

Universidade Federal do Piauí

**Seleção recorrente para obtenção de progênies de feijão-caupi
tolerantes ao déficit hídrico**

Camila Campêlo de Sousa

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

**Teresina
2013**

Camila Campêlo de Sousa
Bacharel em Ciências Biológicas

**Seleção recorrente para obtenção de progênies de feijão-caupi tolerantes ao
déficit hídrico**

Orientador:
Dr. KAESEL JACKSON DAMASCENO E SILVA
Co-orientador:
Dr. EDSON ALVES BASTOS

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

Teresina
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

**Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico**

S725s Sousa, Camila Campêlo de

Seleção recorrente para obtenção de progênies de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico / Camila Campêlo de Sousa.-- 2012.

86f.: il.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva.

Seleção recorrente para obtenção de progênies de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico

Camila Campêlo de Sousa
Bacharel em Ciências Biológicas

Aprovada em:

Comissão julgadora:

Dr. José Baldin Pinheiro - ESALQ/USP

Dra. Ângela Celis de Almeida Lopes - UFPI

Dr. Edson Alves Bastos - Embrapa Meio-Norte
(Co-orientador)

Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva - Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

*Aos meus familiares, em especial, Arlene, Luiz Foriver, Rebeca e
Máisa, por terem me ajudado nos momentos mais difíceis, e dado o
apoio necessário para que eu seguisse nesta caminhada acadêmica.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela minha fé;

À Universidade Federal do Piauí, por fornecer minha formação acadêmica desde a graduação;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa durante os dois anos de Mestrado;

À Embrapa Meio-Norte, pela infraestrutura e recursos humanos para a realização desse estudo;

Ao pesquisador, orientador Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, pela confiança a mim depositada, pela orientação repassada, pela extrema competência em me auxiliar, paciência para ensinar, pelos ensinamentos em sala de aula e fora dessa e principalmente pela disponibilidade de me orientar;

Ao pesquisador, co-orientador Dr. Edson Alves Bastos, exemplo de paciência e competência, pelo apoio técnico durante esta jornada, pela disponibilização de seus estagiários para me ajudar, pelos inúmeros ensinamentos na área de irrigação e por me “salvar” em muitos momentos do experimento;

Às professoras, Dra. Ângela Celis de Almeida Lopes e Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes, pelo carinho, ensinamentos, atenção e dedicação, não só com o programa, mas com cada integrante deste, pois sem elas, este programa não teria este nível de compromisso e seriedade;

Ao professor, Dr. Sérgio Emílio dos Santos Valente, por estar presente em todos os momentos da minha vida de pós-graduanda, contribuindo com o enriquecimento não só do meu currículo, como de toda a minha caminhada profissional;

Aos professores Dr. Antônio Aécio Carvalho Bezerra, Dra. Gleice Ribeiro Orasmo, Dr. Maurisrael de Moura Rocha, Dra. Ana Paula Perón, Dr. Fabio Barros Britto, Dr. Fábio Mendonça Diniz, Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, Dr. Antônio Natal Vello (ESALQ), Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias (ESALQ) e Dr. José Baldin Pinheiro (ESALQ) pelas disciplinas ministradas e pelos ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários da Embrapa Meio-Norte, em especial ao seu Agripino Ferreira do Nascimento, Francisco Reis de França, Paulo Sérgio Monteiro, Manoel Gonçalves da Silva, Adão Cabral das Neves, Clodeildes Lima Nunes, Antonio José de Araújo Marques, Francisco de Assis da Silva Lima, Ana Lúcia Barros da Costa e as

“mulheres do caupi” pela excelente recepção, carinho e ajuda, fundamentais para execução deste trabalho;

Ao meu namorado, Dônavan Holanda Nolêto, pelo amor, paciência, compreensão, incentivo e auxílio prestado em todos os momentos deste trabalho;

Aos amigos de turma, Kátia Silene Sousa Carvalho, Rosana Mendes de Moura, Mariane de Moraes Costa, Willame Rodrigues do Nascimento Sousa, Jaqueline Luz Moura Sousa, Kaline González Aguiar e João Paulo Gomes Viana, pelos momentos que passamos juntos estudando e descontraindo e pelas amizades conquistadas;

