Vigna unguiculata*

ABSTRACT

CARVALHO, Leonardo Castelo Branco. **Diallel crosses to obtain productive and biofortified populations for iron, zinc and protein contents in cowpea.** 2011. 91p. Dissertation (Master in Genetics and breeding) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

Among the most popular methodologies for application of the diallel, the method proposed by Griffing (1956) estimates the general and specific combining ability (CGA and SCA) of genotypes, giving a direct idea about the most appropriate parental genotypes to improve the trait. This study aimed to evaluate, by means of diallel crosses, eight cowpea genotypes rich in iron, zinc and protein in order to obtain, among these, the best parents can generate populations with good yield and high contents of these nutrients. For contents of iron, zinc and protein the F2 generation with the eight parents in a completely randomized design with three replications we evaluated and with respect to the components of productivity, a randomized complete block design with four replications we used, totaling in both cases, 36 treatments. Seven traits related to yield, and the iron, zinc and protein contents in grains were analyzed. Both agronomic data on iron, zinc and protein contents were subjected to diallel analysis, where the effect of both genotypes obtained through analysis of individual variance, were decomposed into GCA and SCA by Griffing method. The correlations between the traits analyzed and the correlations between the GCA of the parents were estimated. The additive effects were more important in determining the levels of iron, zinc and protein. For an increase in protein content, we recommend the use of parental genotypes MNC05-843B-88, IT97K-1042-3 and Pretinho, in addition, the crosses IT97K-1042-3 x Pretinho, MNC05-843B-88 x IT97K-1042-3, and MNC99-541F-15 x Pretinho. The genotype Pretinho and cross between TE97-304G-4 x Pretinho are the indicated materials to provide satisfactory gains in iron content in seeds of cowpea. The parental genotype IT89K-205, and the crosses BRS-Xiquexique x IT89K-205-8, TE97304G-4 x IT89K-205-8, and MNC05-843B-88 x IT89K-205 can be used to increase zinc content in this culture. For agronomic traits, additive effects were more

important than non additive effects, and BRS Xiquexique and TE97-304G-4 genotypes were identified as the most promising. The crosses with the highest potential to provide an increase in these traits were BRS Xiquexique x Pretinho and TE97-304G-4 x MNC99-541F-15.

Keywords: combining ability, nutritional quality, *Vigna unguiculata*

1 INTRODUÇÃO GERAL

Segundo Ramalho et al. (1993) dentre as principais etapas de qualquer programa de melhoramento destaca-se a escolha dos genitores, que constitui um passo fundamental para que se obtenha sucesso, já que, somente os melhores pais são capazes de gerar progênes promissoras para que haja a possibilidade de um ganho efetivo nos caracteres desejados. Os cruzamentos dialélicos tem sido amplamente utilizados para esse propósito visando avaliar a capacidade dos pais para se combinarem.

Resende (2007) relata que o sistema de cruzamentos dialélicos possui várias alternativas que variam de acordo com as necessidades e as limitações de cada experimento, e dentre estas dificuldades as principais são: a falta de sementes necessárias para a realização dos cruzamentos, a perda de parcelas durante a condução dos experimentos, e a incompatibilidade de cruzamentos entre determinados genitores.

Dentre os métodos que foram desenvolvidos para análise em dialelos destacam-se: o método de Jinks e Hayman (1953); o método de Griffing (1956); e o método de Gardner e Ebehart (1966). O método de Griffing (1956) permite estimar a capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) dos parentais, por meio das médias dos cruzamentos, e, ou, genitores e recíprocos (RAMALHO et al., 1993; CUNHA, 2005).

Apesar da presente demanda para um incremento na produção das culturas em geral, não se pode deixar de levar em consideração a possibilidade de melhoria na qualidade nutricional das mesmas. O feijão-caupi é uma boa fonte de nutrientes, tais como proteínas, potássio, magnésio, ferro e zinco, que são importantes para a saúde humana. No entanto, poucos estudos têm sido realizados nessa cultura utilizando-se o método de cruzamentos dialélicos, principalmente no que diz respeito a caracteres relacionados à qualidade nutricional.

Romanus et al. (2008), observaram efeitos significativos tanto de CGC como da CEC para caracteres relacionados à produtividade em feijão-caupi, tais como: número de vagens e nódulos por planta, número de sementes por vagem, comprimento da vagem e peso de 100 grãos.

Pandey e Singh (2010) avaliaram seis genótipos de feijão-caupi por meio de um dialelo de meia tabela, obtendo interações significativas entre a capacidade de combinação dos parentais e os ambientes onde estes genótipos foram testados. Além destes, outros autores, avaliaram genótipos dessa cultura, mediante esta técnica.

Frente à crescente demanda do mercado consumidor e, em se tratando de uma cultura considerada como estratégica principalmente para países em desenvolvimento, existe a necessidade de novos estudos que auxiliem na obtenção de genótipos de feijão-caupi melhorados.

Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, oito genótipos de feijão-caupi ricos em ferro, zinco e proteína a fim de selecionar, dentre estes, os melhores genitores capazes de gerar populações com boa produtividade e elevados teores desses nutrientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta herbácea, autógama com flores completas, corola papilionácea, apresentando cinco pétalas que variam quanto à coloração, sendo: branca, amarela ou violeta. 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 (TEÓFILO et al., 1999).

Cultura anual, extremamente rústica, o feijão-caupi é pouco exigente em fertilidade de solos, tolerante a altas temperaturas, e à seca. Temperaturas entre 18 °C a 34 °C são consideradas ideais para seu desenvolvimento, em que apresenta produção elevada quando comparado a outras culturas (PASSOS et al., 2007; SHIMELIS; SHIRINGANI, 2010).

2.1.1 Origem e classificação botânica

O centro de origem e domesticação do feijão-caupi é provavelmente na região Centro-Oeste da África, tendo a Nigéria como o provável centro primário de diversidade, e a região de Transval, na África do Sul, a região onde iniciou-se o processo de especiação, conforme dados de marcadores moleculares (BA et al., 2004; FREIRE-FILHO et al., 2005).

O feijão-caupi pertence ao gênero *Vigna* que, ao todo, comporta sete espécies domesticadas, cinco delas de origem asiática e duas de origem africana. As espécies de origem asiática são: Mung bean (*V. radiata* (L.) Wilczek), Urd bean (*V. mungo* (L.) Hepper), Moth bean (*V. aconitifolia* (Jacq.) Maréchal), Adzuki bean (*V. angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi) e Rice bean (*V. umbellata* (Thunb.) Ohwi et Ohashi). Já as pertencentes ao grupo africano são: Bambara groundnut (*V. subterranea* (L.) Verdc.) e o feijão-caupi (*V. unguiculata* (L.) Walp.) (BA et al., 2004).

As mais de 80 espécies pertencentes ao gênero *Vigna* são agrupadas em seis subgêneros: *Vigna*, *Ceratotropis*, *Plectotropis*, *Sigmoidotropis*, *Lasiosporon* e *Haydonia*. Dentre estes, o subgênero *Vigna* inclui duas espécies com grande

importância para a agricultura: *Vigna unguiculata* (feijão-caupi) e *Vigna subterranea* (VIJAYKUMAR et al., 2010).

O subgênero *Vigna* foi subdividido em cinco clados: Clado I inclui a secção Catiang; Clado II, contempla as secções, *Macrodonatae* e *Liebrechtsia*; Clado III, corresponde à secção *Reticulatae*, enquanto que os Clados IV e V englobam, as espécies da secção *Vigna* (VIJAYKUMAR et al., 2010).

A espécie *Vigna unguiculata* possui 11 subespécies, dentre estas, dez são perenes e uma é anual (*unguiculata*), esta última compreende duas variedades: var. *unguiculata*, que é cultivada, e uma variedade selvagem (var. *spontanea*). Entre as subespécies perenes, cinco são alógamas (*ssp.baoulensis*, *ssp. burundiensis*, *ssp. letouzeyi*, *ssp. aduensis*, e *ssp. pawekiae*) e cinco são autógamias (*ssp. dekindtiana*, *ssp. stenophylla*, *ssp. tenuis*, *ssp. alba*, e *ssp. pubescens*) (MAXTED et al., 2004).

Doi et al. (2002) relataram que a importância de se conhecer as relações filogenéticas que existem entre as espécies cultivadas e seus parentes selvagens se dá pelo fato de aumentar as possibilidades de desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no melhoramento e de estratégias para a transferência de genes.

2.1.2 Importância sócio-econômica

Nos últimos anos, a cultura do feijão-caupi ocupou uma área plantada de mais de 12 milhões de hectares por todo o mundo, sendo cultivado em todas as áreas de clima tropical (VIJAYKUMAR et al., 2010), especialmente na Índia e continente africano, onde assume uma grande importância socioeconômica, assim como em alguns locais de clima temperado, como no vale da Califórnia e na bacia do Mediterrâneo, e assume, também, destacada importância em países em desenvolvimento (BA et al., 2004; XAVIER et al., 2005).

Dentre os maiores produtores de feijão-caupi até o ano de 2007 de acordo com estimativas feitas por meio de dados disponibilizados pela FAO (2010) e pelo IBGE (Levantamento, 2007), destacam-se os países: Nigéria, com uma produção de, aproximadamente, 1,2 milhões de toneladas; Níger com pouco mais de 1 milhão de toneladas; e o Brasil com cerca de 412 mil toneladas. Ressalta-se o fato do Brasil apresentar uma produtividade superior à dos demais, cerca de 320 kg.ha⁻¹, enquanto

que Nigéria e Níger apresentaram produtividades de 260 kg.ha⁻¹ e 211 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Alguns estados do Brasil como Goiás, Amazonas e Mato Grosso do Sul apresentam produtividades superiores a 1.000 kg.ha⁻¹ (IBGE, 2007). Em condições experimentais foram obtidas produtividades de grãos secos acima de 3.000 kg.ha⁻¹ (BEZERRA, 1997), no entanto a expectativa é que seu potencial genético ultrapasse 6.000 kg.ha⁻¹ (FREIRE-FILHO et al., 2005).

Entre as causas do baixo rendimento do feijão-caupi citam-se: irregularidades das chuvas ou no suprimento inadequado de água no cultivo irrigado, além de fatores fitossanitários e uso de sistemas de produção com o emprego de baixa tecnologia. No entanto, o cenário atual apresenta um incremento por meio da utilização de alta tecnologia na cultura, com a modernização e mecanização de todas as etapas do cultivo (MATOS FILHO et al., 2009). Oliveira et al. (2003) afirmaram que a baixa produtividade também está relacionada ao plantio de variedades tradicionais e ao uso de sementes de baixa qualidade, associados a falta de informação dos agricultores, principalmente pela pouca quantidade de estudos aplicados a área de nutrição mineral e manejo e adubação da cultura.

Freire Filho et al. (2008) ressaltam que devido a uma crescente demanda de exportação para o feijão-caupi, principalmente para países africanos e asiáticos, tem crescido a necessidade de desenvolvimento de novas cultivares que apresentem características que satisfaçam as necessidades comerciais.

No Brasil, o feijão-caupi vem sendo bastante cultivado nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil (OLIVEIRA et al., 2003; XAVIER et al., 2005). A maioria dos produtores cultivam o feijão-caupi em pequena escala, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, proporcionando baixos rendimentos em função do uso limitado ou não uso de insumos tecnológicos. No entanto, na região Centro-Oeste estados como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, por meio da agricultura empresarial e cultivos em larga escala, têm proporcionado rendimentos elevados à cultura.

No Nordeste brasileiro, onde se destaca por causa do seu alto valor nutritivo e atrativo custo de produção, o feijão-caupi vem desempenhando importante função

sócio-econômica, pois além de ser a principal fonte de proteína vegetal para a população de baixa renda, necessita de bastante mão-de-obra, sendo, portanto considerado uma cultura estratégica para a região. Entre os anos de 1993 e 2001, considerando-se que um hectare gera um emprego por ano, estima-se que, nesse período, o cultivo de feijão-caupi gerou mais de um milhão de empregos (CARDOSO; RIBEIRO, 2008; FREIRE-FILHO et al., 2005 e FROTA et al., 2008).

Para se estabelecer um equilíbrio entre os vários fatores de produção, a fim de obter uma produtividade de grãos elevada, deve-se buscar a prática do manejo adequado da cultura. O cultivo de feijão-caupi na agricultura de subsistência é uma importante forma de diversificar a alimentação, a fim de melhorar a qualidade de vida de milhões de pessoas pobres em todo mundo, principalmente em países em desenvolvimento. A adição de uma pequena quantidade de feijão-caupi na dieta de populações pobres auxilia na obtenção de uma alimentação balanceada, aumenta a qualidade protéica, refletindo positivamente na nutrição e saúde, principalmente de crianças (CARDOSO; RIBEIRO, 2008; SHIMELIS; SHIRINGANI, 2010; SINGH et al., 2003).

A crescente participação do feijão-caupi no cenário global exige novos investimentos, tanto do ponto de vista de melhoramento, como da introdução de novas tecnologias. Trabalhos realizados utilizando, principalmente, técnicas de biologia molecular e genética quantitativa fornecem informações úteis para a produção e desenvolvimento de genótipos com características desejáveis. Assim, a partir da variabilidade genética disponível, podem-se produzir genótipos adaptados a diferentes regiões e ecossistemas brasileiros (XAVIER et al., 2005).

2.1.3 Características nutricionais

O consumo energético diário per capita no Brasil no ano de 2005 foi de 3.090 kcal, o que demonstra um aumento do consumo comparando-se com o ano de 1995, que era de 2.870 kcal (FAO, 2010). O consumo de proteínas diário por habitante também vem aumentando significativamente no decorrer dos anos, sendo 69g, 78g e 85g, nos anos de 1990 a 1992, 1995 a 1997 e 2003 a 2005, respectivamente, proporcionando um aumento de mais de 20%. Quando se compara o consumo diário

de proteínas entre os países desenvolvidos (102g) e os países em desenvolvimento (70g), a diferença chega a mais de 30%.

A dieta humana é conhecidamente rica em calorias e deficiente em vitaminas e minerais principalmente ferro, zinco, cálcio, magnésio, cobre, selênio e iodo. Portanto, estratégias como a biofortificação dos alimentos apresentam um grande potencial para auxiliar na complementação das necessidades na dieta de minerais, principalmente em populações mais carentes (WHITE e BROADLEY, 2009). O sucesso no combate a desnutrição através do uso de alimentos biofortificados deve ser precedido pelo amplo conhecimento dos aspectos genéticos que controlam a disponibilidade de minerais nos vegetais (THAVARAJAH et al., 2010).

Lamounier et al. (2010) relataram que a alta carência de ferro na população infantil em vários países, tais como o Brasil é devido, principalmente a uma nutrição inadequada e a sua deficiência conduz a índices inadequados de crescimento e produtividade em todas as fases do desenvolvimento humano, tornando urgente os esforços para o incremento deste nutriente a fim de evitar, entre outros danos, prejuízos no desenvolvimento cognitivo em pessoas com pouca idade.

Silva et al. (2006) estudando crianças de 1 a 5 anos de idade que apresentavam deficiências nutricionais concluíram que a suplementação com zinco aumentou os níveis de hemoglobina, hepatócrito, zinco e ferro séricos, e relataram que estes resultados indicam a carência de outros micronutrientes essenciais à dieta humana, reforçando a necessidade de mais estudos relacionados a carência dos micronutrientes e suas conseqüências, principalmente na saúde de crianças.

O zinco é um constituinte essencial de diversas proteínas, lipídios presentes nas membranas celulares e em moléculas de ácidos nucléicos (BROADLEY et al., 2007). Já o ferro é essencial para o bom funcionamento do organismo, pois é integrante das numerosas enzimas que regulam diversos processos e rotas metabólicas, além de participar especificamente do transporte de oxigênio (EGUÍLAZ et al., 2010).

A deficiência de certos minerais, principalmente ferro e zinco, é um problema de saúde mundial, principalmente para as pessoas que possuem uma alimentação dependente de cereais e legumes. Deste modo um incremento na quantidade de

minerais essenciais em vegetais por meio da biofortificação ocorre através do aumento da capacidade dos vegetais em acumular esses elementos em suas partes que são utilizadas na alimentação, e isto é possível via melhoramento genético, tendo em vista a considerável variabilidade genética existente na maioria das espécies no que diz respeito à capacidade de acumular esses nutrientes (THAVARAJAH et al., 2010; WHITE e BROADLEY, 2009).

Cakmak (2008) relatou que as principais etapas para a biofortificação de qualquer cultura envolvem a identificação de variação genética e parentais promissores, cruzamentos e retro-cruzamentos, ampla adaptabilidade e estabilidade dos genótipos melhorados, e principalmente uma alta capacidade em extrair quantidade de minerais em níveis suficientes e adequados para as necessidades humanas.

Utilizando métodos multivariados no estudo dos teores de alguns nutrientes, entre eles ferro e zinco, Santos et al. (2010), encontraram uma correlação positiva e significativa entre produtividade e alto valor nutritivo em algumas variedades de feijão comum, indicando um possível sucesso na seleção de genótipos biofortificados que apresentaram boa produtividade.

Frota et al. (2008) relataram que não se pode deixar de levar em consideração que a melhoria das características agrônômicas deve vir acompanhada de melhorias nos parâmetros nutricionais ou que, pelo menos, estas sejam equiparáveis às características do acesso original. Também avaliaram que o feijão-caupi possui atributos nutricionais relevantes, como alto conteúdo protéico, energético, de fibras alimentares e de minerais, tais como: ferro, zinco, potássio, fósforo e magnésio.

Belane et al. (2011) analisando as concentrações de macro e micronutrientes em folhas e grãos de 27 genótipos de feijão-caupi revelaram variação significativa entre os teores de ferro e zinco presentes nos grãos e nas folhas dessa leguminosa. No entanto foi observado que os teores desses minerais diminuem nas folhas após a maturidade fisiológica, principalmente em detrimento do incremento dos mesmos nutrientes na produção dos grãos na planta.