Aos amigos de outras turmas, Raimundo Nonato Silva, Hendrie Ferreira Nunes, Michelly Ferreira dos Santos, José Ribamar Assunção Filho, Leane de Melo Fialho, Verônica Brito da Silva, Erina Vitória Rodrigues, Ellida Silvestre Aguiar, Massaine Bandeira e Sousa, Akemi Suzuki Cruzio, Maria do Socorro da Rocha Nogueira, Caroline de Jesús Pires, Jéssica Daniele Lustosa da Silva, Wesley Silva Leão, Raul Mendes e Jeane Moura, pelo apoio e troca de experiências;

A todos os estagiários do Caupi e Irrigação, em especial à Simone Raquel Mendes de Oliveira, ao Mário Henrique Rodrigues Mendes Torres, Carlos Misael Bezerra de Sousa, Ramilos Rodrigues, Karla Anielle da Silva Bernardo, Laíze Rafaele Lemos Santos, Tayanne Paula da Silva Santos, Raylson Rodrigues de Sousa, Maiara Jaianne Bezerra Leal, Marcelo Roberto Leocádio dos Santos, Josiane Fonteneles, Marcus Willame Lopes Carvalho, Anderson Nascimento Costa e Marcos Vinícius Pereira da Silva, pela contribuição e amizade;

À minha família e amigos, pelo apoio e compreensão nos dias difíceis;

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

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	18
2.1.1 Origem e dispersão	18
2.1.2 Características nutricionais da cultura	19
2.1.3 Características agronômicas da cultura.....	21
2.2 Déficit Hídrico.....	22
2.3 Tolerância ao déficit hídrico	25
2.4 Estratégias de melhoramento visando tolerância ao déficit hídrico	28
2.5 Seleção recorrente	30
2.6 Análises multivariadas	32
2.6.1 Análise de variância multivariada	32
2.6.2 Análise de componentes principais	34
2.6.3 Análise de correlação canônica	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 Caracterização da área experimental	39
3.2 Material Genético.....	40
3.3 Condução do experimento em campo	41
3.4 Metodologia Wooden Box.....	44
3.5 Análises estatísticas	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

4.1 Seleção dos tratamentos	47
4.2 Caracterização do déficit imposto.....	49
4.3 Avaliação das progênies $S_{0:1}$ do primeiro ciclo de seleção recorrente em feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico por meio de análises multivariadas	52
4.4 Avaliação das progênies $S_{0:1}$ do primeiro ciclo de seleção recorrente em feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico por meio de análises multivariadas	56
4.5 Metodologia Wooden box	64
4.6 Análises considerando os experimentos conduzidos em campo experimental e casa de vegetação	71
5 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXO.....	85

RESUMO

SOUSA, C. C. **Seleção recorrente para obtenção de progênies de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico.** 86p. Dissertação (Mestrado/Genética e Melhoramento) – UFPI, Teresina, 2013.

O feijão-caupi constitui-se uma importante fonte alimentar cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo, que possuem um longo período de seca, a qual se constitui no principal fator responsável pela redução da produção; fazendo-se necessário o lançamento de cultivares produtivas com tolerância ao déficit hídrico, adaptadas às regiões de cultivo. O melhorista deve dispor de variabilidade genética para que possa obter e lançar novas cultivares que atendam às exigências do mercado. Um método que objetiva aumentar a frequência de alelos favoráveis mantendo a variabilidade genética é a seleção recorrente, onde são realizados vários ciclos seletivos, em que cada ciclo consiste na formação de uma população base para obtenção das progênies, avaliação e seleção das melhores para recombiná-las. A seleção das melhores progênies para continuação do programa de seleção recorrente pode ser realizada por meio de estatísticas univariadas e multivariadas, que vêm se tornando ferramentas cada vez mais utilizadas analisam todas as variáveis como um conjunto. Em virtude do exposto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar progênies $S_{0:1}$ de feijão-caupi do primeiro ciclo de seleção recorrente visando tolerância ao déficit hídrico. Partindo de um dialelo completo entre seis genitores com tolerância ao déficit hídrico (BRS Paraguaçu, BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2, Santo Inácio, CNCx 689-128G e MNC99-510F-16), obteve-se 30 populações F_2 , as quais compuseram a população base (S_0) do primeiro ciclo de seleção recorrente em feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico. Nesta população, foram selecionadas, com base em uma análise de componentes principais, 219 progênies $S_{0:1}$ que juntamente com os seis parentais compuseram os experimentos conduzidos em látice simples 15 x 15 avaliados em campo experimental e em casa de vegetação, sob condições de déficit hídrico. Para a seleção das progênies que continuarão no programa de seleção recorrente, foram realizadas análises univariadas (análise de variância) e multivariadas (análise de variância multivariada, análise de componentes principais e análises de correlações canônicas). Nas análises de variâncias univariadas, os caracteres floração,

maturidade, comprimento de vagem, peso de grãos por vagem e peso de cem grãos mostraram efeitos de tratamentos significativos ($p \leq 0,05$). Pela análise de componentes principais no experimento conduzido em campo experimental, obteve-se que os componentes de produção e o ciclo foram os caracteres que mais contribuíram para a variabilidade das progênies. Enquanto no experimento conduzido em casa de vegetação, o percentual de plantas que murcharam precocemente após o término da irrigação e o percentual que recuperou após o retorno da irrigação foram os que mais contribuíram para a variabilidade. No entanto, a correlação entre os dois experimentos foi baixa ($r < 0,15$), devendo-se optar pela metodologia em que o déficit hídrico é aplicado em condições de campo, uma vez que o método Wooden Box precisa ser otimizado para a região em estudo. A partir dos resultados obtidos no experimento conduzido em campo experimental, as progênies 20, 33, 37, 47, 49, 58, 60, 85, 88, 129, 170 e 198 que se mostraram precoces e tolerantes ao déficit hídrico deverão ser selecionadas para a continuação do programa de seleção recorrente; adicionalmente as progênies 97, 104, 126, 158, 171, 185 e 191 deverão ser selecionadas por apresentarem menor percentual de plantas que murcharam precocemente e maior percentual de recuperação, pelo método Wooden Box.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; Análises multivariadas; Seleção de progênies; Seca, Metodologia Wooden Box.

ABSTRACT

SOUSA, C. C. **Recurrent selection for obtaining drought tolerant progenies of cowpea**. 86p. Dissertation (Master in Genetics and breeding) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

Cowpea is an important food source and it is grown in tropical and subtropical regions of the world. These regions have a long period of drought, which is the main factor responsible for the reduced production. It is necessary to launch productive cultivars with tolerance to drought, adapted to the growing regions. The breeder should have genetic variability so that can obtain and release new cultivars. A breeding method which aims at increasing the frequency of favorable alleles genetic and maintaining the variability is the recurrent selection. This consists of the formation of a population base to obtain the progenies, evaluation and selection of the best to recombine them and thus ensure the variability of subsequent cycles. A selection of the best progeny to continue the program of recurrent selection can be performed by univariate and multivariate statistics. The multivariate statistical techniques are becoming tools increasingly used by breeders in the selection of superior genotypes. Multivariate statistics consider all the traits together you're your correlations. Thus, this study aimed to evaluate $S_{0:1}$ cowpea first cycle of recurrent selection aiming tolerance to hidric deficit. Starting from a complete diallel among six parents with hidric deficit (BRS Paraguaçu, BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2, Santo Inácio, CNCx 689-128G and MNC99-510F-16), we obtained 30 F_2 populations, which composed the population base (S_0) of the first cycle of recurrent selection in cowpea aiming hidric deficit. In this population, were selected 219 families $S_{0:1}$ by principal components analysis, which together with six parents composed the experiments conducted in 15 x 15 simple lattice evaluated in experimental field and in the greenhouse under deficit conditions water. For the selection of the progeny would continue the program of recurrent selection were performed univariate (ANOVA) and multivariate (multivariate analysis of variance, principal component analysis and canonical correlation analysis). At univariate analysis of variance, the characters flowering, maturity, pod length, seed weight per pod and one hundred grains weight showed significant treatment effects ($p \leq 0.05$). By principal component analysis in the experiment conducted in the experimental field, it was found that the