Segundo alguns autores, a porcentagem aproximada dos principais elementos presentes nos grãos de feijão-caupi é em média: 25% de proteína, 3% de fósforo, 3% de potássio, 17% de cálcio, 4% de magnésio, 2,6 % de enxofre, 20% de ferro, 7% de zinco, 6% de manganês, 19% de cobre, 10,3% de boro (BELANE et al., 2011; FROTA et al., 2008; ROCHA et al., 2008; VASCONCELOS et al., 2010).

O feijão-caupi tem sido utilizado com alguns cereais para promover uma alimentação balanceada e uma dieta rica em proteínas, tendo em vista que o alto valor proteico e a alta quantidade do aminoácido lisina presente nos grãos de feijão-caupi, podem se associar à metionina contribuindo para um incremento no alto valor energético dos cereais (SINGH et al., 2003).

Estudos utilizando a farinha do feijão-caupi no preparo de alimentos (biscoitos e rocamboles), visando o aumento do valor nutricional, têm sido realizados. Frota et al. (2010) observaram que os teores dos minerais fósforo, ferro, potássio, magnésio e zinco aumentaram significativamente nos alimentos fortificados quando comparados aos alimentos preparados de forma tradicional. A adição de 30% da farinha no biscoito aumentou em 2,4 vezes as quantidades de ferro e magnésio, e em quase três vezes a de zinco, mostrando que é viável utilizar o feijão-caupi no incremento do valor nutritivo de alguns alimentos.

Apesar disso, a baixa palatabilidade do grão cru, o longo tempo de cozimento, e a presença de alguns componentes químicos, como polifenóis e o ácido fítico, tem sido fatores limitantes para o uso do feijão-caupi na alimentação humana. No entanto, estudos realizados com amostras de grãos crus e cozidos demonstraram que a digestibilidade, os teores de polifenóis e ácido fítico variaram significativamente entre as amostras, e entre as variedades estudadas, o que demonstra a possibilidade de realização de melhoramento para a redução desses fatores antinutricionais e aumento da digestibilidade (GIAMI, 2005).

Segundo Singh et al. (2003), alguns estudos têm sido feitos para que se possa compreender melhor a herança de caracteres nutricionais em feijão-caupi, como teor de ferro, zinco e proteínas, visando o início de um programa de melhoramento para esses caracteres. Estes autores relatam que a alta produtividade não é negativamente correlacionada com a alta qualidade nutricional e alimentícia,

além do que, existe bastante variabilidade genética para esses caracteres, o que demonstra que há possibilidade de melhoramento.

Diante da variedade de genótipos disponíveis, a dificuldade está na escolha dos mais promissores para serem usados como parentais nos programas de hibridação. Esta escolha é de fundamental importância, pois quando feita de forma eficiente, pode economizar tempo e recursos, potencializando o trabalho do melhorista e tornando-se, portanto, um passo estratégico na eficácia de qualquer programa de melhoramento (RAMALHO et al., 1993; CUNHA, 2005).

2.2 Escolha de parentais

Existem diferentes métodos que conduzem a escolha de parentais, tais como o desempenho médio dos genitores, no caso em que a herança é predominantemente aditiva, a escolha direta do genótipo com base em alguma característica de interesse presente no mesmo, etc. Além das estratégias, destaca-se a técnica de cruzamentos dialélicos, que conduz à geração de populações segregantes promissoras, com base na estimativa de seus valores genéticos, e levando em conta a sua capacidade em se combinarem em híbridos.(RAMALHO et al., 1993).

Os dialelos também são úteis para se conhecer o controle genético dos caracteres e possuem várias alternativas que variam de acordo com as necessidades e as limitações de cada experimento, entre elas, a dificuldade de se obter uma grande quantidade de sementes nos cruzamentos realizados (RAMALHO et al., 1993).

Entre os métodos que foram desenvolvidos para análise em dialelos destacam-se: o método de Jinks e Hayman (1953); o método de Griffing (1956); e o método de Gardner e Ebehart (1966). O método de Griffing (1956) permite estimar a capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) dos genótipos, por meio dos dados de média dos cruzamentos obtidos e dos parentais (RAMALHO et al., 1993; CUNHA., 2005).

As análises dialélicas abrangem tanto o modelo fixo, como o aleatório. Quando o efeito de tratamentos é fixo, as estimativas são feitas em relação aos

componentes (genético e ambiental) de média da tabela dialélica. No caso dos efeitos de tratamentos sendo considerados como aleatórios, as estimativas são feitas com base nas variâncias da população, que é representada pelos parentais escolhidos (RAMALHO et al., 1993).

Nem sempre é possível obter todos os cruzamentos entre os genitores, sendo que na maioria das vezes este fato é devido à incompatibilidade entre os alguns dos parentais utilizados, carência de sementes, ou até mesmo perda de indivíduos. Diante de tal situação, alguns autores recomendam a utilização de uma abordagem via modelos mistos, tendo em vista que a análise de variância pode superestimar os componentes de variância em casos de desbalanceamento (RESENDE, 2007).

A utilização de modelos mistos ou modelos completamente aleatórios conferem a vantagem de se estimar diretamente os valores genotípicos dos tratamentos, o que é de fundamental importância para o melhorista pelo fato de tornar possível a predição de fenótipos ainda não observados, contrariamente aos métodos que assumem os efeitos de tratamentos como fixos, que propiciam apenas inferências sobre os fenótipos que já foram observados (RESENDE, 2007).

Por meio dos resultados obtidos após a realização da análise dialélica, expressos pelas significâncias para capacidade geral e específica de combinação, pode-se perceber a existência de variabilidade resultante da ação de efeitos gênicos aditivos e não-aditivos, o que denota a possibilidade de obtenção de novas cultivares ou híbridos com um bom potencial (DA SILVA et al., 2004).

Topal et al. (2004), utilizando um dialelo completo no estudo de três populações locais e uma cultivar de trigo, para determinar, entre outros parâmetros, as capacidades geral e específica de combinação dos genótipos, avaliaram características físicas dessa espécie, dentre elas: comprimento do kernel, largura e altura do kernel. Foram obtidas capacidade geral e específica de combinação significativas para todas os caracteres analisados, no entanto a capacidade geral de combinação apresentou maior magnitude.

Ribeiro et al. (2007), utilizando 30 genótipos de soja, estudaram o controle genético para a resistência a ferrugem. Foram avaliadas as gerações F_2 e F_3 por meio de cruzamentos dialélicos, excluindo-se os parentais. O estudo concluiu que a

herança dos caracteres relacionados à resistência possui caráter quantitativo e que, é preferível a seleção de genótipos resistentes nas gerações mais avançadas.

Mebrahtu e Devine (2009), estudando os teores de sacarose e açúcar total em vagens imaturas de soja, *Glycine max*, cruzaram dez variedades dessa espécie e formaram um dialelo de tabela completa. Estes autores obtiveram efeitos significativos tanto para as capacidades geral e específica de combinação dos cruzamentos diretos, quanto para os recíprocos, para ambos os caracteres.

Em estudos com a dormência em arroz, a fim de obter híbridos com sementes que possuem maior tempo de dormência, encontraram efeitos significativos para as capacidades geral e específica de combinação, em que predominaram os efeitos aditivos, representando mais de 90% do total da variância, contra menos de 10% de influência dos efeitos de dominância (XU e LU, 2009).

Utilizando nove parentais em um cruzamento dialélico, Nkalubo et al. (2009), estudaram a herança da resistência a antracnose em feijoeiro, e obtiveram estimativas significativas tanto para capacidade geral quanto para capacidade específica de combinação, refletindo a importância dos efeitos aditivos e não-aditivos na herança deste caráter. De acordo com os autores, a proporção de genes aditivos foi superior aos genes governados por herança dominante, o que indica que estratégias como o retrocruzamento, podem ser utilizadas para implementar a resistência a antracnose.

Bao et al. (2009) avaliaram a heterose e as capacidades de combinação em trigo, para produtividade de grãos e caracteres correlacionados. Utilizando o modelo de Griffing para dialelo completo, por meio do intercruzamento de sete parentais, os autores relataram que embora tenham sido evidenciados efeitos aditivos e não aditivos governando produtividade e os caracteres relacionados, assim como evidência de herança citoplasmática, os efeitos aditivos prevaleceram sobre os demais, indicando que a seleção pode ser efetiva nas gerações iniciais para estes caracteres.

Makanda et al. (2010), trabalhando com 18 genitores de sorgo, determinaram as capacidades de combinação a fim de identificar os genótipos superiores em caracteres relacionados à produtividade. Foram observados efeitos significativos da

capacidade geral e específica de combinação para quase todas os caracteres, recomendando assim, uma estratégia de melhoramento baseada em hibridação e seleção para a obtenção mais eficiente de genótipos superiores em produtividade.

Romanus et al. (2008) visando avaliar a importância dos efeitos aditivos e não aditivos na produtividade em feijão-caupi, cruzaram sete linhagens entre si, onde foram observados efeitos significativos tanto de CGC como da CEC para produtividade e caracteres relacionadas (número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de nódulos por planta, comprimento da vagem e peso de 100 grãos). Estes autores sugeriram que os parentais com os maiores valores de CGC sejam usados em um programa de hibridação e os cruzamentos com maior CEC são esperados como produtores de populações segregantes superiores para a sua exploração em programas de melhoramento de feijão-caupi.

Ushakumari et al. (2010), estudando o vigor dos híbridos estimados por meio de cruzamentos entre dez variedades de feijão-caupi, avaliaram a produtividade de sementes e caracteres relacionados, e relataram que alguns parentais apresentaram uma boa capacidade geral de combinação para os caracteres utilizados, assim como alguns cruzamentos obtiveram destaque, sendo estes recomendados para o plantio comercial.

Pandey e Singh (2010) avaliaram as interações entre as capacidades geral e específica de combinação e três ambientes diferentes, estimadas por cruzamentos entre seis genótipos exóticos de feijão-caupi. Estes autores obtiveram estimativas significativas para as interações tanto de capacidade geral, como de capacidade específica e de ambientes para a maioria dos caracteres utilizados.

Uma e Kalubowila (2010), por meio do modelo de Griffing (1956), avaliaram 19 genitores de feijão-caupi utilizando dezoito caracteres relacionados ao potencial produtivo e a resistência a ferrugem, dentre elas, intensidade da infecção e o número de vagens por planta. Estes autores encontraram combinações que apresentaram boa produção e resistência moderada a ferrugem.

Alguns autores relatam que a divergência entre os genitores também deve ser levada em consideração, pois genótipos divergentes podem apresentar maior eficiência se combinados e com a possibilidade da produção de híbridos de maior

efeito heterótico, portanto, superiores aos parentais, tendo em vista que a CEC depende da divergência e dos efeitos de dominância. Caracteres como comprimento de vagem, peso de grãos por vagem e produtividade de vagens estão entre os principais determinantes na quantificação da divergência genética entre os genótipos de feijão-caupi (CUNHA, 2005; PASSOS et al., 2007).

2.3 Estratégias de melhoramento

As pesquisas com feijão-caupi vêm sendo conduzidas durante muitos anos em várias instituições internacionais, tais como: Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) em Ibadan, Nigéria; Universidade da Califórnia, e Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA). Alguns outros países do oeste da África também possuem programas de melhoramento ativos como, por exemplo, os do Instituto de Pesquisa Agrícola da Savana (SARI) em Gana, e do Instituto de Pesquisa Agrícola (IAR) localizado na Nigéria. Por mais de 20 anos alguns programas de melhoramento vem sendo conduzidos no Instituto de Pesquisa Agrícola Senegalês (ISRA) no Senegal, Instituto do Ambiente e da Investigação Agrícola (INERA) em Burkina Faso, e no Centro de Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento (IRAD) no Camarões (FANG et al., 2007).

No âmbito nacional, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, desenvolve projetos de pesquisa relacionados a essa cultura, onde mantém ativo o Programa de Melhoramento de Feijão-caupi coordenado pela Embrapa Meio-Norte (FREIRE-FILHO et al., 2005).

No melhoramento para produtividade os melhoristas consideram vários caracteres e suas relações entre si durante a avaliação das cultivares. Na seleção das linhagens também são consideradas as estimativas de correlações entre os diversos caracteres de interesse para o melhoramento da cultura. Os estudos de correlação são importantes para determinar a associação entre caracteres quantitativos e a produtividade para direcionar a forma de seleção, ou seja, seleção indireta ou seleção direta (MOHAMMED et al., 2010).

Elevadas estimativas de herdabilidade refletem uma grande contribuição da variância genotípica, possibilitando em alguns casos o uso direto de seleção fenotípica, enquanto que, caracteres que possuem baixa herdabilidade podem ser melhoradas por seleção indireta através da seleção de outros caracteres correlacionados com a mesma e que possuam alta herdabilidade (SHIMELIS; SHIRINGANI, 2010).

A principal causa genética da correlação para Falconer (1989) é a pleiotropia, onde um gene influencia a expressão de vários caracteres tanto por meio de sua interferência em vias metabólicas diretas como indiretas. Já as ligações entre os genes, são dispersadas com a segregação dos mesmos, sendo consideradas apenas causas passageiras da correlação.

Segundo Cruz et al. (2004), as estimativas de correlação obtidas diretamente da mensuração dos dados observados são apenas de natureza fenotípica, necessitando-se separar a influência ambiental desta estimativas a fim de se obter somente as associações de natureza herdável, ou seja, as correlações genotípicas, fornecendo ao melhorista mais confiabilidade e segurança para a realização da seleção indireta.

Cardoso e Ribeiro (2008), realizando estudos de correlação entre rendimento de grãos e densidade de plantas, concluíram que o número de vagens por pedúnculo e a produção de grãos por planta foram os principais caracteres que contribuíram para as diferenças que ocorreram no rendimento de grãos em relação às densidades de plantas de feijão-caupi.

Utilizando cinco variedades de feijão-caupi e um parente selvagem (*var. pubescens*), Mohammed et al. (2010), estudaram a herança da pilosidade, resistência da vagem, assim como a herdabilidade e as correlações entre produtividade e caracteres relacionados, e concluíram que caracteres como peso de cem grãos e número de ramos por planta, que apresentaram alta herdabilidade e correlação positiva com produtividade podem ser usadas no auxílio do melhoramento para produtividade, pelo fato de que esses caracteres podem ser facilmente selecionadas fenotipicamente.

Matos Filho et al. (2009), visando melhorias na arquitetura da planta de genótipos de feijão-caupi através de estimativas de correlações tanto fenotípicas quanto genotípicas, concluíram que para a obtenção de elevada produtividade de grãos nessa cultura, devem ser levados em consideração a influência de caracteres como comprimento e o número de nós no ramo principal, utilizando-os como critérios de seleção.

Estudando acessos de feijão-caupi com o objetivo de identificar os principais caracteres relacionados ao rendimento de grãos e sua influência direta e indireta na produtividade, Lopes et al (2001) por meio de estimativas de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, obtiveram valores altos e significativos para os principais caracteres relacionados, indicando grandes possibilidades para a realização de seleção indireta para aumentar a produção de grãos da cultura.

Souza et al. (2007) estudaram caracteres relacionados a produção de grãos-verdes em sessenta e duas linhagens de feijão-caupi, e dentre os caracteres avaliados estavam, o número de grãos por vagem, peso de cem grãos e comprimento de vagem, além da produtividade de grãos. Em meio aos resultados obtidos, os autores relataram que o número de vagens por planta pode ser utilizado para a obtenção de linhagens com elevada produtividade.

Bezerra et al. (2009), através de estimativas de correlação, avaliaram a influência de arranjos relativos a espaçamento e densidade entre plantas no rendimento de grãos utilizando uma linhagem de feijão-caupi como modelo, e concluíram que ocorrem modificações morfológicas, na produção e em caracteres relacionados a mesma, quando se realizaram mudanças nos arranjos e densidades de plantio.

Freire Filho et al. (2005) relataram que entre os principais desafios a serem vencidos, no que diz respeito ao melhoramento do feijão-caupi, estão a adaptação dos genótipos para a colheita mecanizada e a melhoria nos níveis de produção. Diante disso, os autores sugerem que é necessário um conhecimento mais aprofundado a respeito da genética dessa cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BA, F. S.; PASQUET, R. S.; GEPTS, P. Genetic diversity in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] as revealed by RAPD markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 51, n. 5, p. 539-550, 2004.
- BAO, Y. et al. Heterosis and Combining Ability for Major Yield Traits of a New Wheat Germplasm Shannong 0095 Derived from *Thinopyrum intermedium*. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 6, p. 753-760, 2009.
- BELANE, A. K.; DAKORA, F. D. Levels of nutritionally-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 nodulated cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in the Upper West Region of Ghana. **Food Chemistry**, v. 125, p. 99–105, 2011.
- BEZERRA, A. A. C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997.
- BEZERRA, A. A. C. et al. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.10, p.1239-1245, 2009.
- BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, v. 173, p. 677–702, 2007.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. **Plant Soil**, v. 302, p.1–17, 2008.
- CARDOSO, M.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 102, 2008.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. v.1, 480 p.
- CUNHA, W. G. **Seleção recorrente em feijão do tipo carioca para porte ereto**. Lavras, MG: 2005. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2005.
- DA SILVA, M. P. et al. Análise dialélica da capacidade combinatória em feijão-de-vagem. **Horticultura brasileira**, v. 22, n. 2, 2004.
- DOI, K. et al. Molecular phylogeny of genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis* based on rDNA ITS and atpB-rbcL intergenic spacer of cpDNA sequences. **Genetica**, v.144, p. 129-145, 2002.

EGUÍLAZ, M. H. R. et al. M. Anemia ferropénica: estratégias dietéticas para su prevención. **Actividad Dietética**, v. 14, n. 2, p 67-71, 2010.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 3rd ed. New York: Longman Scientific and Technical, 1989. 438 p.

FANG, J. et al. Genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] in four West African and USA breeding programs as determined by AFLP analysis. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 54, p.1197–1209, 2007.

FAO. FAOSTAT. Crops. Cow peas, dry. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em 28 de dezembro de 2010.

FREIRE FILHO, F. R. et al. **BRS Novaera: Cultivar de Feijão-Caupi de Porte Semi-Ereto**. Belém , PA, 2008. 4p. (Embrapa - Comunicado Técnico).

FREIRE FILHO, F. R. et al. Melhoramento Genético. In:FREIRE FILHO, F. R. et al (Ed). **Feijão caupi: Avanços tecnológicos**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, 2005. 519p.

FROTA, K. D. M. G.; MORGANO, A.; SILVA, M. G. et al. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 44-50, 2010.

FROTA, K. D. 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**, v. 28, p. 470-476, 2008.

GARDNER, C.O.; EBEHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v.22,p.439-452, 1966.

GIAMI, S. Y. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 7, p. 665-673, 2005.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, v. 9, p.463-493, 1956.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, v. 16-20, 2007.

JINKS, J. L.; HAYMAN, B. I. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, v.27, p. 48-54, 1953.

LAMOUNIER, J. A. et al. Iron Fortification Strategies for the Control of Childhood Anemia in Brazil. **Journal of Tropical Pediatrics**, v. 56, n. 6, 2010.

LOPES, A. C. A. et al. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 515-520, 2001.

MAKANDA, I. et al. Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low- and mid-altitude environments. **Field Crops Research**, v. 116, p. 75–85, 2010.

MATOS FILHO, C. H. A. et al. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciencia Rural**, v. 39, n. 2, 2009.

MAXTED, N. et al. An ecogeographic study. African Vigna. **International Plant Genetic Resources Institute**, Roma, 2004.

MEBRAHTU, T.; DEVINE, T. E. Diallel analysis of sugar composition of 10 vegetable soybean lines. *Plant Breeding*, v.128, p. 249-252, 2009.

MOHAMMED, M. S.; RUSSOM, Z.; ABDUL, S. D. Inheritance of hairiness and pod shattering, heritability and correlation studies in crosses between cultivated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and its wild (var. pubescens) relative. **Euphytica**, p. 397-407, 2010.

NKALUBO, S. T. et al. Genetic analysis of anthracnose resistance in common bean breeding source germplasm. **Euphytica**, v. 167, p. 303–312, 2009.

OLIVEIRA, A. P. et al. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 1, 2003.

PANDEY, B.; SINGH, Y. V. Combining ability for yield over environment in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.). **Legume Research**, v. 33, p. 190 - 195, 2010.

PASSOS, A. R. et al. Divergência genética em feijão-caupi. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 579-586, 2007.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. p. 29-75.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação tecnológica, 2007. 975p.

RIBEIRO, A. S. et al. Genetic Control of Asian rust in soyben. **Euphytica**, v. 157, p. 15-25, 2007.

ROCHA, M. M. et al. **Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 4 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 212).

ROMANUS, K. G.; HUSSEIN, S.; MASHELA, W. P. Combining ability analysis and association of yield and yield components among selected cowpea lines. **Euphytica**, v. 162, n. 2, p. 205-210, Jul 2008.

SANTOS, S. C. et al. T. Multivariate Characterization of Bean Varieties According to Yield Production, Mineral and Phenolic Contents. **Journal Brazilian of Chem. Society**, v. 21, n. 10, p.1917-1922, 2010.

SHIMELIS, H.; SHIRINGANI, R. Variance components and heritabilities of yield and agronomic traits among cowpea genotypes. **Euphytica**, p. 1-7, 2010.

SILVA, A. P. R. et al. Efeito da suplementação de zinco a crianças de 1 a 5 anos de idade. **Jornal de Pediatria**, v. 82, n.3, p. 227-31, 2006.

SINGH, B. B. et al. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. **Field Crops Research**, v. 84, n. 1-2, p. 169-177, 2003.

SOUZA C. L de. et al. Variability and correlations in cowpea populations for green-grain production. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, n. 3, p. 262-269, 2007.

TEÓFILO, E. M.; MAMEDE, F. B. F.; SOMBRA, N. S. Comunicação: Hibridação natural em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp – Fabaceae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 1010-1011, 1999.

THAVARAJAH, D. et al. Phytic acid and Fe and Zn concentration in lentil (*Lens culinaris* L.) seeds is influenced by temperature during seed filling period. **Food Chemistry**, v. 122, p. 254–259, 2010.

TOPAL, A; et al. Diallel cross analysis in durum wheat (*Triticum durum* Desf.): identification of best parents for some kernel physical features. **Field Crops Research**, v. 87, p. 1–12, 2004.

UMA, M. S.; KALUBOWILA, I. Line x tester analysis for yield and rust resistance in Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 254-267, 2010.

USHAKUMARI,R. N.; VAIRAM, C.R.; MALINI, N. Studies on hybrid vigour and combining ability for seed yield and contributing characters in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 940-947, 2010.

VASCONCELOS, I. M. et al. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 54–60, 2010.

VIJAYKUMAR, A.; SAINI, A.; JAWALI, N. Phylogenetic Analysis of Subgenus *Vigna* Species Using Nuclear Ribosomal RNA ITS: Evidence of Hybridization among *Vigna unguiculata* Subspecies. **Journal of Heredity**, v. 101, n.2, p. 177-188, 2010.

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.

XAVIER, G. R. et al. Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 04, p. 353-359, 2005.

XU, B.-Q.; LU, Z.-M. Correlation Between Parents and F1 and Combining Ability of Parents on Seed Dormancy in indica Rice (*Oryza sativa*). **Rice Science**, v. 16, n. 1, p. 51-57, 2009.

3. OBTENÇÃO DE POPULAÇÕES BIOFORTIFICADAS PARA TEORES DE FERRO, ZINCO E PROTEÍNA EM FEIJÃO-CAUPI

Resumo

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata*(L) Walp., é uma leguminosa rica em ferro, zinco e proteína, consumido principalmente sob a forma de grãos, e utilizado como parte da dieta básica em populações pobres de vários países. Dentre as estratégias para o combate à deficiência de nutrientes essenciais em populações carentes, destaca-se a biofortificação dos alimentos via melhoramento genético, onde por meio da qual se eleva a capacidade dos vegetais em acumular elementos nutricionais importantes. O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, oito genótipos de feijão-caupi ricos em ferro (Fe), zinco (Zn) e proteína (PTN), a fim de selecionar os melhores genitores capazes de gerar populações com elevados teores desses nutrientes. Obteve-se as sementes F₂, através do plantio da F₁ no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 36 tratamentos. Os teores de ferro, zinco e proteína foram analisados por um dialelo de meia tabela, sendo que os efeitos dos genótipos, obtidos por meio de uma análise de variância individual, foram decompostos nas capacidades geral e específica de combinação por meio do método de Griffing. Os genótipos parentais MNC05-843B-88, IT97K-1042-3 e Pretinho revelaram-se como os mais indicados para melhorar o teor de proteína. Para incrementar os teores de ferro e zinco nos grãos de feijão caupi, os parentais mais recomendados foram Pretinho e IT89K-205-8, respectivamente.

Palavras-chave: Biofortificação, qualidade nutricional, *Vigna unguiculata*

OBTAINING BIOFORTIFIED POPULATIONS TO IRON, ZINC AND PROTEIN CONTENTS IN COWPEA

Abstract

Cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., is a legume rich in iron, zinc and protein consumed mainly in the form of grain, used as part of the diet in poor populations of various countries. Among the strategies to combat the deficiency of essential nutrients in the poor stands biofortification of foods through the breeding, where by means of which is high in the ability of plants to accumulate important nutritional elements. The aim of this study was to evaluate, through diallel crosses, eight cowpea genotypes rich in iron (Fe), zinc (Zn) and protein (PTN) in order to obtain, among these, the best parents to generate populations with high levels of these nutrients. The F2 seeds we obtained, through the planting of the F1 in a completely randomized design with three replications, totaling 36 treatments. The iron, zinc and protein contents were analyzed by a half diallel table, where the effects of genotypes obtained through analysis of individual variance, were decomposed in the general and specific combining abilities by Griffing method. MNC05-843B-88, IT97K-1042-3 and Pretinho genotypes were the most indicated to improve the protein content. Pretinho and IT89K-205-8 genotypes were most recommended to increase the iron and zinc contents in grains, respectively.

Keywords: Biofortification, nutritional quality, *Vigna unguiculata*

3.1 INTRODUÇÃO

A deficiência de certos minerais essenciais, principalmente ferro e zinco, é um problema de saúde mundial e entre as estratégias para o combate a essa deficiência, destaca-se a biofortificação dos alimentos via melhoramento genético, por meio da qual se promove um maior acúmulo de elementos nutricionais importantes (THAVARAJAH et al., 2010).

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., é rico em ferro, zinco e proteína, consumido principalmente sob a forma de grãos secos, tem sido utilizado como alimento importante da dieta básica de comunidades pobres em países em desenvolvimento, tendo em vista que a adição de uma pequena quantidade na alimentação dessas pessoas aumenta, entre outras coisas, a qualidade protéica, melhorando a nutrição e saúde, principalmente de crianças (SINGH et al., 2003).

Entre as principais etapas para o melhoramento do valor nutricional de qualquer cultura, os passos iniciais envolvem a identificação de variação genética e parentais promissores, ou seja, genótipos que possuem uma alta capacidade em extrair do solo quantidade de minerais em níveis suficientes e adequados para as necessidades humanas. Estas etapas normalmente são seguidas por cruzamentos, retrocruzamentos e condução das populações segregantes até a obtenção das linhagens desejadas (CAKMAK, 2008).

Alguns estudos pioneiros vêm sendo realizados visando a biofortificação em feijão-caupi via melhoramento genético. Trabalhos desenvolvidos por Rocha et al. (2009), Franco et al. (2009) e Barreto et al. (2009), avaliaram os teores de ferro, zinco e proteína em alguns genótipos, com o intuito de fornecer informações prévias a respeito do teor nutricional e do potencial para a melhoria destes caracteres na cultura. A partir da identificação de genótipos com elevados teores desses elementos, avalia-se o desempenho destes em cruzamentos e, conseqüentemente, a capacidade de transmissão das suas características superiores.

Dentre os métodos mais eficientes para a escolha de parentais, destaca-se o método de cruzamentos dialélicos que, além de fornecer informações a respeito dos genótipos mais indicados para serem utilizados como parentais, fornece um

indicativo a respeito do modo de herança dos caracteres avaliados (RAMALHO et al., 1993).

O modelo de análise dialélica proposto por Griffing (1956) estima a capacidade dos genótipos parentais em se combinarem em híbridos promissores, além de fornecer informações sobre as melhores combinações obtidas mediante o cruzamento desses parentais. De acordo com o método 2, deste modelo, obtém-se estimativas da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação a partir de todas as combinações possíveis entre os parentais, excluindo-se as informações dos cruzamentos recíprocos.

Pandey e Singh (2010) avaliaram as interações entre as capacidades geral e específica de combinação em três ambientes diferentes, estimadas por cruzamentos dialélicos entre seis genótipos exóticos de feijão-caupi. Estes autores encontraram efeitos significativos entre as variâncias das capacidades de combinação e os ambientes utilizados. Outros estudos recentes têm sido feitos por meio da aplicação da metodologia de cruzamentos dialélicos (ROMANUS et al., 2008; USHAKUMARI et al., 2010).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, os genótipos parentais mais indicados para a obtenção de populações segregantes promissoras, visando o desenvolvimento de linhagens biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Material Genético

Foram utilizados oito genótipos de feijão-caupi como genitores, sendo duas cultivares melhoradas (BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique), três linhagens elite (TE97-304G-4, MNC05-843B-88 e MNC99-541F-15) do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, duas linhagens oriundas do IITA (IT89K-205-8 e IT97K-1042-3) e uma cultivar tradicional (Pretinho). Todos os genótipos pertencem a Coleção de Trabalho do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte.

Os genótipos foram escolhidos por apresentarem elevados teores de ferro, zinco e proteína, além de boa produtividade, conforme Rocha et al. (2008) (Quadro 1).

Quadro 1 - Teores de ferro (mg kg^{-1}), zinco (mg kg^{-1}) e proteína (%) dos oito genótipos de feijão-caupi utilizados nos cruzamentos dialélicos. Teresina, PI, 2010.

Linhagens*	Proteína (%)	Ferro (mg kg^{-1})	Zinco (mg kg^{-1})
1) BRS-Tumucumaque	23,50	60,57	51,63
2) BRS-Xique-xique	23,20	77,41	53,56
3) MNC05-843B-88	25,80	73,40	48,80
4) TE97-304G-4	22,40	71,22	45,64
5) IT89K-205-	26,10	72,19	62,80
6) IT97K-1042-3	28,30	57,73	62,12
7) MNC99-541F-15	24,10	24,10	40,77
8) Pretinho	25,00	39,14	51,84

* Adaptado de Rocha et al. (2008).

Os oito parentais foram semeados lado a lado em telado, em fileiras de 1,5 metros cada. Adotou-se o método de emasculação e polinização descritos por Freire-Filho et al. (2005). Realizaram-se todas as hibridações possíveis entre as linhagens, de forma a garantir os cruzamentos necessários para a realização de um

dialelo. Todas as vagens resultantes dos cruzamentos foram identificadas com etiqueta.

Foram obtidas 28 combinações híbridas, sendo estas analisadas juntamente com os oito genótipos parentais, totalizando 36 tratamentos. Após a secagem, as vagens foram debulhadas manualmente.

As sementes dos híbridos resultantes de cada cruzamento foram acondicionadas separadas em sacos de papel e o material foi armazenado em câmara fria para a conservação. A geração F₁ foi semeada em telado no mês de março, em condições ambientais controladas.

3.2.2 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido durante o ano agrícola de 2010, em telado da Embrapa Meio-Norte, localizada na cidade de Teresina-PI, Brasil, situada a 05°05'05" S de latitude, 42°05' W de longitude e 72m de altitude.

3.2.3 Delineamento experimental e condução do experimento

A geração F₁ foi semeada no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e 36 tratamentos. A parcela experimental foi constituída de uma fileira de dois metros, com o espaçamento entre fileiras de 1 metro, e entre plantas de 0,25m, totalizando, portanto, oito plantas dentro de cada parcela.

O plantio foi realizado manualmente, utilizando-se três sementes por cova, quando possível, e o desbaste foi feito aos quinze dias após a semeadura, deixando-se apenas uma planta por cova.

A irrigação foi realizada por gotejamento em intervalos periódicos regulares. Foram realizadas capinas manuais a fim de controlar o crescimento de ervas daninhas. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão-caupi.

3.2.4 Análise química dos grãos

As análises dos teores de ferro, zinco e proteínas dos grãos, foram realizadas pela empresa CAMPO – Análises Agrícolas e Ambientais, no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal, em Paracatu, MG.

Inicialmente, a amostra de grãos F₂ foi preparada por meio de lavagem em água deionizada por 10 segundos, sendo posteriormente secada por 12 horas em estufa a 60°C.

Para se obter a farinha, os grãos foram moídos em moinho com “bolas de zircônia” (Retsh MM200), onde, o padrão de análise foi o de 15g de grãos, moídos por 100 segundos a uma frequência de 30Hz.

Após este procedimento, foram acrescentados 2mL da solução Nitro-Perclórica em cada tubo preparado, a uma proporção de 2:1,2 mL (ácido nítrico: ácido perclórico).

As amostras foram submetidas, inicialmente, a uma ‘digestão’ com bloco digestor a 100°C por uma hora, e posteriormente por duas horas a 170°C. Em seguida foram adicionados mais 2mL da solução nitro-perclórica e as amostras foram novamente digeridas a 170°C, por quatro horas.

Após a diluição das amostras em água purificada a um volume final de 20mL, as mesmas foram agitadas em agitador apropriado, afim de se obter o máximo de homogeneização.

A leitura para os teores de ferro e zinco foram feitas no Espectrofotômetro de Plasma, utilizando-se uma curva de calibração de: Zn (0,20; 0,50; 1,0; 1,50 e 2,0ppm) e Fe (0,20; 0,50; 1,0; 1,50 e 2,0ppm).

Para a determinação do teor de proteína nos grãos, foi utilizado o método KJELDAHL (1883), descrito por Silva e Queiroz (2002), onde por meio do qual o nitrogênio da amostra foi transformado em amônia, separado por destilação e dosado pela titulação.

O cálculo da dosagem de proteína bruta (b) foi fornecido pela seguinte expressão:

$$\% \text{ PB} = \% \text{ N} \times 6,25 \quad (1)$$

Onde:

% PB: porcentagem de proteína bruta;

%N: porcentagem de Nitrogênio obtido;

6,25: fator de transformação.