yield components and the life cycle were the traits that contributed most to the variability of the progenies. While in the experiment in a greenhouse, the percentage of plants wilted soon after the end of irrigation and the percentage who recovered after the return of irrigation were the main contributors to the variability. However, the correlation between the two experiments was lower ($r < 0.15$). The Wooden Box method needs to be optimized for the region under study. From the results obtained in the experiment conducted in the experimental field, progenies 20, 33, 37, 47, 49, 58, 60, 85, 88, 129, 170 and 198 that showed early and drought tolerance and should be selected for the continuation of the recurrent selection program; additionally progenies 97, 104, 126, 158, 171, 185 and 191 should be selected because they have a lower percentage of plants wilted early and a higher percentage of recovery method Wooden Box.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Multivariate analyzes; Selection of progenies; drought.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico representando os valores de temperatura média e umidade relativa do ar média durante o período em que foi conduzido o experimento	39
Figura 2 - Genitores utilizados na composição do dialelo.....	40
Figura 3 - Gráfico representando os valores de umidade aos 10, 20 e 30 cm de profundidade monitorados pelo Diviner 2000	50
Figura 4 - Nível de esgotamento de água do solo em três períodos: 23-33 DAP, 34-47 DAP e 48-71 DAP	51
Figura 5 - Gráficos de dispersão mostrando a correlação entre comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV) e produção de grãos por parcela (Prod), duas a duas	61
Figura 6 - Gráfico de dispersão da correlação entre floração e maturidade	62
Figura 7 - Gráfico biplot entre os dois primeiros componentes principais para os sete caracteres (Flor=Floração, Matur=Maturidade, CV=Comprimento de vagem, NGV=número de grãos por vagem, PGV=peso de grãos por vagem, P100G=peso de grãos e Prod=Produção de grãos por parcela).....	63
Figura 8 - Plantas aos 15 dias após o término da irrigação.....	65
Figura 9 - Gráfico representando o percentual médio de plantas que murcharam aos 8, 10, 12 e 15 dias após o fim da irrigação.....	67
Figura 10 - Gráfico biplot entre os dois primeiros componentes principais para os quatro caracteres (Percentual de plantas que murcharam aos 8, 10 e 12 dias após o término da irrigação e percentual de recuperação após o retorno da irrigação).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação dos genitores utilizados no cruzamento dialélico com seus respectivos dados de número de vagens por planta (NVPI), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G) e produção de grãos por planta (Prod) em experimentos realizados com déficit hídrico (CDH) e sem déficit hídrico (SDH). Teresina, PI, 2012	41
Tabela 2 – Valores do coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-caupi de acordo com as fases de desenvolvimento. Teresina, PI, 2012	42
Tabela 3 - Valores de autovalores brutos, cumulativo e valores de autovetores associados aos quatro componentes principais obtidos por meio da análise de componentes principais dos dados de Rodrigues (2012). Teresina, PI, 2012.....	48
Tabela 4 - Análise intrablocos das variáveis floração (Flor), maturidade (Matur), comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), peso de grãos por vagem (PGV), peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod) em um delineamento em látice simples 15 x 15 para seleção de genótipos de feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico. Teresina, PI, 2012	53
Tabela 5 - Matriz de covariância dos dados do experimento conduzido em campo experimental, considerando sete caracteres: início de floração (Flor); maturidade (Matur); comprimento de vagem (CV); número de grãos por vagem (NGV); peso de grãos por vagem (PGV); peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod). Teresina, PI, 2012.....	57
Tabela 6 - Matriz de correlação dos dados do experimento conduzido em campo experimental, considerando sete caracteres: início de floração (Flor); maturidade (Matur); comprimento de vagem (CV); número de grãos por vagem (NGV); peso de grãos por vagem (PGV); peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod). Teresina, PI, 2012.....	58
Tabela 7 - Valores de autovalores brutos, cumulativo e autovetores dos sete componentes principais obtidos por meio da análise de componentes principais dos dados do experimento conduzido em campo experimental. Teresina, PI, 2012.....	60