3.2.5 Análises genético-estatísticas

3.2.5.1 Análise de variância (ANAVA)

As análises de variância foram realizadas com auxílio do aplicativo computacional SAS (SAS INSTITUTE, 1997), sendo realizada uma análise individual para cada caráter, considerando os efeitos de tratamentos como fixos, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + t_i + e_{ij} \quad (2)$$

em que:

Y_{ij} : Valor observado da parcela que recebeu o tratamento i na repetição j , com i variando de 1 a 36 e j variando de 1 a 3;

m : Média geral;

t_i : efeito do i -ésimo tratamento;

e_{ij} : erro experimental associado ao tratamento i na j -ésima repetição;

3.2.5.2 Análise dialélica

A análise dialélica individual para os componentes químicos dos grãos foi realizada seguindo-se o método 2 do modelo proposto por Griffing (1956), onde são analisados os parentais e os híbridos resultantes dos cruzamentos. Os efeitos dos tratamentos foram considerados como fixos e os quadrados médios para a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação foram obtidos de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij} \quad (3)$$

em que:

$Y_{i j}$: Observação da combinação híbrida envolvendo os parentais i e j

m : Média geral;

g_i e g_j : Capacidade geral de combinação de i -ésimo e do j -ésimo genitor, respectivamente;

s_{ij} : Capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores i e j ;

e_{ij} : Erro experimental médio.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias ajustadas para os trinta e seis tratamentos avaliados encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Médias ajustadas dos teores de proteína, ferro, zinco e produção por parcela a partir da avaliação de trinta e seis genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Genótipos ¹		Caracteres *				
A	B	Proteína %	Ferro mg kg ⁻¹	Zinco mg kg ⁻¹	PRODP g	
BRSTumucumaque (1)	1	26,56 c	75,66 b	47,00 a	198,75 c	
	2	22,60 e	66,33 c	49,00 a	379,88 b	
	3	24,96 d	72,00 c	50,33 a	447,75 b	
	4	26,41 c	64,66 c	36,00 c	242,75 c	
	5	26,85 c	68,33 c	48,67 a	175,88 c	
	6	25,39 d	66,66 c	44,33 b	417,75 b	
	7	21,98 e	69,00 c	50,33 a	253,25 c	
	8	25,69 d	70,66 c	41,67 b	285,50 c	
BRS Xiquexique (2)	2	26,12 c	82,00 b	50,33 a	337,25 c	
	3	22,15 e	72,33 c	50,67 a	544,38 a	
	4	25,83 d	65,00 c	37,67 c	315,75 c	
	5	26,27 c	87,00 b	54,00 a	296,00 c	
	6	26,27 c	67,66 c	40,33 c	281,13 c	
	7	24,37 d	74,00 c	46,33 a	319,63 c	
	8	25,16 d	82,00 b	44,00 b	610,25 a	
TE97-304G-4 (3)	3	26,12 c	69,66 c	45,67 a	453,50 b	
	4	26,87 c	69,33 c	48,67 a	303,13 c	
	5	24,66 d	72,33 c	55,33 a	389,38 b	
	6	25,83 d	76,00 b	48,67 a	291,63 c	
	7	24,66 d	70,33 c	39,67 c	568,00 a	
	8	26,73 c	77,66 b	45,00 b	306,25 c	
MNC05-843B-88 (4)	4	26,70 c	76,00 b	42,67 b	149,50 c	
	5	24,52 d	75,33 b	52,67 a	226,00 c	
	6	29,10 b	79,33 b	49,33 a	223,63 c	
	7	24,96 d	69,33 c	46,00 a	234,75 c	
	8	27,16 c	102,00 a	52,67 a	196,50 c	
IT89K-205 (5)	5	26,42 c	77,00 b	48,00 a	72,75 c	
	6	25,83 d	67,66 c	48,33 a	167,38 c	
	7	24,67 d	69,00 c	42,33 b	421,50 b	
	8	25,25 d	78,33 b	50,33 a	366,75 b	

Continua...

Tabela 3.1 - Médias ajustadas dos teores de proteína, ferro, zinco e produção por parcela a partir da avaliação de trinta e seis genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

...Conclusão

IT97K-1042-3 (6)	27,48	c	74,33	c	50,33	a	239,25	c	
6	7	27,31	c	67,66	c	37,33	c	310,75	c
6	8	32,04	a	83,00	b	49,33	a	234,50	c
MNC99-541F-15 (7)	24,95	d	66,66	c	46,00	a	258,50	c	
7	8	28,64	b	78,33	b	48,33	a	263,63	c
Pretinho (8)	28,52	b	69,33	c	51,33	a	245,75	c	
Média geral	25,97		73,66		46,90		306,35		
CV (%)	3,13		6,92		7,71		47,02		

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo método de *Scott-Knott*, a 1% de probabilidade.

¹A e B: cruzamento entre o genótipo parental paterno "A" e materno "B".

As mensurações obtidas para os teores de proteína variaram de 21,98% a 32,04%, demonstrando uma considerável amplitude entre esses valores, indicando a presença de variabilidade genética (Tabela 3.1). Os teores de zinco apresentaram-se entre 36,00 mg kg⁻¹ e 55,33 mg kg⁻¹, e os do mineral ferro estiveram dentro da faixa de 64,66 a 102,00 mg kg⁻¹, aproximadamente. Existem muitos estudos sobre a composição química dos grãos de feijão-caupi que, na sua maioria não obtiveram valores discordantes entre si, principalmente no que diz respeito aos teores de proteína (CASTELLÓN et al., 2003; FROTA et al., 2008; GIAMI et al., 2005; IQBAL et al., 2006)

Oluwatosin (1998), avaliando quinze acessos de feijão-caupi em três ambientes diferentes estimou os teores de amido, ácidos graxos e minerais dos acessos estudados. Este autor obteve teores de ferro e zinco em torno de 70 mg kg⁻¹ e 60 mg kg⁻¹, respectivamente. Assim como no presente estudo, foram observadas diferenças significativas entre os genótipos para os caracteres ferro e zinco, indicando variabilidade genética para os caracteres em questão.

Castellón et al. (2003) analisando a composição bioquímica de sementes em seis cultivares de feijão-caupi obtiveram frações de proteína bruta que variaram entre 21% e 25%. Os autores também encontraram diferenças significativas entre

os teores dos demais constituintes químicos avaliados, entre eles, o teor de carboidratos e lipídeos, e relataram que o processo de melhoramento está entre os principais responsáveis por esta variação.

Giarni et al. (2005), trabalhando com quatro linhagens avançadas de feijão-caupi, avaliaram a qualidade da proteína nos grãos e encontraram uma porcentagem de proteína bruta de aproximadamente 25%. Resultados semelhantes são relatados por Iqbal et al. (2006), que compararam os teores de vários nutrientes presentes nos grãos de algumas espécies de leguminosas e obtiveram teores de proteína bruta em feijão-caupi em torno de 25%, além de, teores de ferro e zinco médios de 25 mg kg⁻¹ e 50 mg kg⁻¹, respectivamente. Os valores para o teor de ferro obtidos pelos últimos, são bastante discordantes dos obtidos no presente estudo, observando-se uma diferença de aproximadamente 50 mg kg⁻¹.

Frota et al. (2008), em estudos recentes avaliaram a composição química dos grãos de uma cultivar de feijão-caupi (BRS Milênio), e obtiveram uma composição centesimal de aproximadamente 24,5% de proteínas, 6,8 % de ferro e 4,1 % de zinco. Belane e Dakora (2011) trabalhando com 27 genótipos de feijão-caupi obtiveram estimativas para os teores de ferro e zinco elevadas, 12,6% e 6,9%, respectivamente.

Rocha et al. (2009) avaliando vinte genótipos de feijão-caupi, pertencentes à classe comercial fradinho, identificaram linhagens apresentando estimativas de 78 mg kg⁻¹ de ferro e 55 mg kg⁻¹ de zinco. O mesmo estudo destacou a cultivar BRS - Xiquexique, que vem sendo classificada entre as mais estáveis e com elevados teores desses nutrientes. Estes resultados corroboram com os observados na tabela 3.1.

Confrontando-se os dados obtidos no presente estudo com os da literatura, percebe-se que os genótipos avaliados no primeiro, possuem teores de ferro e zinco que são bastante superiores aos demais, o que pode ser explicado pelo fato dos genótipos parentais utilizados nesse trabalho terem sido escolhidos diretamente com base nestes caracteres, através de informações de avaliações bioquímicas anteriores que os indicaram como sendo genótipos que, reconhecidamente, possuem elevados teores desses elementos.

De acordo com a Tabela 3.1, existe diferença significativa a 5% pelo teste de *Scott-knott* entre os genótipos para os três caracteres avaliados. Os genótipos apresentaram médias mais divergentes para o teor de proteínas no grão, sendo divididos em cinco grupos distintos. Os teores de ferro e zinco também apresentaram genótipos com médias significativamente diferentes. Outros autores, tais como Oluwatosin (1998) e Castellón et al. (2003), como já citado, também obtiveram diferenças significativas entre as estimativas de médias dos genótipos de feijão-caupi avaliados para os teores de ferro, zinco e proteína.

O genótipo que obteve maior estimativa para o teor de proteína foi IT97K-1042-3 x Pretinho, seguido pelos genótipos MNC05-843B-88 x IT97K-1042-3, MNC99-541F-15 x Pretinho, e o parental Pretinho. Para os teores de ferro, destacou-se o cruzamento MNC05-843B-88 x Pretinho, que apresentou média superior aos demais. No que diz respeito ao teor de zinco, vários genótipos apresentaram médias altas, dentre eles estão todos os genótipos parentais com exceção do parental (4) MNC05-843B-88 que apresentou média inferior aos demais parentais.

Entre os genótipos que apresentaram maiores estimativas para o caráter produção por parcela (PRODP), destacaram-se os cruzamentos BRS Xiquexique x Pretinho, TE97-304G-4 x MNC99-541F-15 e BRS Xiquexique x TE97-304G-4, e. Dentre os genótipos parentais, o que apresentou melhor produtividade foi TE97-304G-4. O cruzamento BRS-Xiquexique x TE97-304G-4 pode ser considerado para seleção, pois apresentou um elevado potencial produtivo e alto teor de zinco.

Pode-se observar na Tabela 3.2 que o efeito de genótipos, para os teores de ferro, zinco e proteína, foi significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F. Isto indica que existe variabilidade na expressão dos teores desses três caracteres, o que remete a possibilidade de ganho com a seleção desses caracteres (RAMALHO et al., 1993).

Tabela 3.2 - Resumo das análises de variância para os teores de ferro, zinco e proteína analisados em cruzamentos dialélicos envolvendo oito genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Caráter	Quadrados Médios				CGC/ CEC	Φg/ Φs
	Genótipos	CGC	CEC	Erro		
Teor de ferro	164,07**	305, 11**	149, 48**	26, 04	2,04	0.30
Teor de zinco	67,80**	79, 41**	68, 59**	0, 071	1,15	0.19
Teor de proteína	10,78**	30, 01**	7, 01**	0, 66	4,29	0.89

^{ns}, * e ** indicam efeitos não significativos, significativos a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

QM: Estimativa do quadrado médio associada às respectivas fontes de variação (FV).

CGC e CEC: Capacidade geral e específica de combinação, respectivamente (GRIFFING, 1956).

CGC/CEC: valor da razão entre os quadrados médios de CGC e CEC.

Φg/Φs: razão entre as estimativas dos componentes quadráticos.

Ramírez-Cárdenas et al. (2010), analisando os teores de zinco em diferentes genótipos de feijão comum, sob algumas formas de cozimento, também constataram que o teor desse mineral variou entre os genótipos mesmo quando estes foram submetidos às mesmas condições de cozimento, o que revelou a presença de variabilidade genética para este caráter nessa espécie.

Oluwatosin (1998) avaliou 15 cultivares de feijão-caupi em três ambientes diferentes e também obteve efeitos dos genótipos significativos para os teores de ferro e zinco, o que, segundo o autor, indica a existência de variabilidade genética entre os genótipos que foram testados. Esses resultados corroboram os obtidos no presente estudo no que diz respeito aos teores tanto de ferro quanto de zinco.

Os efeitos das estimativas de capacidade geral de combinação foram significativos para todos os caracteres avaliados, o que indica uma forte influência dos efeitos aditivos no controle da expressão desses caracteres, assim como a possibilidade de obtenção de linhagens capazes de gerar ganho na seleção para elevados teores de ferro, zinco e proteína.

Kimani e Derera (2009), avaliando feijão comum em condições ambientais variáveis quanto ao nível de fósforo disponível no ambiente, também obtiveram efeitos de tratamentos e capacidade geral de combinação altamente significativos

para todas as condições ambientais, constatando, portanto, a possibilidade de ganho com a seleção.

Os efeitos das estimativas da CEC também foram significativos para todos os caracteres (Tabela 3.2). Este resultado indica que também existe influência dos efeitos de dominância na expressão desses caracteres e, segundo Ramalho (1993), esse fato remete a possibilidade de obtenção de populações segregantes promissoras para os teores de ferro, zinco e proteína.

A razão entre as capacidades geral e específica de combinação possibilita inferir sobre quais efeitos estão prevalecendo na expressão dos caracteres analisados. De acordo com o observado na Tabela 3.2, para os teores de ferro, zinco e proteína, houve prevalência dos efeitos aditivos no controle da herança desses caracteres. Para o teor de proteína, ressalva-se que os efeitos aditivos foram quatro vezes superiores aos de dominância.

A razão entre as estimativas dos componentes quadráticos associados às capacidades geral e específica de combinação mostra que para todos os caracteres avaliados, o componente associado à CGC foi inferior (Tabela 3.2). Esta diferença foi mais acentuada para o teor de zinco dos grãos, onde a estimativa foi mais próxima a zero. A superioridade do componente quadrático associado aos efeitos de CEC, assim como a observada no presente estudo, é verificada em situações nas quais os genitores parentais foram submetidos à seleção previa para o caráter em questão, sendo que, para os caracteres que já vem sendo previamente selecionados ao longo de algumas gerações, o ganho com a seleção se torna cada vez mais reduzido (CRUZ et al., 2004).

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos genótipos parentais mostram que para o teor de ferro, o único genótipo parental que apresentou valor positivo e significativo foi o genótipo Pretinho, sendo, dentre os genitores, o mais indicado para ser utilizado na melhoria desse caráter (Tabela 3.3). Os genótipos parentais BRS Tumucumaque e MNC99-541F-15 apresentaram estimativas significativas e negativas ($P \leq 0,01$) para o teor de ferro, não sendo recomendados para compor grupos de cruzamentos que visem à melhoria do teor de ferro em feijão-caupi.

Tabela 3.3 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) para oito genótipos de feijão-caupi utilizados como genótipos parentais, para os teores de ferro (Fe), zinco (Zn) e proteína (PTN) dos grãos. Teresina, PI, 2010.

Caracteres	Genótipos parentais ^{1/}							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T. ferro	-4,47**	0,89	-1,18	1,47	0,72	-0,85	-3,10*	6,52**
T. zinco	-0,89	-0,27	1,19	-1,10	3,14**	-0,81	-2,27**	1,02
T. proteína	-0,83**	-1,04**	-0,64**	0,55**	-0,33*	1,51**	-0,70**	1,50**

* e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

^{1/} (1) BRS Tumucumaque, (2) BRS Xiquexique, (3) TE97-304G-4, (4) MNC05-843B-88, (5) IT89K-205, (6) IT97K-1042-3, (7) MNC99-541F-15, (8) Pretinho.

A cultivar BRS Xiquexique apresentou valor de CGC positiva para o teor de ferro, no entanto, não significativo. Embora não significativo, a cultivar BRS Xiquexique apresentou a terceira maior magnitude da CGC, podendo ser indicada como parental para a melhoria desse caráter. Os demais genótipos parentais, à semelhança do parental BRS Xiquexique, também, não apresentaram valores significativos para as estimativas de CGC dos teores de ferro.

Para o teor de zinco, o parental IT89K-205 apresentou valores positivos e significativos ($P \leq 0,01$), sendo o genótipo mais indicado para participar de cruzamentos que visem à melhoria nesse caráter. O genótipo MNC99-541F-15 não deve ser indicado para o incremento no teor de zinco, tendo em vista que apresentou valores de CGC negativas e significativas (Tabela 3.3).

Os genótipos parentais MNC05-843B-88, IT97K-1042-3, e Pretinho, apresentaram valores positivos e significativos ($P \leq 0,01$) para o teor de proteína nos grãos. Portanto o teor de proteína pode ser melhorado por meio da utilização desses genótipos em cruzamentos que visem combinações promissoras para esse caráter. Os demais genótipos apresentaram CGC negativas e significativas, não sendo, portanto recomendados para serem utilizados em programas que visem à melhoria nos teores protéicos nos grãos de feijão-caupi.

Todas as estimativas de CGC obtidas para o genótipo parental MNC99-541F-15 foram negativas e significativas. Este genótipo, portanto, não é recomendado para ser utilizado como genitor em programas que visem à melhoria nos teores de quaisquer dos três caracteres avaliados neste trabalho. Segundo Cruz et al. (2004), genótipos que apresentam CGC negativa, são inferiores aos demais no que diz respeito ao comportamento médio dos cruzamentos avaliados.

O genótipo parental que reuniu as melhores estimativas de CGC para os caracteres foi (8) Pretinho, que apresentou valores de CGC positivos e significativos para os teores de ferro e proteína, destacando-se principalmente para o teor de ferro, onde obteve o valor mais elevado dentre os demais genótipos testados. Em função desses resultados, indica-se este genótipo para ser utilizado no melhoramento dos teores de ferro e proteína em feijão-caupi.

Os valores obtidos para a capacidade específica de combinação (CEC) dos cruzamentos entre os genótipos parentais mostram que dentre os mais promissores para propiciar um ganho no teor de ferro, destacaram-se (4) TE97-304G-4 x (8) Pretinho, e (2) BRS Xiquexique x (5) IT89K-205-8, que obtiveram um valor de CEC bastante superior aos estimados para os demais cruzamentos (Tabela 3.4).

Destaca-se o cruzamento (4) TE97-304G-4 x (8) Pretinho pelo fato do parental (8) Pretinho possuir a maior estimativa de CGC para o teor de ferro. Já no cruzamento, BRS Xiquexique x IT89K-205-8, os genótipos parentais envolvidos apresentaram valores positivos para as estimativas de CGC, porém não significativos (Tabela 3.3), porém ressalta-se que, estes dois genótipos estão entre os mais ricos em ferro citados na literatura para a cultura do feijão-caupi (Rocha et al., 2008).

Tabela 3.4 - Estimativas da capacidade específica de combinação (CEC) para os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos de 28 híbridos de feijão-caupi, Teresina, PI, 2010.

Cruzamento ¹		Caracteres avaliados					
		Teor de ferro		Teor de zinco		Teor de proteína	
A	B	Valor	Erro	Valor	Erro	Valor	Erro
Continua...							

Tabela 3.4 - Estimativas da capacidade específica de combinação (CEC) para os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos de 28 híbridos de feijão-caupi, Teresina, PI, 2010.