Tabela 8 - Matriz de covariância dos dados obtidos da avaliação de 225 progênies S _{0:1} de feijão-caupi, pela metodologia Wooden Box, considerando cinco caracteres: percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12 e 15 dias após término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram após o retorno da irrigação. Teresina, PI, 2012	64
Tabela 9 - Matriz de correlação dos dados obtidos da avaliação de 225 progênies S _{0:1} de feijão-caupi, pela metodologia Wooden Box, considerando cinco caracteres: percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12 e 15 dias após término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram após o retorno da irrigação. Teresina, PI, 2012.....	64
Tabela 10 - Valores de média, desvio-padrão, valor máximo e mínimo dos dados do experimento conduzido em casa de vegetação, considerando cinco caracteres: percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12 e 15 dias após término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram após o retorno da irrigação. Teresina, PI, 2012.....	66
Tabela 11 - Valores de autovalores brutos, cumulativo e autovetores dos cinco componentes principais obtidos por meio da análise de componentes principais dos dados do experimento conduzido em casa de vegetação. Teresina, PI, 2012.....	69
Tabela 12 - Testes de comparação de médias multivariados referentes aos dados do experimento conduzido em campo experimental e em casa de vegetação. Teresina, PI, 2012	71
Tabela 13 - Os valores da análise de correlação canônica referentes aos dados conduzidos em campo experimental e casa de vegetação. Teresina, PI, 2012	72

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., é uma das fontes alimentares mais importantes para as regiões tropicais e subtropicais do mundo; onde constitui também uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar e geração de emprego, especialmente para as populações rurais. Além disso, as sementes desta espécie são ricas em lisina e outros aminoácidos essenciais, contêm grandes quantidades de vitaminas hidrossolúveis, como a tiamina e niacina e de minerais, tais como ferro, zinco, potássio e fósforo (FREIRE FILHO et al., 2005).

No Brasil, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Norte e Nordeste e está se expandindo para a região Centro-Oeste, principalmente para o estado do Mato Grosso. Estimativas a partir de dados levantados pelo IBGE, apontam que a área cultivada de feijão-caupi, em 2009, na região Nordeste foi de 1.368.113 ha, onde no Piauí foram plantados 235.602 ha com a cultura. A produção brasileira em toneladas, no mesmo ano, foi de 523.890; o Nordeste produziu 382.316 t, no qual o estado do Piauí contribuiu com 57.957 t (FREIRE FILHO et al., 2011). No entanto, a produtividade média da cultura ainda é baixa (279,44 kg/ha), em decorrência sobretudo, dos estresses abióticos, que contribuem para a redução da produtividade.

Estresses abióticos, por serem imprevisíveis, constituem-se em grandes fatores de risco para a agricultura e podem reduzir significativamente rendimentos em lavouras, restringindo as áreas agricultáveis. Entre esses, destaca-se o déficit hídrico, o qual é o principal fator responsável por redução da produção, especialmente no semiárido brasileiro, onde a água é considerada um fator limitante (FARIAS et al., 2001; BRITO et al., 2012).

Nesse sentido, faz-se importante desenvolver cultivares com tolerância ao déficit hídrico, a qual é um mecanismo que a planta possui, onde consegue manter seu metabolismo mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos; devido principalmente ao acúmulo de osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (VERSLUES et al., 2006).

Assim, o feijão-caupi, que já é uma leguminosa que detém boas cultivares, pode ainda ser incrementado quanto à tolerância ao déficit hídrico; e então,

contribuir economicamente e socialmente, não só com pequenos produtores que sofrem mais com o efeito da seca, mas também com os grandes produtores, que o plantam como cultura de safrinha, época em que não existe regularidade pluviométrica, necessitando portanto, de cultivares precoces e tolerantes ao déficit hídrico.

No entanto, para realizar o melhoramento genético é imprescindível a existência de variabilidade genética e de acordo com Xavier et al. (2005), a partir de grande variabilidade genética, pode-se desenvolver genótipos adaptados às diferentes regiões e ecossistemas brasileiros e que possuam caracteres que satisfaçam às necessidades comerciais, tais como a tolerância ao déficit hídrico.

Uma alternativa para aumentar a frequência de alelos desejáveis de determinado caráter, sem reduzir a variabilidade genética da população, é a seleção recorrente, por meio da qual são conduzidos repetidos ciclos de seleção (BORÉM; MIRANDA, 2009).

A seleção recorrente é um método de melhoramento desenvolvido por Richey e pode ser dividida em fases: obtenção das progênes, avaliação das mesmas e seleção das melhores visando recombinação para continuar o próximo ciclo de seleção (NASS et al., 2002). A fase de seleção é fundamental para se alcançar progresso genético, a qual pode ser realizada com base em estatísticas univariadas e multivariadas. As técnicas de análises multivariadas vêm se tornando alternativas interessantes para o melhoramento, uma vez que se baseiam em múltiplas informações, podendo relacionar diferenças fisiológicas, morfológicas, agrônômicas e moleculares; sendo uma ferramenta extremamente efetiva na seleção de genótipos (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Nesse contexto, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar progênes $S_{0:1}$ de feijão-caupi do primeiro ciclo de seleção recorrente visando tolerância ao déficit hídrico; e os específicos: avaliar e selecionar progênes $S_{0:1}$ de feijão-caupi, conduzidas sob déficit hídrico em campo experimental e em casa de vegetação, por meio de estatísticas univariadas e multivariadas; e correlacionar as progênes superiores obtidas nos experimentos conduzidos em campo experimental e na casa de vegetação, ambos conduzidos sob déficit hídrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

2.1.1 Origem e dispersão

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) teve sua origem, provavelmente, no Centro-Oeste da África, mais especificamente na região da Nigéria (FREIRE FILHO et al., 2005). Essa região é detentora da máxima diversidade genética dessa espécie, sendo, portanto, considerada o seu centro de diversidade primário. No entanto, ainda existem controvérsias acerca da origem dessa leguminosa. Pasquet (1999) por meio de um estudo de variação aloenzimática, utilizando 21 isoenzimas e 272 acessos de feijão-caupi, afirma que devido a pouca variação detectada entre e dentro dos acessos, não se pode estabelecer que a África seja o centro de diversidade. Utilizando marcadores moleculares AFLP, Coulibaly et al. (2001) consideraram as regiões leste e norte da África improváveis de serem o centro de origem da espécie e Ba, Pasquet e Gepts (2004) por meio de marcadores RAPD chegaram a conclusão de que o oeste da África é a área provável de origem da leguminosa.

A cultura foi domesticada ainda no período Neolítico, em terrenos às margens do rio Niger, localizado ao Oeste da África. Mais recentemente, Krishna (2010) evidenciou que processos intensos de seleção criaram uma ampla variabilidade genética também na Índia e já se considera essa região como um centro secundário de diversidade.

O feijão-caupi foi introduzido no Brasil no século XVII, no estado da Bahia, de onde se disseminou para toda a região Nordeste e hoje já se encontra praticamente em todo o território brasileiro (FREIRE FILHO et al., 2005).

2.1.2 Características nutricionais da cultura

Acredita-se que a teoria de Thomas Malthus, a qual sugeriu que a produção de alimentos cresceriam a uma progressão aritmética e a população cresceria a uma progressão geométrica, não tenha se concretizado em virtude do surgimento de novas tecnologias aliado ao melhoramento genético. Nesse sentido, alimentos que contenham altos valores de proteínas, carboidratos e gorduras devem ser valorizados e mais explorados comercialmente.

Todas as partes da planta do feijão-caupi podem ser utilizadas para a alimentação, sendo fonte de proteínas, vitaminas e minerais (ADEKOLA; OLULEYE, 2007). As sementes apresentam um alto valor de carboidratos ($56,60 \pm 0,50\%$), de proteína bruta ($24,13 \pm 0,31\%$), de gorduras totais ($4,37 \pm 0,18\%$) e um alto valor calórico ($362,25 \pm 0,04$ kcal/100g); se comparadas a outras leguminosas, tais como feijão comum e ervilha da Angola (OLALEKAN; BOSEDE, 2010).

Essa espécie contém todos os aminoácidos essenciais ao ser humano e dessa forma contribui com aproximadamente 80% da ingestão total de proteína dietética em regiões pobres da África Ocidental (ANNOR et al., 2009).

O aumento do valor proteico na semente, por meio do melhoramento, ainda é pouco abordado porque as correlações entre rendimento e teor proteico geralmente vêm sendo negativas nos estudos que estão sendo realizados com a cultura (TCHIANGAN et al., 2011). Em um estudo de Moura et al. (2012), encontrou-se correlação negativa entre o conteúdo proteico e os componentes de produção, a correlação entre conteúdo proteico e produção de grãos foi de $-0,6378$, com o peso de 100 grãos foi de $-0,7221$ e com o número de grãos por vagem, $-0,7668$. Tchiangan et al. (2011) desenvolveram um estudo de herança com 10 linhagens, constatando que genótipos de feijão-caupi são altamente variáveis no que diz respeito ao teor de proteínas. Essa informação abre precedente para os programas de melhoramento que visem melhorar as características nutricionais da espécie.