...Conclusão

1	1	10,98**	2,86	1,98	2,03	2,34**	0,46
1	2	-3,73	2,56	3,35	1,81	-1,40**	0,41
1	3	4,02	2,56	3,22	1,81	0,55	0,41
1	4	-5,98*	2,56	-8,81	1,81	0,81	0,41
1	5	-1,57	2,56	-0,39	1,81	2,13**	0,41
1	6	-1,64	2,56	-0,77	1,81	-1,17**	0,41
1	7	2,94	2,56	6,69**	1,81	-2,38**	0,41
1	8	-5,02	2,56	-5,27**	1,81	-0,87*	0,41
2	2	6,56*	2,86	4,06*	2,03	2,33**	0,46
2	3	-1,02	2,56	2,94	1,81	-2,06**	0,41
2	4	-11,02**	2,56	-7,77**	1,81	0,43	0,41
2	5	11,73**	2,56	4,31*	1,81	1,76**	0,41
2	6	-6,02*	2,56	-5,40**	1,81	-0,09	0,41
2	7	2,56	2,56	2,06	1,81	0,23	0,41
2	8	0,94	2,56	-3,56	1,81	-1,19**	0,41
3	3	-1,60	2,86	-3,52	2,03	1,52**	0,46
3	4	-4,61	2,56	1,77	1,81	1,08*	0,41
3	5	-0,86	2,56	4,18*	1,81	-0,25	0,41
3	6	4,40	2,56	1,48	1,81	-0,93*	0,41
3	7	0,98	2,56	-6,06**	1,81	0,12	0,41
3	8	-1,31	2,56	-4,02*	1,81	-0,03	0,41
4	4	-0,60	2,86	-1,94	2,03	-0,29	0,46
4	5	-0,52	2,56	3,81*	1,81	-1,59**	0,41
4	6	5,06	2,56	4,43*	1,81	1,14**	0,41
4	7	-2,69	2,56	2,56	1,81	-0,79	0,41
4	8	20,36**	2,56	5,94**	1,81	-0,78	0,41
5	5	1,90	2,86	-5,10*	2,03	1,20*	0,46
5	6	-5,85*	2,56	-0,81	1,81	-1,24**	0,41
5	7	-2,27	2,56	-5,36**	1,81	-0,19	0,41
5	8	-2,56	2,56	-0,65	1,81	-1,82**	0,41
6	6	2,39	2,86	5,15*	2,03	-1,44**	0,46
6	7	-2,02	2,56	-6,40**	1,81	0,60	0,41
6	8	3,69	2,56	2,31	1,81	3,13**	0,41
7	7	-0,77	2,86	3,73	2,03	0,46	0,46
7	8	1,27	2,56	2,77	1,81	1,95**	0,41
8	8	-17,36	2,86	2,48	2,03	-0,39	0,46

* e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

A e B, representam os genótipos parentais paternos e maternos, respectivamente.

^{1/} (1) BRS Tumucumaque; (2) BRS Xiquexique; (3) TE97-304G-4; (4) MNC05-843B-88; (5) IT89K-205-8; (6) IT97K-1042-3; (7) MNC99-541F-15; (8) Pretinho.

A estimativa da CEC para o cruzamento teórico entre o genótipo (1) BRS Tumucumaque e ele mesmo, ou seja, o cruzamento desse genótipo *per se*, revelou um valor positivo e significativo o que, segundo Cruz et al (2004), indica que o genitor em questão apresenta elevada heterose varietal, no entanto com desvios de dominância unidirecionais negativos, isto é, a heterose é manifestada no sentido de reduzir a expressão do caráter.

Os cruzamentos que apresentaram maiores valores para as estimativas da CEC no que diz respeito ao teor de zinco foram: (1) BRS Tumucumaque x (7) MNC99-541F-15, (2) BRS Xiquexique x (5) IT89K-205-8, (3) TE97-304G-4 x (5) IT89K-205-8, (4) MNC05-843B-88 x (5) IT89K-205-8, (4) MNC05-843B-88 x (6) IT97K-1042-3 e (4) MNC05-843B-88 x (8) Pretinho.

Percebe-se, por meio dos cruzamentos citados acima, que os parentais mais indicados para serem utilizados na melhoria do teor de zinco são: (2) BRS Xiquexique, (3) TE97-304G-4 e (4) MNC05-843B-88 cruzados com o genótipo parental IT89K-205-8, tendo em vista que, apesar dos demais não terem apresentado valor de CGC satisfatório, o genótipo africano (5) IT89K-205-8 foi o parental que apresentou a maior estimativa de CGC entre os demais, o que justifica o bom desempenho refletido nos híbridos em questão.

A estimativa s_{55} de CEC obtida para o efeito *per se* do cruzamento teórico do genótipo parental (5) IT89K-205-8 com ele mesmo, apresentou valor negativo e de elevada magnitude ($P \leq 0,05$), o que permite afirmar que existe uma maior probabilidade de obtenção de sucesso ao usar o genitor em questão nas combinações híbridas visando o aumento do teor de zinco, tendo em vista que estes valores indicam elevada heterose positiva e unidirecional (CRUZ et al., 2004).

O cruzamento (1) BRS Tumucumaque x (7) MNC99-541F-15, apesar de ter apresentado o maior valor estimado para a CEC, não tem como genitores nenhum genótipo parental que apresentou estimativa de CGC elevada para esse caráter, além disso, este cruzamento tem como genitor um dos genótipos que apresentaram CGC negativa e significativa. Portanto este cruzamento deve ser observado com cautela, em função da elevada CEC obtida. Os híbridos (4) MNC05-843B-88 x (6) IT97K-1042-3 e (4) MNC05-843B-88 x (8) Pretinho devem ser observados nas

próximas gerações, pois apresentaram CEC elevadas, no entanto as estimativas das CGC dos parentais não foram boas.

Cruz et al. (2004) afirmam que as combinações híbridas mais promissoras são as que apresentam as melhores estimativas da capacidade específica de combinação entre os genitores, além de envolverem, pelo menos um dos genótipos parentais que apresentem um valor de capacidade geral de combinação elevado.

No que diz respeito ao teor de proteína nos grãos de feijão-caupi, alguns cruzamentos obtiveram estimativas de CEC positivas e significativas, dentre eles destacaram-se os seguintes: (1) BRS Tumucumaque x (5) IT89K-205-8, BRS (2) Xiquexique x (5) IT89K-205-8, (4) MNC05-843B-88 x (6) IT97K-1042-3, (6) IT97K-1042-3 x (8) Pretinho e (7) MNC99-541F-15 x (8) Pretinho.

O cruzamento (6) IT97K-1042-3 x (8) Pretinho, que se destacou com o valor mais elevado entre os supracitados, é formado pelos genótipos parentais que apresentaram as maiores estimativas de CGC para o teor de proteínas nos grãos. Portanto, este cruzamento foi o que apresentou o maior desvio positivo do que era esperado com base nas estimativas da CGC dos genitores envolvidos, além de possuir como genitores os melhores pais com base na média de todos os genótipos parentais envolvidos nos cruzamentos (CRUZ et al., 2004).

Os cruzamentos (4) MNC05-843B-88 x (6) IT97K-1042-3, e (7) MNC99-541F-15 x (8) Pretinho também são considerados como indicados para gerarem populações segregantes promissoras, pois são formados por pelo menos um genótipo parental com valor de CGC positivo e significativo. Os demais cruzamentos, formados por genótipos parentais que apresentaram estimativas de CGC negativos e significativos, são os menos indicados para serem utilizados em cruzamentos que têm como objetivo incrementar o teor de proteína nos grãos de feijão-caupi.

A estimativa do efeito do cruzamento do genótipo parental (6) IT97K-1042-3 com ele mesmo, s_{66} , foi o único que apresentou desvios de dominância relevantes e positivos ($P \leq 0,01$), no que diz respeito ao teor de proteína nos grãos, constatando o grande potencial deste genótipo em melhorar o caráter em questão.

3.4 CONCLUSÕES

1- Os efeitos aditivos foram mais importantes que os não-aditivos para os teores de proteína, ferro e zinco nos genótipos de feijão-caupi estudados, possibilitando a obtenção direta de ganhos com a seleção desses caracteres.

2- O genótipo parental Pretinho e o cruzamento entre TE97-304G-4 x Pretinho são os materiais mais indicados para propiciarem ganhos satisfatórios no teor de ferro nos grãos de feijão-caupi.

3 – A utilização do genótipo parental IT89K-205 e dos cruzamentos BRS Xiquexique x IT89K-205-8, TE97-304G-4 x IT89K-205-8 e MNC05-843B-88 x IT89K-205 é indicada para incrementar o teor de zinco nos grãos de feijão-caupi.

4 – Para a melhoria do teor de proteína nos grãos de feijão-caupi, os genótipos parentais: MNC05-843B-88, IT97K-1042-3 e Pretinho; e os cruzamentos: IT97K-1042-3 x Pretinho, MNC05-843B-88 x IT97K-1042-3, e MNC99-541F-15 x Pretinho, são os mais adequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO, A. L. H; FRANCO, L. J. D; MOURA, R. M. In: 3ª REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL. 2009, Aracaju, SE. 1 CD-ROM. In: **3ª REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL**. 2009, Aracaju, SE. 1 CD-ROM.
- BELANE, A. K.; DAKORA, F. D. Levels of nutritionally-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 nodulated cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in the Upper West Region of Ghana. **Food Chemistry**, v. 125, p. 99–105, 2011.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. **Plant Soil**, v. 302, p.1–17, 2008.
- CASTELLÓN, R. E. R. et al. Composição elementar e caracterização da fração lipídica de seis cultivares de caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, 2003 .
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. v.1, 480 p.
- FRANCO, L. J. D. et al. AVALIAÇÃO DOS CONTEÚDOS DE FERRO, ZINCO E PROTEÍNA EM LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI TIPO FRADINHO. In: **3ª REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL**. 2009, Aracaju, SE. 1 CD-ROM.
- FREIRE FILHO, F. R. et al. Melhoramento Genético. In:FREIRE FILHO, F. R. et al (Ed). **Feijão caupi: Avanços tecnológicos**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, 2005. 519p.
- FROTA, K. D. 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**, v. 28, p. 470-476, 2008.
- GIAMI, S. Y. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 7, p. 665-673, 2005.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, v. 9, p.463-493, 1956.
- IQBAL, A. et al. Nutritional quality of important food legumes. **Food Chemistry**, v. 97, p. 331-335, 2006
- KIMANI, J.; DERERA, J. Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low and high soil phosphorus conditions. **Euphytica**, v.166, p. 1-13, 2009.

OLUWATOSIN, O. B. Genetic and Environmental variability in starch, fatty acids and mineral nutrients composition in cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 78, p. 1-11, 1998.

PANDEY, B.; SINGH, Y. V. Combining ability for yield over environment in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.). **Legume Research**, v. 33, p. 190 - 195, 2010.

RAMALHO, A. P. M.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B. **Genética na Agropecuária**. 5 ed. São Paulo: Editora Globo, 1996. p. 359.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. p. 29-75.

RAMIREZ-CARDENAS, L. et al. Zinc bioavailability in different beans as affected by cultivar type and cooking conditions. **Food Research International**, v. 43, p. 573–581, 2010.

ROCHA, M. M. et al. BIOFORTIFICAÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI NO BRASIL: ESTADO ATUAL E PERSPECTIVAS. In: 3ª **REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL**. 2009, Aracaju, SE. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. M. et al. **Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 4 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 212).

ROMANUS, K. G.; HUSSEIN, S.; MASHELA, W. P. Combining ability analysis and association of yield and yield components among selected cowpea lines. **Euphytica**, v. 162, n. 2, p. 205-210, Jul 2008.

SAS/STAT 8.0 User'Guide. Cary, NC, USA, 1997.

SILVA, D, J. da.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa UFV, Impr. Univ., 2002, 235 p.

SINGH, B. B. et al. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. **Field Crops Research**, v. 84, n. 1-2, p. 169-177, 2003.

THAVARAJAH, D. et al. Phytic acid and Fe and Zn concentration in lentil (*Lens culinaris* L.) seeds is influenced by temperature during seed filling period. **Food Chemistry**, v. 122, p. 254–259, 2010.

USHAKUMARI, R. N.; VAIRAM, C.R.; MALINI, N. Studies on hybrid vigour and combining ability for seed yield and contributing characters in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 940-947, 2010.

4. POTENCIAL PRODUTIVO DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO-CAUPI OBTIDAS POR MEIO DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, oito genótipos de feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a fim de identificar os melhores genótipos parentais capazes de gerar populações com boas estimativas de produtividade e caracteres relacionados. Avaliou-se a geração F₂ juntamente com os oitos genótipos parentais no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 36 tratamentos. Foram estudados sete caracteres agrônômicos relacionados à produtividade, e os dados analisados por meio de um dialelo de meia tabela, excluindo-se os recíprocos. Os efeitos dos genótipos pela análise de variância individual foram decompostos nas capacidades geral e específica de combinação por meio do método de Griffing. As correlações fenotípicas existentes entre os caracteres analisados foram estimadas, assim como, as correlações entre CGC dos genótipos parentais. As estimativas de correlação fenotípica revelaram valores significativos entre a produção de grãos por planta e todos os demais caracteres. Os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos, e os genótipos BRS Xiquexique e TE97-304G-4 foram identificados como sendo os mais promissores para serem utilizados como genótipos parentais visando à melhoria da maioria dos caracteres agrônômicos avaliados no presente estudo. Os cruzamentos que apresentaram maior potencial para promoverem um incremento nesses caracteres foram: BRS Xiquexique x Pretinho e TE97-304G-4 x MNC99-541F-15.

Palavras-chave: capacidade de combinação, produtividade de grãos, *Vigna unguiculata*

YIELD POTENTIAL OF COWPEA SEGREGING POPULATIONS OBTAINED BY DIALLEL CROSSES

Abstract

The aim of this work was to evaluate, through diallel crosses, eight genotypes of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., in order to obtain, among these, the best parents able to generate populations with good estimates of yield and traits related. F₂ generation along with the eight parents were evaluated in a randomized block design with four replications, totaling 36 treatments. Seven agronomic traits related to yield were studied, and data were analyzed by means of a half diallel table, excluding reciprocals. The effect of genotypes obtained through analysis of individual variance, were decomposed in the general and specific combining abilities. The correlations between traits as well as correlations between parents'GCA were estimated. Estimates of phenotypic correlation revealed significant values between grain yield per plant and all other traits. Additive effects were more important than non additive effects and, BRS Xiquexique and TE97-304G-4 were identified as the most promising for use as parents to improve the majority of the agronomic traits evaluated in this study. The crosses with the highest potential to provide an increase in these traits were: BRS Xiquexique x Pretinho and TE97-304G-4 x MNC99-541F-15.

Keywords: combining ability, grain yield, *Vigna unguiculata*

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., vem desempenhando um forte papel socioeconômico, principalmente em países em desenvolvimento. De acordo com Vijaykumar et al. (2010), nos últimos anos, o feijão-caupi ocupou uma área plantada de mais de 12 milhões de hectares por todo o mundo, sendo cultivado em todas as áreas de clima tropical.

A despeito da grande área plantada, os produtores de feijão-caupi ainda enfrentam problemas relativos ao baixo rendimento, que é causado principalmente por irregularidades das chuvas ou no suprimento inadequado de água no cultivo irrigado, além de fatores fitossanitários e uso de sistemas de produção com o emprego de baixa tecnologia. Oliveira et al. (2003) afirmaram que a baixa produtividade também está relacionada ao plantio de variedades tradicionais e a utilização de sementes de baixa qualidade, associados a falta de informação dos agricultores.

No Brasil, as estimativas de produtividade para feijão-caupi ainda são baixas, no entanto, segundo dados do IBGE (2007), alguns estados do Brasil tais como Goiás, Amazonas e Mato Grosso do Sul apresentam produtividades superiores a 1.000 kg.ha⁻¹. Em condições experimentais, Bezerra et al. (1997) obtiveram produtividades de grãos secos acima de 3.000 kg.ha⁻¹, mas a expectativa, é que seu potencial produtivo ultrapasse 6.000 kg.ha⁻¹ (FREIRE-FILHO et al., 2005).

A crescente demanda de mercado do feijão-caupi, tanto no Brasil como em outros países, exige a introdução de novas tecnologias que incrementem a sua produtividade. Xavier et al. (2005) ressalva que estudos utilizando técnicas de biologia molecular e genética quantitativa, têm fornecido informações úteis para a produção e desenvolvimento de genótipos com características desejáveis.

Entre as principais dificuldades para incrementar a produtividade nas espécies comerciais está a escolha de genótipos parentais que sejam capazes de se combinar e produzir genótipos com elevadas estimativas tanto para a produção, como para os caracteres agronômicos relacionados.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi utilizar o método de cruzamentos dialélicos, para a avaliação de sete caracteres relacionados à produção, a fim de

auxiliar na escolha de genótipos de feijão-caupi visando a melhoria na produtividade dessa cultura.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material Genético

Foram utilizados oito genótipos de feijão-caupi como genótipos parentais, sendo duas cultivares melhoradas (BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique), três linhagens (TE97-304G-4, MNC05-843B-88 e MNC99-541F-15), duas linhagens oriundas do IITA (IT89K-205-8 e IT97K-1042-3) e uma cultivar tradicional (Pretinho). Todos os genótipos utilizados pertencem a Coleção de Trabalho do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte.

Para a realização dos cruzamentos, os oito genótipos parentais foram semeados lado a lado em telado em fileiras de 1,5 metros cada. Adotou-se o método de emasculação e polinização descritos por Freire-Filho et al. (2005). Foram obtidas 28 combinações híbridas, que somadas aos oitos genótipos parentais, totalizaram 36 tratamentos. Após a secagem, as vagens foram debulhadas manualmente.

As sementes dos híbridos resultantes de cada cruzamento foram acondicionadas, separadas em sacos de papel e o material foi armazenado em câmara fria para a conservação.

A geração F_1 foi semeada em telado no mês de março, em condições ambientais controladas, e a geração F_2 foi semeada no mês de setembro no campo experimental.

4.2.2 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido durante o ano agrícola de 2010 no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, no município de Teresina, PI, Brasil, localizado a $05^{\circ}05'05''$ S de latitude, $42^{\circ}05'$ W de longitude e 72m de altitude.

4.2.3 Delineamento experimental e condução do experimento

A geração F_2 foi avaliada no delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições, e 36 tratamentos. A parcela experimental foi constituída de duas fileiras de três metros cada, com o espaçamento entre fileiras de 0,80 metros, e entre plantas de 0,25m, totalizando, portanto, 24 plantas dentro de cada parcela.

O plantio foi realizado manualmente em campo experimental, utilizando-se três sementes por cova, quando possível, e o desbaste foi feito aos dez dias após a semeadura, deixando-se apenas uma planta por cova.

A irrigação foi realizada por aspersão, em intervalos periódicos regulares, totalizando aproximadamente 360 mm para o ciclo completo. Foram realizadas capinas manuais e com tração animal, a fim de controlar o crescimento de ervas daninhas. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão-caupi.

4.2.4 Caracteres avaliados

a) Número de vagens por pedúnculo (NVP)

Numero estimado a partir de média aritmética obtida pela amostragem aleatória de dez pedúnculos na parcela, no momento da colheita das vagens secas.

b) Peso de vagens (PV)

Peso total em gramas (g) de dez vagens maduras, tomadas ao acaso de cada parcela. O material foi pesado com auxílio de uma balança de precisão.

c) Comprimento de vagens (CV)

Média obtida pela aferição, em centímetros, de dez vagens tomadas ao acaso de cada parcela experimental.

d) Número de grãos por vagem (NGV)

Média obtida pela contagem do número de grãos presentes em dez vagens escolhidas de forma aleatória.

e) Peso de 100 (cem) grãos (P100G)

Pesagem de cem grãos, amostrados após debulha das vagens de cada parcela, em balança de precisão devidamente regulada. Os resultados foram obtidos em gramas (g).

f) Produção por parcela (PRODP)

Pesagem de todos os grãos de cada parcela obtidos após a colheita. O resultado foi expresso em gramas(g) por parcela.

g) Produção por planta (PRODPL)

A produção por planta foi estimada pela razão entre a variável PRODP e o número de plantas por parcela.

4.2.5 Análises genético-estatísticas

4.2.5.1 Análise de variância (ANAVA)

As análises de variância relacionadas a todos os caracteres agrônômicos foram realizadas com auxílio do aplicativo computacional SAS (SAS INSTITUTE, 1997), de forma individual para cada caráter e considerando os efeitos de tratamentos como fixos, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

Onde:

Y_{ij} : Valor observado da parcela que recebeu o tratamento i no bloco j , com i variando de 1 a 36 e j variando de 1 a 4;

m : Média geral;

t_i : efeito do tratamento i ;

b_j : efeito do bloco j ;

e_{ij} : erro experimental associado ao tratamento i no bloco j ;

4.2.5.2 Análise dialélica

A análise dialélica individual para cada caráter foi realizada seguindo-se o método 2 do modelo proposto por Griffing (1956), onde são analisados tanto os genótipos parentais como os híbridos resultantes dos cruzamentos entre eles, excluindo-se os recíprocos, compondo portanto, um dialelo de meia-tabela.

No entanto, o dialelo apresentou-se desbalanceado para o número de repetições. Por esse motivo, foram obtidas as médias ajustadas, as quais foram usadas para posterior análise dialélica pelo *proc iml* do pacote computacional SAS 9.0. Os efeitos dos tratamentos foram considerados como fixos e os quadrados médios para a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação foram obtidos de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij} \quad (2)$$

Onde:

Y_{ij} : Observação da combinação híbrida envolvendo os genótipos parentais i e j

m : Média geral;

g_i e g_j : Capacidade geral de combinação de i-ésimo e do j-ésimo genitor, respectivamente;

s_{ij} : Capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genótipos parentais i e j;

e_{ij} : Erro experimental médio.

4.2.5.3 Análise de Correlação

Com auxílio do módulo “ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL”, procedimento CORRELAÇÃO SIMPLES - Spearman, disponíveis no aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2001), foi realizada uma análise de correlação fenotípica entre os caracteres.

As correlações foram estimadas de acordo com a expressão:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

em que:

d_i = a diferença entre cada posto de valor correspondentes de x e y, e
 n = o número dos pares dos valores.

Ainda com o auxílio da mesma expressão, foi obtida a correlação entre as estimativas de CGC dos genótipos parentais para os sete caracteres analisados.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias ajustadas dos caracteres avaliados nos trinta e seis tratamentos estão dispostas na Tabela 4.1, onde os genótipos foram agrupados por meio da aplicação do teste de agrupamento de médias *Scott-knott*, a 1% de probabilidade.

Tabela 4.1- Médias ajustadas de peso de vagem (PV), número de vagens por pedúnculo (NVP), comprimento de vagem (COMPV), peso de cem grãos (P100G), número de grãos por vagem (NGV), produção por parcela (PRODP) e produção por planta (PRODPL) para oito genótipos parentais e vinte e oito híbridos em feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Genótipos ¹¹	Caracteres avaliados*							
	PV (g)	NVP	COMPV (cm)	P100G (g)	NGV	PRODP (g/parcela)	PRODPL (g/planta)	
P1	38,04 b	1,63 a	19,25 a	22,29 a	13,25 c	198,75 c	16,20 c	
P2	34,88 b	1,60 a	19,75 a	16,55 d	15,25 a	337,25 c	22,12 b	
P3	43,47 a	1,25 b	22,25 a	21,21 a	15,00 a	453,50 b	30,88 a	
P4	36,73 b	1,68 a	19,00 a	18,23 c	13,00 c	149,50 c	10,11 c	
P5	25,02 d	1,40 b	18,50 b	19,69 b	11,75 c	72,75 c	8,47 c	
P6	27,70 d	2,05 a	17,00 c	13,96 d	12,75 c	239,25 c	13,68 c	
P7	37,57 b	1,18 b	19,50 a	19,92 b	13,25 c	258,50 c	13,38 c	
P8	35,44 b	1,75 a	20,25 a	16,03 d	14,75 b	245,75 c	13,63 c	
1x2	38,55 b	1,65 a	20,13 a	21,55 a	14,00 b	379,88 b	25,34 b	
1x3	40,10 a	1,40 b	20,75 a	21,13 a	14,25 b	447,75 b	23,19 b	
1x4	38,77 a	1,53 b	19,13 a	20,62 b	13,88 b	242,75 c	17,43 c	
1x5	32,02 c	1,51 b	16,63 c	20,02 b	11,88 c	175,88 c	19,64 c	
1x6	30,25 c	1,85 a	17,50 b	17,38 c	12,25 c	417,75 b	28,78 a	
1x7	37,44 b	1,38 b	19,00 a	22,93 a	12,25 c	253,25 c	14,06 c	
1x8	37,55 b	1,58 a	20,50 a	18,35 c	14,13 b	285,50 c	16,88 c	
2x3	42,27 a	1,40 b	20,63 a	21,00 a	16,13 a	544,38 a	33,69 a	
2x4	41,68 a	1,68 a	21,50 a	20,80 b	16,25 a	315,75 c	19,55 c	
2x5	35,15 b	1,60 a	19,00 a	19,30 b	13,75 b	296,00 c	24,13 b	
2x6	33,35 c	1,65 a	18,88 a	17,77 c	14,00 b	281,13 c	15,73 c	

Continua...

Tabela 4.1- Médias ajustadas de peso de vagem (PV), número de vagens por pedúnculo (NVP), comprimento de vagem (COMPV), peso de cem grãos (P100G), número de grãos por vagem (NGV), produção por parcela (PRODP) e produção por planta (PRODPL) para oito genótipos parentais e vinte e oito híbridos em feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

...Conclusão

2x7	39,97	a	1,43	b	20,50	a	19,58	b	14,75	b	319,63	c	21,64	b
2x8	39,52	a	1,60	a	21,50	a	18,16	c	16,00	a	610,25	a	41,88	a
3x4	41,59	a	1,44	b	19,88	a	20,44	b	15,00	a	303,13	c	18,38	c
3x5	34,64	b	1,56	a	19,25	a	20,37	b	13,75	b	389,38	b	22,26	b
3x6	35,37	b	1,73	a	19,38	a	18,42	c	14,38	b	291,63	c	14,70	c
3x7	41,14	a	1,34	b	20,00	a	22,96	a	13,63	b	568,00	a	30,12	a
3x8	40,98	a	1,58	a	21,25	a	19,08	b	16,25	a	306,25	c	19,13	c
4x5	33,21	c	1,61	a	18,38	b	19,55	b	12,25	c	226,00	c	11,89	c
4x6	29,89	c	1,70	a	17,25	c	19,00	b	11,13	c	223,63	c	11,82	c
4x7	37,70	b	1,58	a	19,75	a	20,14	b	13,25	c	234,75	c	14,56	c
4x8	34,85	b	1,53	b	18,63	b	17,74	c	13,00	c	196,50	c	22,62	b
5x6	26,91	d	1,71	a	15,13	c	16,41	d	11,38	c	167,38	c	10,49	c
5x7	36,44	b	1,73	a	18,50	b	19,35	b	14,00	b	421,50	b	22,01	b
5x8	36,94	b	1,43	b	19,50	a	18,61	c	15,50	a	366,75	b	22,56	b
6x7	33,79	c	1,65	a	18,00	b	18,53	c	13,00	c	310,75	c	18,88	c
6x8	29,86	c	1,68	a	18,13	b	15,24	d	13,63	b	234,50	c	13,13	c
7x8	39,26	a	1,40	b	20,13	a	18,67	c	14,13	b	263,63	c	19,41	c
Média	36,05		1,56		19,28		19,19		13,8		306,35		19,51	
CV%	10,69		15,77		9,02		8,78		11,15		47,02		47,88	

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo método de *Scott-Knott*, a 1% de probabilidade.

¹Px: parental x, e "a x b": cruzamento entre o parental "a" e o parental "b".

(1) BRS Tumucumaque; (2) BRS Xiquexique; (3) TE97-304G-4; (4) MNC05-843B-88; (5) IT89K-205-8; (6) IT97K-1042-3; (7) MNC99-541F-15; (8) Pretinho.

Dentre os oito genótipos parentais, a linhagem TE97-304G-4 (genótipo 3) diferiu significativamente dos demais para o caráter PV. Alguns cruzamentos também apresentaram peso de vagem elevado, onde nos quais participaram como genitores principalmente os genótipos (3) TE97-304G-4, (2) BRS Xiquexique e (4)

MNC05-843B-88. Os genótipos, em geral, apresentaram-se bem diversos para este caráter, sendo formados quatro grupos por meio do agrupamento das médias.

Para o caráter NVP, foram formados apenas dois grupos, o que revela proximidade entre as médias obtidas para os genótipos. Isto pode ser explicado pela natureza deste caráter, tendo em vista que a variação do número de vagens por pedúnculo possui baixa amplitude em feijão-caupi, variando normalmente de uma a três. Os genótipos parentais que apresentaram o menor número de vagens por pedúnculo foram (3) TE97-304G-4, (5) IT89K-205-8 e (7) MNC99-541F-15.

Dentre os genótipos parentais os únicos que foram classificados como possuindo pequeno comprimento de vagem foram os genótipos: (5) IT89K-205-8 e (6) IT97K-1042-3, não ocorrendo diferenças significativas entre os demais. Percebe-se que todos os híbridos que apresentaram comprimento de vagem pequeno, possuem um desses genótipos parentais como genitor, ou mesmo os dois, como o cruzamento (5) IT89K-205-8 x (6) IT97K-1042-3, que apresentou a menor média para este caráter (Tabela 4.1). A média geral obtida para COMPV no presente estudo foi superior a obtida por Ushakumari et al. (2010), assim como também foi superior à média obtida por Uma e Kalubowila (2010).

Para o caráter P100G, os genótipos apresentaram médias bastante diversas, destacando-se os genótipos parentais (1) BRS Tumucumaque e (3) TE97-304G-4 como os que possuem os maiores grãos. Novamente, observa-se que todos os cruzamentos que apresentaram elevado peso de cem grãos possuem um dos genótipos parentais supracitados como genitor.

Os genótipos parentais que se destacaram quanto ao número de grãos por vagem foram (2) BRS Xiquexique e (3) TE97-304G-4. Os híbridos com maiores médias para este caráter também possuem um dos genótipos citados como parentais.

Dentre os genótipos que mais se destacaram tanto para PRODP, como para PRODPL, verifica-se que o genótipo parental (3) TE97-304G-4, apresentou as maiores médias para esses dois caracteres. Para PRODP, destacaram-se os cruzamentos (2) BRS Xiquexique x (3) TE97-304G-4, (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho e (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15. Para PRODPL, BRS (1)

Tumucumaque x (6) IT97K-1042-3, (2) BRS Xiquexique x (3) TE97-304G-4, (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho. O cruzamento entre os genitores parentais (2) BRS Xiquexique e (3) TE97-304G-4 foi o mais produtivo entre todos os demais. Os dados observados para a produtividade por planta estão de acordo com a literatura (UMA; KALUBOWILA, 2010; USHAKUMARI et al., 2010), mantendo-se a média obtida por autores de aproximadamente 30 gramas por planta.

Os coeficientes de variação experimental estimados para cada análise de variância individual (Tabela 4.1), na sua maioria, apresentaram valores que se classificam de baixos a médios, de acordo com Santos et al. (2008); no entanto de acordo com estudos recentes na cultura do feijão-caupi, essas estimativas são consideradas de médias a altas (CARDOSO; RIBEIRO, 2008).

Para os caracteres PRODP e PRODPL, as estimativas obtidas para o coeficiente de variação foram elevadas (47,02% e 47,88%%, respectivamente). Estes resultados podem ser explicados pelo fato desses caracteres possuírem natureza quantitativa, sofrendo, portanto, forte influência ambiental, o que pode incrementar a estimativa dos quadrados médios dos erros estimados para esses dois caracteres. Além disso, a amostragem relativa ao tamanho da parcela utilizada pode ter sido insuficiente já que, trata-se de populações F_2 .

O resumo das análises de variâncias para todos os caracteres estudados, juntamente com os efeitos de tratamentos decompostos em capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC) encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resumo das análises de variância para sete caracteres analisados em cruzamentos dialélicos envolvendo oito genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Caracteres^{1/}	Blocos	Genótipos	CGC	CEC	Erro	CGC/ CEC
COMPV	10, 56 ^{**}	13, 23 ^{**}	45, 51 ^{**}	3,17 ^{ns}	2,98	14,3
PV	52,96 ^{**}	121,87 ^{**}	433, 26 ^{**}	19, 72 ^{ns}	14, 86	21,9
NGV	3,42 ^{ns}	10, 81 ^{**}	36, 60 ^{**}	3, 75 [*]	2,32	9,7
NVP	0,15 [*]	0,15 ^{**}	0,39 ^{**}	0,07 ^{ns}	0,06	5,5
P100G	3,58 ^{ns}	23, 56 ^{**}	78, 89 ^{**}	5,39 ^{**}	2,86	14,6

Continua...

Tabela 4.2 - Resumo das análises de variância para sete caracteres analisados em cruzamentos dialélicos envolvendo oito genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

...Conclusão

PRODP	32927,5 ^{ns}	81961,3 ^{**}	176208 ^{**}	45006,9 ^{**}	20786,9	3,9
PRODPL	251,64 ^{**}	186,52 ^{**}	601,31 ^{**}	184,39 ^{**}	87,60	3,2

^{ns}, * e ** indicam efeitos não significativos, significativos a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

^{1/} PV= peso de 10 vagens; NVP= número de vagens por pedúnculo; COMPV= comprimento de vagem; P100G= peso de cem grãos; NGV= número de grãos por vagem; PRODP=produtividade por parcela em gramas; PRODPL=produtividade por planta em gramas.

QM: Estimativa do quadrado médio associada às respectivas fontes de variação (FV).

CGC e CEC: Capacidade geral e específica de combinação, respectivamente, de acordo com o método de Griffing (1956).

CGC/CEC: valor da razão entre os quadrados médios de CGC e CEC.

Observa-se que, para todos os caracteres avaliados, os efeitos de genótipos foram significativos ($P \leq 0,01$), o que revela a existência de variabilidade entre genótipos da população estudada, indicando a possibilidade de seleção de genótipos superiores. Os efeitos de genótipos foram significativos para todas os caracteres analisados o que, segundo Ramalho et al. (1993), contribui para o sucesso na seleção de linhagens que, segundo o mesmo autor, depende estritamente da diversidade genética existente nesse conjunto de linhagens, sendo que esta, por sua vez, é função da influência da variância aditiva.

Para todos os caracteres avaliados, também foram verificadas diferenças significativas para os efeitos da CGC ($P \leq 0,01$), revelando a atuação dos efeitos aditivos no controle desses caracteres. Diferenças na capacidade geral de combinação, segundo Ramalho et al. (1993), indicam a possibilidade de ganho efetivo por meio da seleção desses caracteres.

As estimativas de CGC expressam o quanto os genes de efeitos aditivos influenciam determinado caráter, fornecendo, portanto, uma forte indicação de quais genótipos parentais devem ser utilizados no desenvolvimento de populações com elevada capacidade de produzirem linhagens promissoras para aquele caráter.

Resultados semelhantes foram observados por Kimani e Derera (2009), ao avaliarem, em condições ambientais contrastantes, os caracteres, peso de folhas e raízes secas, data de floração, número de sementes por planta e peso de cem

grãos, em genótipos de feijão comum, que obtiveram efeitos de tratamentos e da CGC altamente significativos para todas as combinações entre ambientes e genótipos, revelando elevada divergência entre os genótipos e a prevalência de efeitos aditivos em ambos os locais onde os genótipos foram testados.

Nkalubo et al. (2009) estudaram o controle da resistência do feijão comum à antracnose, também obtiveram tanto efeitos aditivos como não aditivos relacionados ao controle desse caráter, no entanto com leve prevalência dos efeitos de genes aditivos em comparação aos efeitos de dominância. Além disso, os efeitos dos cruzamentos recíprocos não foram significativos, indicando a ausência ou fraca influência de genes citoplasmáticos no controle da resistência a essa doença.

No que diz respeito ao componente CEC, não foram observadas significâncias para os caracteres COMPV, PV e NVP, o que indica, segundo Da Silva et al. (2004), a prevalência de efeitos aditivos controlando a expressão desses caracteres e a fraca influência dos efeitos de dominância, favorecendo a obtenção de linhagens superiores.

Para os caracteres NGV, P100G, PRODP e PRODPL, foram observados efeitos de CEC significativos. Segundo Ramalho et al. (1993), estimativas de CEC significativas indicam que os genótipos avaliados são divergentes quanto aos caracteres, gerando a possibilidade de obtenção de populações segregantes promissoras. Como já mencionado, esses caracteres também apresentaram efeitos significativos para CGC (Tabela 4.2), indicando assim a influência tanto de efeitos aditivos, quanto de efeitos de dominância no que diz respeito ao controle genético das mesmas. A significância da CGC e da CEC indica a presença de suficiente variação genética na população o que propicia a seleção efetiva para a maioria dos caracteres estudados.