Em um estudo feito por Frota et al. (2008), em que avaliaram o efeito do consumo de sementes inteiras de feijão-caupi e o consumo das proteínas isoladamente em hamsters; observaram que tanto as sementes inteiras quanto a proteína total isolada são úteis para sanar a hipercolesterolemia induzida por dieta e

esteatose; mesmo em dietas contendo altos níveis de gorduras saturadas, ácidos graxos e colesterol, o que é de fundamental importância, considerando que os índices de colesterol estão aumentando em toda a população. Porém, verificou-se também que a eficácia da proteína isolada é menor do que a da semente inteira, provavelmente porque componentes como os esteróis vegetais, saponinas e amido, existentes apenas em sementes intactas podem atuar sinergicamente, conferindo essa eficácia maior.

Em relação aos lípideos, Zia-Ul-Haq et al. (2010) analisando fisicoquimicamente o óleo de sementes de feijão-caupi, detectaram que a porcentagem de triglicerídeos variou de 2,71 a 9,96%, encontraram grandes variações na concentração de ácidos graxos insaturados e entre os esteróis, o estigmasterol esteve presente em maior quantidade, seguido por β -sitosterol e campesterol.

Em um estudo comparando variedades locais e melhoradas da Tanzânia, observou-se que variedades melhoradas tiveram relativamente maior teor de gordura, variando de 8,0 a 11,2% em comparação com variedades locais (5,4%). As variedades locais de feijão-caupi apresentaram grãos com níveis mais elevados de cálcio, variando entre 958,1 e 992,4 mg/kg. O teor de zinco variou de 32,6 a 31,5 mg/kg, enquanto o teor de ferro variou de 27,6 a 28,9 mg/kg (MAMIRO et al., 2011). Linhagens da classe comercial branca do tipo fradinho, em um experimento conduzido em Teresina-PI, apresentaram variação de 48,75 mg/kg a 78,44 mg/kg para o teor de ferro e de 39,25 mg/kg a 50,74 mg/kg para o teor de zinco (ROCHA et al., 2011).

Moura et al. (2012), visando estimar os efeitos diretos e indiretos de características agrônômicas e culinárias em relação aos conteúdos de ferro e zinco, obtiveram que o conteúdo de ferro se correlacionou negativamente com o número de grãos por vagem ($r = -0,6659$), com o peso de 100 grãos ($r = -0,6132$) e com a produção de grãos ($r = -0,5623$) e apresentou uma correlação baixa com o conteúdo de zinco ($r = 0,1755$), esse por sua vez também apresentou correlações negativas com os componentes de produção.

A casca das sementes de feijão-caupi também é rica em fibras e pode ser utilizada na alimentação de ruminantes, o inconveniente deste potencial é a baixa

digestibilidade desse material, o que tem sido solucionado através de tratamentos químicos e físicos, tais como o cozimento (ADEBIYI et al., 2010).

2.1.3 Características agronômicas da cultura

O feijão-caupi é uma cultura que se tornou sócio-economicamente relevante, principalmente nos países em desenvolvimento. A espécie possui características adaptativas importantes para a região semiárida do Brasil, em especial à região Nordeste, tais como suportar altas temperaturas e locais com limitações hídricas (ZILLI et al., 2004; SOUSA, 2006; CARVALHO et al., 2012).

Com base na portaria nº 85, de 06 de março de 2002, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o feijão-caupi pertence ao Grupo II (feijão-de-corda, feijão-caupi ou feijão-macassar, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp) e tem as seguintes classes: Branco, Preto, Cores e Misturado (BRASIL, 2002). Para a produção de feijão fresco, geralmente são preferidas cultivares de grãos brancos ou do tipo sempre-verde (ANDRADE et al., 2010).

Em relação ao ciclo da planta, Freire Filho et al. (2000) fizeram as seguintes modificações na classificação: ciclo superprecoce – a maturidade é atingida até 60 dias após a semeadura; ciclo precoce – a maturidade é atingida entre 61 e 70 dias após a semeadura; ciclo médio – a maturidade é atingida entre 71 e 90 dias após a semeadura e ciclo tardio – a maturidade é atingida a partir de 91 dias após a semeadura.