Os resultados do presente trabalho corroboram com os obtidos por Romanus et al. (2008), ao avaliarem sete linhagens de feijão-caupi, por meio da utilização de um dialelo de meia tabela, onde os quadrados médios da capacidade geral e específica de combinação foram significativos, indicando, portanto, a influência tanto de efeitos aditivos quanto de não aditivos no controle da produtividade de grãos e de

alguns caracteres relacionadas, entre eles, o número de grãos por vagem e peso de cem grãos.

As taxas entre os quadrados médios da CGC e da CEC foi maior que 1,0 para todos os caracteres. As maiores taxas foram obtidas para os caracteres PV, P100G e COMPV, respectivamente, indicando a importância de genes de efeitos aditivos em detrimento dos genes de efeitos não-aditivos no controle destes caracteres. A menor relação CGC/CEC para os caracteres NGV, NVP, PRODP e PRODPL indica que, para estes, ocorreu importante liberação de variabilidade durante o avanço das gerações.

Analisando alguns caracteres em genótipos de sorgo em diversos ambientes, dentre eles, a produtividade, Kenga et al. (2004), também obtiveram estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação, significativas para todos os caracteres avaliados. As estimativas para capacidade específica de combinação também foram significativas, a exceção do comprimento da inflorescência. Neste caso, os efeitos não aditivos foram mais importantes que os aditivos, e os autores sugeriram ser viável para esta cultura o investimento em testes conjuntos entre as linhagens com alta CGC e os híbridos mais promissores com o objetivo de incrementar de forma mais eficiente a produtividade, assim como os outros caracteres estudados.

Estes resultados corroboram com a literatura, em que a utilização de linhagens para a obtenção de boas variedades de mercado é preferível ao uso de híbridos no caso das culturas autógamas, tendo em vista a prevalência de efeitos aditivos influenciando a expressão dos principais caracteres agrônômicos dessas espécies. O contrário ocorre no caso de culturas alógamas, onde o potencial dos híbridos é aproveitado, tendo em vista a influência predominante dos efeitos de dominância na expressão fenotípica dos caracteres.

Após a decomposição da análise de variância foram estimados os componentes quadráticos associados às capacidades geral e específica de combinação para todos os caracteres avaliados, assim como a razão entre eles (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Componentes quadráticos (variâncias) associados aos efeitos da capacidade geral e específica de combinação para os caracteres: comprimento de vagem, peso de vagem, número de grãos por vagem, número de vagens por pedúnculo, peso de cem grãos, produção por parcela e por planta, em oito genitores de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Componentes*	COMPV	PV	NGV	NVP	P100G	PRODP	PRODPL
Φ_g	7,32	54,30	6,29	2,04	11,50	19429,64	66,21
Φ_s	0,19	4,87	1,43	0,01	2,53	24220	96,79
Raz. $\Phi_g\Phi_s$	38,30	11,12	4,41	226,73	4,55	0,80	0,68

Φ_g : Componente associado à CGC.

Φ_s : Componente associado à CEC.

Raz. $\Phi_g\Phi_s$: Razão entre os componentes referentes aos efeitos aditivos e dominantes, respectivamente.

A razão entre os componentes quadráticos associados aos efeitos das capacidades geral e específica de combinação demonstrou que, para COMPV, PV e NVP há uma prevalência dos efeitos aditivos sobre os não aditivos. Percebe-se, portanto, que os genótipos parentais utilizados nos cruzamentos dialélicos sofreram pouca pressão seletiva para estes caracteres, principalmente para o número de vagens por pedúnculo, onde a magnitude dos efeitos aditivos foi muito superior.

Para os caracteres NGV e P100G os componentes quadráticos da CGC também foram superiores em relação aos da CEC, porém em menor magnitude, o mesmo ocorrendo para os caracteres PRODP e PRODPL. Estes resultados indicam que estes caracteres têm sido submetidos a uma forte pressão de seleção direta ao longo do tempo. Isto corrobora com o fato de que o grupo de genótipos parentais avaliados são todos linhagens elite e cultivares, ou seja, materiais genéticos que foram submetidos a seleção intensa para melhoria desses caracteres.

Segundo Cruz et al. (2004), a superioridade do componente quadrático associado aos efeitos de CGC, é normalmente verificada em situações nas quais os genitores parentais não foram submetidos a seleção prévia para o caráter em questão, sendo que, para os caracteres que já vêm sendo previamente selecionados

ao longo de algumas gerações, o diferencial para os efeitos aditivos pode ser reduzido.

Franco et al. (2001), ao estudarem as capacidades de combinação em genótipos de feijão-comum, afirmaram que a existência de efeitos significativos para CGC indica a possibilidade de obtenção de ganho genético durante a seleção em populações segregantes. Já a significância de CEC associada à alta magnitude do componente quadrático associado à mesma, são evidências de elevada complementariedade dos genótipos sob estudo.

Ushakumari et al. (2010) obtiveram resultados discordantes aos apresentados aqui. Estes autores, analisando as variâncias associadas às capacidades geral e específica de combinação obtiveram predominância de efeitos não aditivos no comprimento de vagem, número de grãos por vagem e produção por planta. Já Pandey e Singh. (2010), analisando por meio de cruzamentos dialélicos, seis genótipos de feijão-caupi exóticos, obtiveram estimativas de alta magnitude para a variância dos efeitos aditivos nos caracteres COMPV e PRODPL. Karthikeyan et al. (2007), estudando *Vigna mungo*, encontraram predominância de efeitos não aditivos para NGV e PRODPL, e leve predominância dos efeitos aditivos no caráter P100G.

Diante do número elevado de caracteres avaliados, os comentários relativos às estimativas das capacidades geral e específica de combinação (Tabelas 4.4 e 4.5) foram feitos de forma isolada para cada caractere, de forma a extrair o máximo de informação a respeito dos mesmos.

Comprimento de vagem (COMPV)

As estimativas da CGC entre os genótipos parentais para COMPV variaram de -1,523 (IT97K-1042-3) a 1,146 (TE97-304G-4) (Tabela 4.4). As estimativas de CGC mais favoráveis para esse caráter foram obtidas pelos genótipos parentais TE97-304G-4, BRS Xiquexique e Pretinho, com os valores 1,146, 0,985 e 0,706 ($P \leq 0,01$), sendo portanto os genótipos parentais mais recomendados para serem usados em hibridações visando o incremento no comprimento de vagem.

Os genótipos parentais IT89K-205-8 e IT97K-1042-3 foram os que apresentaram os menores valores para as estimativas de CGC para COMPV, -1,215

e -1,523, respectivamente, não sendo recomendados para serem usados como genótipos parentais de cruzamentos que visem o aumento do caráter COMPV. (CRUZ et al., 2004).

Tabela 4.4 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) para oito genótipos de feijão-caupi utilizados como genótipos parentais, para cada um dos caracteres analisados em dialelo de meia-tabela. Teresina, PI, 2010.

Parentais	Caracteres avaliados ^{1/}						
	COMPV	PV	NGV	NVP	P100G	PRODP	PRODPL
BRS Tumucumaque	-0,15 ±0,23	0,38 ±0,52	-0,60** ±0,20	-0,01 ±0,03	1,25** ±0,22	-13,74 ±19,48	0,22 ±1,26
BRS Xiquexique	0,98** ±0,23	1,97** ±0,52	1,23** ±0,20	0,01 ±0,03	0,06 ±0,23	71,59** ±19,48	5,55** ±1,26
TE97 - 304G - 4	1,15** ±0,23	3,77** ±0,52	0,95** ±0,21	-0,11** ±0,03	1,31** ±0,23	99,76** ±19,48	4,01** ±1,26
MNC05-843B- 88	-0,13 ±0,23	0,60 ±0,52	-0,28 ±0,21	0,02 ±0,03	0,29 ±0,23	-77,39** ±19,48	-4,16** ±1,26
IT89K - 205 - 8	-1,21** ±0,23	-3,66** ±0,52	-0,81** ±0,21	-0,01 ±0,03	-0,12 ±0,23	-49,47* ±19,48	-2,28 ±1,26
IT97K - 1042- 3	-1,52** ±0,23	-5,31** ±0,52	-1,04** ±0,21	0,18** ±0,03	-2,19** ±0,23	-43,15* ±19,48	-4,06** ±1,26
MNC99 - 541F - 15	0,18 ±0,23	1,66** ±0,52	-0,27 ±0,21	-0,10** ±0,03	0,95** ±0,23	13,37 ±19,48	-0,56 ±1,26
Pretinho	0,71** ±0,23	0,57 ±0,52	0,82** ±0,21	0,01 ±0,03	-1,56** ±0,23	-0,96 ±19,48	1,27 ±1,26

* e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

^{1/} PV= peso de 10 vagens; NVP= número de vagens por pedúnculo; COMPV= comprimento de vagem; P100G= peso de cem grãos; NGV= número de grãos por vagem; PROD/p=produtividade por planta em gramas.

Alguns autores estudando caracteres relacionados à produtividade em feijão-caupi também obtiveram estimativas significativas da capacidade geral de combinação para COMPV, o que indica que este caráter pode ser utilizado com sucesso para avaliar genótipos de feijão-caupi promissores (UMA e KALUBOWILA,

2010; USHAKUMARI et al., 2010; PANDEY e SINGH, 2010; MARAPPA et al., 2008).

O híbrido (2) BRS Xiquexique x (4) MNC05-843B-88 foi o cruzamento que apresentou a maior estimativa para a capacidade específica de combinação (1, 36), sendo o único onde a mesma foi significativa ($P \leq 0,05$) (Tabela 4.5). Na Tabela 4.5, também estão apresentadas as estimativas para os valores de s_{ij} , ou seja, o valor teórico relativo que expressa a CEC dos cruzamentos de cada genitor *per se*. Segundo Cruz et al. (2004), estas estimativas refletem, em termos de magnitude, a heterose varietal. No caso da presença de sinal negativo, indicam que os desvios de dominância são positivos.

Para o caráter COMPV, o s_{22} (2) BRS Xiquexique apresenta valor alto, negativo e significativo ($P \leq 0,05$), indicando desvios de dominância unidirecionais positivos e a maior probabilidade de obtenção de sucesso ao usar o genitor (2) BRS Xiquexique nas combinações híbridas visando o aumento do comprimento de vagens.

Tabela 4.5 - Estimativas da capacidade específica de combinação para sete caracteres avaliados em 36 híbridos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Cruzamento ^{2/}			Caracteres avaliados ^{1/}						
A	B	COMPV	NGV	PV	NVP	P100G	PRODP	PRODPL	
1	x 1	0,345	0,549	0,930	0,093	0,435	-91,003	-3,881	
1	x 2	-0,021	-0,425	0,065	0,063	1,001	10,157	-0,601	
1	x 3	0,488	0,254	-0,181	-0,069	-0,671	49,920	-1,217	
1	x 4	0,092	1,081	1,655	-0,075	-0,158	22,012	1,195	
1	x 5	-1,441*	-0,490	-0,831	-0,070	-0,354	-72,685	1,529	
1	x 6	0,127	-0,256	-1,161	0,126	-1,039	157,207**	12,988**	
1	x 7	-0,368	-0,733	-0,942	-0,063	1,369*	-64,001	-5,231	
1	x 8	0,778	0,020	0,465	-0,005	-0,583	-11,606	-4,781	
2	x 2	-1,557*	-0,999	-5,390**	0,043	-2,923**	-123,383*	-8,601*	
2	x 3	-0,548	0,090	0,404	-0,079	0,395	61,250	3,963	
2	x 4	1,365*	1,818**	2,780	0,105	1,099	4,052	-1,465	
2	x 5	-0,027	-0,404	0,714	0,010	0,122	-37,895	0,699	
2	x 6	0,250	0,050	0,564	-0,124	0,667	-59,163	-5,922	
2	x 7	0,065	-0,096	0,213	-0,063	-0,665	-77,311	-3,511	
2	x 8	0,472	-0,034	0,650	0,045	0,304	222,294**	15,439**	
3	x 3	0,480	-0,821	-0,402	-0,070	-0,768	-63,496	3,226	

Continua...

Tabela 4.5 - Estimativas da capacidade específica de combinação para sete caracteres avaliados em 36 híbridos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

...Conclusão

3	x	4	-0,316	0,436	1,094	-0,056	-0,394	-30,905	-1,641
3	x	5	-0,128	-0,225	-1,592	0,089	-0,060	27,299	0,363
3	x	6	0,429	0,499	0,788	0,075	0,065	-76,820	-5,419
3	x	7	-0,576	-0,988	-0,414	-0,034	1,462*	142,923**	6,503
3	x	8	0,170	0,755	0,304	0,144	-0,029	-110,172*	-5,777
4	x	4	-0,342	-0,016	-0,800	0,088	-1,690	-12,973	-1,129
4	x	5	0,265	-0,618	0,144	0,003	0,144	41,020	-1,835
4	x	6	-0,307	-1,424*	-1,526	-0,091	1,669*	32,402	-0,126
4	x	7	0,508	0,000	-0,897	0,110	-0,444	-18,626	-0,345
4	x	8	-1,266	-1,278*	-2,450	-0,083	-0,225	-36,981	5,345
5	x	5	1,723*	-0,459	-3,992*	-0,143	0,567	-145,696*	-6,601
5	x	6	-1,340*	-0,595	-0,242	-0,056	-0,518	-51,785	-3,332
5	x	7	0,395	1,299*	2,106	0,285*	-0,840	139,978*	5,229
5	x	8	0,552	1,491*	3,694*	-0,118	0,939	99,763	3,949
6	x	6	0,978	1,059	1,988	0,140	-1,013	8,117	2,176
6	x	7	0,193	0,633	1,116	0,021	0,415	23,059	3,878
6	x	8	-0,331	0,035	-1,526	-0,091	-0,246	-33,016	-4,242
7	x	7	-0,242	0,136	-2,085	-0,168	-1,338	-85,588	-5,121
7	x	8	0,024	-0,251	0,903	-0,090	0,041	-60,433	-1,401
8	x	8	-0,400	-0,739	-2,040	0,198	-0,200	-69,848	-8,531*

* e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

A e B, representam os genótipos parentais paternos e maternos, respectivamente.

^{1/} PV= peso de 10 vagens; NVP= número de vagens por pedúnculo; COMPV= comprimento de vagem; P100G= peso de cem grãos; NGV= número de grãos por vagem; PROD/p=produtividade por planta em gramas.

^{2/} (1) BRS Tumucumaque; (2) BRS Xiquexique; (3) TE97-304G-4; (4) MNC05-843B-88; (5) IT89K-205-8; (6) IT97K-1042-3; (7) MNC99-541F-15; (8) Pretinho.

Peso de vagem (PV)

Para o caráter peso de vagem o parental (3) TE97-304G-4 apresentou maior valor de CGC, seguido pelos genótipos parentais (2) BRS Xiquexique e (7) MNC99-541F-15, revelando-se como genótipos parentais indicados para o incremento no peso das vagens (Tabela 4.4). Os genótipos parentais (5) IT89K-205-8 e (6) IT97K-1042-3 não são indicados para serem usados em hibridações que visem a melhoria desse caráter, pois apresentaram estimativas de CGC altas e negativas, -3,66 e -5,31 respectivamente.

Na Tabela 4.2, percebeu-se a não significância dos desvios de dominância para o caráter peso de vagens, no entanto ao decompor os efeitos da CEC,

percebe-se a ocorrência de valor significativo para a combinação entre os genótipos parentais (5) IT89K-205-8 e (8) Pretinho. Verifica-se que em todos os cruzamentos que se revelaram como promissores há a presença de um parental com alta CGC, o que está associado ao fato dessas combinações apresentarem CEC elevada.

Os cruzamentos entre os genótipos parentais com maior CGC para PV (2) são BRS Xiquexique x (3) TE97-304G-4, (2) BRS Xiquexique x (7) MNC99-541F-15 e (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15 não apresentaram valores elevados para CEC, o que provavelmente ocorreu em função da baixa diversidade entre esses indivíduos, destacando-se o cruzamento (7) MNC99-541F-15 x (3) TE97-304G-4 que apresentou CEC negativa (Tabela 4.5).

Segundo Da Silva et al.(2004), nem sempre os genótipos parentais que apresentaram altos valores para as estimativas de CGC geram os melhores híbridos quando combinados entre si. Altos valores absolutos e negativos da CEC demonstram que o comportamento de um híbrido é pior do que o esperado com base na CGC dos genótipos parentais (CRUZ et al., 2004).

A s_{22} apresentou-se como negativa e altamente significativa, indicando que os desvios de dominância são unidirecionais e que cruzamentos envolvendo o parental (2) BRS Xiquexique podem propiciar o aparecimento de segregantes superiores, inclusive aproveitando a ação gênica aditiva proporcionada por este.

Número de grãos por vagem (NGV)

Para o número de grãos por vagem, assim como para COMPV, destacaram-se os genótipos parentais (2) BRS Xiquexique, (3) TE97-304G-4 e (8) Pretinho, que apresentaram valores altos e significativos de CGC (Tabela 2.4). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Ushakumari et al. (2010), que estudando os efeitos relacionados aos híbridos de feijão-caupi, utilizando para isso, mensurações da produtividade e caracteres relacionados, também encontraram efeitos de CGC significativos para o numero de grãos por vagem.

Já os genótipos parentais (1) BRS Tumucumaque, (5) IT89K-205-8 e (6) IT97K-1042-3 apresentaram valores estimados altos e negativos para capacidade geral de combinação, os mesmos não sendo recomendados para serem utilizados

em programas de melhoramento onde se pretende aumentar o número de grãos por vagem.

Entre os cruzamentos mais promissores, destacaram-se (2) BRS Xiquexique x (4) MNC05-843B-88 e (5) IT89K-205-8 x (8) Pretinho, os quais apresentaram pelo menos um parental com alta CGC, além de apresentarem valores de CEC altos e significativos. Considerando-se os cruzamentos entre os genótipos de maiores CEC, pode-se considerar o híbrido (3) TE97-304G-4 x (8) Pretinho como promissor para gerar populações superiores. Segundo Cruz et al. (2004) a obtenção de combinações híbridas com estimativas da capacidade específica de combinação mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genótipos parentais com maior capacidade geral de combinação é mais interessante para o melhorista.

Número de vagem por pedúnculo (NVP)

Com exceção do genitor (6) IT97K-1042-3 ($P \leq 0,01$), todos os demais genótipos parentais apresentaram valores baixos para a CGC, sendo que os genótipos (3) TE97-304G-4 e (7) MNC99-541F-15 apresentaram valores negativos e significativos ($P \leq 0,01$) para as estimativas de CGC referentes ao número de vagens por pedúnculo, não sendo recomendados para um incremento nesse caráter.

O efeito da CEC não foi significativo (Tabela 4.2), ressaltando a importância dos efeitos aditivos para a expressão desse caráter. A melhoria do número de vagens por pedúnculo deve levar em conta a CGC e, por isso, recomendam-se hibridações em que um dos genótipos parentais seja o genótipo (6) IT97K-1042-3, no entanto, ressalva-se que, em casos em que não ocorre forte influência dos efeitos de dominância, a média dos genótipos pode ser considerada um bom critério de escolha dos genitores.

Peso de cem grãos (P100G)

Os genótipos parentais (1) BRS Tumucumaque, (3) TE97-304G-4 e (7) MNC99-541F-15 apresentaram estimativas de CGC positivas e significativas sendo, portanto, entre os genótipos avaliados, os mais recomendados para serem utilizados como genótipos parentais em cruzamentos que visem um aumento no peso médio

dos grãos em feijão-caupi. Os genótipos (6) IT97K-1042-3 e (8) Pretinho apresentaram CGC negativa, não sendo recomendados para implementarem um aumento no peso médio de grãos da cultura.

Estes resultados apresentam semelhanças aos obtidos por Karthikeyan et al. (2007), que obtiveram efeitos de CGC significativos tanto positivos, quanto negativos, avaliando esse mesmo caráter em genótipos de *Vigna Mungo* testados sob condições de salinidade elevada.

De acordo com a Tabela 4.2, apresentaram desempenho significativo as combinações híbridas, (1) BRS Tumucumaque x (7) MNC99-541F-15, (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15 e (4) MNC05-843B-88 x (6) IT97K-1042-3. Observa-se que os cruzamentos (1) BRS Tumucumaque x (7) MNC99-541F-15 e (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15 possuem como os genótipos parentais que apresentaram as maiores CGC, este fato confirma os genótipos (1) BRS Tumucumaque, (3) TE97-304G-4 e (7) MNC99-541F-15 como os genótipos mais indicados para a melhoria desse caráter. No entanto, o cruzamento (1) BRS Tumucumaque x (3) TE97-304G-4, que também tem os melhores genótipos parentais como genitores, apresentou CEC negativa o que, segundo Da Silva et al. (2004), pode ser causa de baixa complementaridade entre esses genótipos, no que diz respeito aos genes relacionados a P100G.

Produção por parcela (PRODP)

Os genótipos parentais que expressaram maiores estimativas de CGC para o caráter PRODP foram (2) BRS Xiquexique e (3) TE97-304G-4 ($P \leq 0,01$), seguidos pelo genitor (7) MNC99-541F-15 ($P > 0,05$), ambos sendo os mais recomendados para serem usados como genitores em hibridações que pretendam propiciar um aumento da produção por parcela.

As estimativas das CEC para os cruzamentos envolvendo os oito genótipos parentais de feijão-caupi em relação ao caráter PRODP revelaram que os cruzamentos (1) BRS Tumucumaque x (6) IT97K-1042-3, (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho, (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15 e (5) IT89K-205-8 x (7) MNC99-541F-15 são superiores aos demais e são potenciais para gerar populações

segregantes superiores. Observa-se que entre os híbridos formados, o único em que não houve participação de genótipos parentais com elevada CGC foi (1) BRS Tumucumaque x (6) IT97K-1042-3, no qual ambos os genótipos parentais apresentaram estimativas contendo valores negativos de CGC, sendo, portanto, dentre os híbridos citados, o menos indicado para ser utilizado para incrementar o caráter PRODP.

Nos cruzamentos subseqüentes houve a participação de pelo menos um genitor com elevada estimativa para CGC, onde se destacou o cruzamento (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15 em que ambos os pais apresentaram valores elevados e positivos para CGC, sendo, portanto, a combinação mais indicada para ser utilizada na geração de populações segregantes que gerem indivíduos mais produtivos.

Ressalta-se, também, o potencial do parental (2) BRS Xiquexique, pois além de ter apresentado elevada CGC, evidenciou s_{22} negativo e significativo, indicando desvios de dominância unidirecionais e associados à sua elevada CGC, que em programas de hibridação, pode promover a melhoria para o caráter em questão.

Produção por planta (PRODPL)

Para o caráter produção por planta, os genótipos parentais (2) BRS-Xiquexique e (3) TE97-304G-4 destacaram-se apresentando estimativas de CGC superiores aos demais avaliados, Tabela 4.4. Os genótipos (4) MNC05-843B-88 e (6) IT97K-1042-3 apresentam CGC altas e negativas, sendo os menos recomendados, entre os genótipos avaliados, para serem utilizados em tentativas de aumentar a produção por planta em cruzamentos envolvendo genótipos de feijão-caupi.

Pandey e Singh (2010) trabalhando com linhagens de feijão-caupi testadas em diversos ambientes, também obtiveram estimativas de CGC elevadas, tanto positivas quanto negativas para a produtividade por planta, assim como estudos realizados por Ushakumari et al. no mesmo ano, que estudaram a produtividade, assim como caracteres relacionados em feijão-caupi.

Os híbridos (1) BRS Tumucumaque x (6) IT97K-1042-3 e (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho revelaram-se promissores, sendo que, ambos apresentaram estimativas de CEC bem superiores (12, 988 e 15, 439, respectivamente) aos demais híbridos avaliados para o caráter PRODPL. O cruzamento entre os genótipos parentais com maior CGC, (2) BRS Xiquexique e (3) TE97-304G-4, gerou um híbrido com estimativa de CEC não significativa (Tabela 4.5).

O cruzamento (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho destacou-se entre os demais, pois, além de apresentar a maior estimativa de CEC, é composto por genótipos parentais com estimativas positivas para CGC, entre eles o genitor (2) BRS Xiquexique, que foi dentre todos os oito genótipos avaliados, o que apresentou maior valor de CGC para PRODPL e apresentou s_{22} significativamente superior aos demais. Portanto, recomenda-se os genótipos (2) BRS Xiquexique e (3) TE97-304G-4 para compor cruzamentos que visem um incremento na produção de grãos em feijão-caupi, e o cruzamento (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho como fonte de populações segregantes com alto potencial para gerar linhagens promissoras que apresentem elevada produção de grãos por planta.

De acordo com o exposto, os genótipos que mais se destacaram dentre os caracteres analisados foram principalmente os genótipos parentais (2) BRS Xiquexique, (3) TE97-304G-4 e (8) Pretinho, que além de apresentarem elevadas estimativas para CGC também participaram de cruzamentos que apresentaram um bom desempenho, tais como (2) BRS Xiquexique x (4) MNC05-843B-88, (2) BRS Xiquexique x (8) Pretinho, (3) TE97-304G-4 x (7) MNC99-541F-15, e (5) IT89K-205-8 x (8) Pretinho.

Correlações fenotípicas e genotípicas

As estimativas de correlação entre os caracteres são apresentadas na Tabela 4.6. O caráter PV correlacionou-se positiva e significativamente ($P \leq 0,01$) com todos os outros caracteres, exceto com NVP, onde se observou uma correlação negativa e significativa. Isso indica que a seleção de indivíduos com valores altos para peso de vagem pode levar a ganhos em COMPV, NGV, P100G e PRODPL.

Tabela 4.6 - Correlações fenotípicas obtidas pelo método de Spearman entre seis caracteres analisados na geração F₂. Teresina, PI, 2010.

	PV	NGV	NVP	P100G	PRODPL
COMPV	0,875 **	0,844 **	-0,415	0,381 **	0,464 **
PV	-----	0,721 **	-0,514 **	0,614 **	0,508 **
NGV		-----	-0,173	0,109	0,524 **
NVP			-----	-0,596 **	0,311
P100G				-----	0,292 **

** : Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

PV= peso de 10 vagens; NVP= número de vagens por pedúnculo; COMPV= comprimento de vagem; P100G= peso de cem grãos; NGV= número de grãos por vagem; PRODP produtividade por planta em gramas.

O caráter NVP apresentou correlações negativas com PV e P100G ($P \leq 0,01$). Através da seleção de genótipos com um menor número de vagens por pedúnculo, pode-se obter genótipos com elevado peso de cem grãos e vagem com maior peso. Não é indicada a seleção de indivíduos com maior número de vagens por pedúnculo para um incremento na produtividade, pois apesar desses caracteres se correlacionarem positivamente, os resultados não apresentaram significância pelo teste t.

O caráter comprimento de vagem apresentou, como esperado, correlação alta, positiva e significativa com NGV, além de correlações positivas e significativas com P100G, PV e PRODPL. A característica COMPV pode ser utilizada para a seleção indireta de indivíduos com um grande número de grãos por vagem, elevado peso de cem grãos, peso de vagem e produtividade. Indivíduos com elevado peso de cem grãos podem ser usados para a seleção de genótipos com reduzido número de vagens por pedúnculo e alta produtividade.

O Peso de 100 grãos apresentou correlações positivas e significativas com PRODPL, PV e COMPV, e correlação negativa e significativa com NVP. O número de grãos por vagem (NGV), por sua vez, apresentou correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$), com o caráter PRODPL.

Portanto, para se obter elevados índices de produtividade deve ser dada preferência à seleção de indivíduos com elevado peso de vagem (PV), vagens de

maior comprimento (COMPV), elevado peso de cem grãos (P100G) e grande número de grãos por vagem (NGV), e deve-se evitar seleção de genótipos com elevado número de vagens por pedúnculo (NVP), pois, este último caráter, além de não ter apresentado correlação significativa com PRODPL, apresentou correlações negativas significativas ($P \leq 0,01$) com PV e NVP.

Estes resultados estão de acordo com Lopes et al. (2001), que ao analisarem vários caracteres em feijão-caupi, também obtiveram estimativas de correlação positiva entre PV, COMPV, P100G e o caráter produtividade, além de negativa e significativa entre PV, COMPV, P100G e NVP. Romanus et al. (2008), estudando sete linhagens de feijão-caupi, também obtiveram valores de correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$) entre comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV) e produção.

As estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação foram usadas para calcular os coeficientes de correlação entre os sete caracteres avaliadas. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Coeficientes de correlação para os efeitos de CGC entre sete caracteres agrônômicos avaliados em feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

	PV	NGV	NVP	P100G	PRODP	PRODPL
COMPV	0,928 **	0,976 **	-0,452	0,476	0,809 *	0,785*
PV	----	0,904 *	-0,476	0,642	0,738	0,619
NGV		----	-0,333	0,380	0,785 *	0,809 **
NVP			----	-0,761 *	-0,571	-0,452
P100G				----	0,428	0,309
PRODP					----	0,880 **

** e *: Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Os efeitos aditivos para comprimento de vagem foram positivamente correlacionados aos efeitos obtidos para peso de vagem, número de grãos por vagem, produção por parcela e produção por planta. Peso de vagem apresentou

efeitos aditivos correlacionados positivamente aos efeitos de número de grãos por vagem ($p \leq 0,05$).

Os efeitos de número de grãos por vagem correlacionaram-se positivamente com produção da parcela e produção por planta. Para número de vagens por pedúnculo observou-se correlação negativa com os efeitos de peso de cem grãos. Produção por planta apresentou correlação positiva, alta e significativa ($P \leq 0,01$), entre seus efeitos de CGC e os efeitos de produção por parcela.

Rainey e Griffiths (2005) estudando componentes de produtividade em dez genótipos de feijão comum através de um dialelo de tabela completa, também obtiveram correlações positivas e significativas entre as estimativas de capacidade geral de combinação para número de sementes por vagem e caracteres relacionadas à produtividade.

Pode ser utilizada uma abordagem que utiliza cruzamentos aleatórios entre os genótipos parentais com maiores estimativas para CGC para alguns caracteres de interesse que se correlacionem positivamente, com o intuito de concentrar, nas populações segregantes, o maior número possível de alelos favoráveis ao incremento nesses caracteres (JENKINS et al., 2009).

Portanto, para concentrar o maior número possível de genes favoráveis e promover o incremento no peso das vagens, pode-se selecionar linhagens com elevada CGC para COMPV, o mesmo é válido para se obter elevado número de grãos por vagem.

Destaca-se que os efeitos de CGC de NVP apresentaram correlações negativas com todas as outras estimativas, e entre estas, foi significativa apenas a correlação entre NVP e P100G. Portanto, o melhorista, visando incrementar os fatores relacionados ao peso de grãos, deve dar prioridade a genótipos parentais com baixo número de vagens por pedúnculo.

De acordo com a Tabela 4.7, o caráter produtividade por parcela pode ser incrementado escolhendo como genitores os genótipos parentais que apresentaram uma elevada CGC para número de grãos por vagem e comprimento das vagens. A alta significância entre as estimativas de CGC para PRODP e PRODPL era esperada,

já que a variável PRODPL foi estimada por razão simples entre PRODP e o número de plantas na parcela.

Jenkins et al. (2009), avaliando componentes de variância em onze genótipos de algodão, obtiveram valores significativos e positivos para as correlações entre as estimativas de CGC de vários caracteres relacionados à produção de fibras, dentre eles a produtividade de sementes.

Portanto, para aumentar o número de progênies que gerem linhagens com elevada capacidade de se combinarem em genótipos que apresentem uma alta produtividade, o melhorista pode inserir em seu grupo de cruzamentos, indivíduos com alta CGC para comprimento de vagens, número de grãos por vagem e produção por parcela.

As estimativas de correlação entre os efeitos de capacidade geral de combinação entre os caracteres são importantes fontes de informação podendo conduzir a um direcionamento adicional no uso das linhagens estudadas como genótipos parentais em programas de melhoramento, tendo em vista que fornecem a informação direta sobre quais variedades devem ser utilizadas como genitores para melhorar dois ou mais caracteres simultaneamente (JENKINS et al., 2009).

4.4 CONCLUSÕES

1- Os efeitos aditivos foram mais importantes que os não-aditivos para maioria dos caracteres avaliados, possibilitando a obtenção de ganhos com a seleção desses caracteres.

2- Os genótipos parentais BRS Xiquexique e TE97-304G-4 foram os mais promissores para a maioria dos caracteres avaliados.

3- Os cruzamentos mais importantes a fim de se obter populações com potencial de gerar linhagens produtivas foram: BRS Xiquexique x Pretinho e TE97-304G-4 x MNC99-541F-15.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, A. A. C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997.

CARDOSO, M.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 102, 2008.

CRUZ, C.D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: MG, UFV, 442 p, 2001.

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

DA SILVA, M. P. et al. Análise dialélica da capacidade combinatória em feijão-de-vagem. **Horticultura brasileira**, v. 22, n. 2, 2004.

FRANCO, M. C. et al. Combining ability for nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes from Andean and Middle American gene pools. **Euphytica**, v. 118, p. 265–270, 2001.

FREIRE FILHO, F. R. et al. Melhoramento Genético. In: FREIRE FILHO, F. R. et al (Ed). **Feijão caupi: Avanços tecnológicos**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, 2005. 519p.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, v. 9, p.463-493, 1956.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, v. 16-20, 2007.

JENKINS, J. N. et al. Genetic variance components and genetic effects among eleven diverse upland cotton lines and their F2 hybrids. **Euphytica**, v. 167, p. 397-408, 2009.

KARTHIKEYAN, P. et al. Genetic analysis in black gram (*Vigna mungo* (L.) hepper) under saline condition. **Madras Agricultural Journal**, v. 94, p. 179-182, 2007.

KENGA, R; ALABI, S. O.; GUPTA, S. C. Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Field Crops Research**, v. 88, p. 251–260, 2004.

KIMANI, J.; DERERA, J. Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low and high soil phosphorus conditions. **Euphytica**, v.166, p. 1-13, 2009.

LOPES, A. C. A. et al. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 515-520, 2001.

MARAPPA, N. Line x tester analysis in Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Asian Journal of Bio Science**, v. 3, n. 2, p. 289-294, 2008.

NKALUBO, S. T. et al. Genetic analysis of anthracnose resistance in common bean breeding source germplasm. **Euphytica**, v. 167, p. 303–312, 2009.

OLIVEIRA, A. P. et al. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 1, 2003.

PANDEY, B.; SINGH, Y. V. Combining ability for yield over environment in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.). **Legume Research**, v. 33, p. 190 - 195, 2010.

RAINEY, K. M.; GRIFFITHS, P. D. Diallel analysis of yield components of snap beans exposed to two temperature stress environments. **Euphytica**, v. 142, p. 43–53, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. p. 29-75.

ROMANUS, K. G.; HUSSEIN, S.; MASHELA, W. P. Combining ability analysis and association of yield and yield components among selected cowpea lines. **Euphytica**, v. 162, n. 2, p. 205-210, Jul 2008.

SAS/STAT 8.0 User'Guide. Cary, NC, USA, 1997.

UMA, M. S.; KALUBOWILA, I. Line x tester analysis for yield and rust resistance in Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 254-267, 2010.

USHAKUMARI,R. N.; VAIRAM, C.R.; MALINI, N. Studies on hybrid vigour and combining ability for seed yield and contributing characters in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, p. 940-947, 2010.

VIJAYKUMAR, A.; SAINI, A.; JAWALI, N. Phylogenetic Analysis of Subgenus *Vigna* Species Using Nuclear Ribosomal RNA ITS: Evidence of Hybridization among *Vigna unguiculata* Subspecies. **Journal of Heredity**, v. 101, n.2, p. 177-188, 2010.

XAVIER, G. R. et al. Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 04, p. 353-359, 2005.