No que diz respeito à arquitetura da planta, o feijão-caupi é dividido em: porte ereto, semi-ereto, semi-prostrado e prostrado. No entanto, a atual tendência do melhoramento da cultura é a obtenção de cultivares de portes ereto e semi-ereto, as quais possibilitarão a mecanização de todas as etapas da lavoura, o que representará um grande avanço, levando-se em conta que atualmente a maioria dos trabalhos são feitos manualmente (MACHADO et al., 2008).

Segundo Masuthi, Vyakaranahal e Deshpande (2009), a planta de feijão-caupi possui caracteres agronomicamente desfavoráveis, tais como queda de flores (aborto floral) e ocorrência de alguns grãos murchos quando a planta é submetida a

ataques por fatores bióticos e a um ambiente com deficiência de macro e micronutrientes.

O feijão-caupi é uma espécie cultivada de ampla adaptação e os programas de melhoramento genético da cultura visam alcançar os seguintes objetivos: desenvolvimento de cultivares altamente produtivas, precoces, de porte ereto, de crescimento determinado e resistentes a pragas e doenças (MACHADO et al., 2008).

Contudo, é uma cultura que apresenta baixa produtividade média, principalmente no nordeste brasileiro, já que grande parte da produção está ligada a pequenas e médias propriedades que geralmente utilizam baixo nível tecnológico (FROTA; PEREIRA, 2000).

Segundo Matos Filho et al. (2009), as causas do baixo rendimento da cultura estão associadas a problemas climáticos e de solos, aliados ao baixo nível tecnológico com o qual a cultura é tratada, uma vez que o feijão-caupi é cultivado principalmente por pequenos e médios produtores.

De acordo com Almeida et al. (2010), a baixa produtividade do feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil, que compreende os estados do Piauí e Maranhão, é devido, principalmente, ao menor uso de insumos agrícolas. Além disso, a seca dessa região também contribui para esse quadro.

Faz-se necessário mencionar que a cultura do feijão-caupi, geralmente, é cultivada em áreas marginais, por exemplo, em solos de baixa fertilidade; sem a utilização de insumos necessários para um bom desenvolvimento da cultura; e destaca-se o agravante do cultivo em ambientes onde os índices de pluviosidade são baixíssimos, proporcionando um mau desenvolvimento da cultura.

2.2 Déficit hídrico

Estresses abióticos, por serem imprevisíveis, constituem-se em fatores de risco para a agricultura e podem reduzir significativamente os rendimentos de lavouras, restringindo assim, as áreas agricultáveis. O déficit hídrico é o principal fator responsável por perdas na lavoura, especialmente no semiárido brasileiro, onde a água é um fator limitante (FARIAS et al., 2001; BRITO et al., 2012).

Os prejuízos dependem do tempo que a planta encontra-se exposta ao déficit hídrico e do quão seca é a região, assim como do período de desenvolvimento em que a planta se encontra. Para o feijoeiro comum, o período mais crítico ao déficit hídrico coincide com a fase de maior consumo de água pela planta, a qual geralmente ocorre durante a fase reprodutiva (OLIVEIRA et al., 2008).

Visando contornar os problemas que a seca acarreta na produtividade das culturas, faz-se importante a adoção de práticas de manejo que visem otimizar a irrigação. No entanto, para tal conduta, é fundamental ter um profundo conhecimento das necessidades hídricas específicas para cada espécie (CORDEIRO et al., 1998).

O déficit hídrico causa uma série de alterações fisiológicas a partir do momento que assola uma cultura. A planta fornece sinais aos primeiros níveis de estresse, tais como a redução da condutância estomática, da troca de calor latente e do resfriamento da evaporação; aumento da temperatura foliar quando comparadas às plantas que não sofreram estresse hídrico; redução da turgescência das células; desidratação gradativa do protoplasma; aumento da concentração do conteúdo celular; redução das trocas gasosas e, conseqüentemente, redução do crescimento da planta (STOCKLE; DUGAS, 1992; LARCHER, 2004).

Além da baixa condutância estomática já relatada, segundo Tatabiba (2010), as folhas que crescem sob déficit hídrico são menores que as folhas que crescem de plantas com irrigação plena, mesmo quando a disponibilidade de água é restabelecida. De acordo com o autor, as reduções na biomassa das folhas e área foliar das plantas podem ser resultado da queda foliar que ocorre durante o período de déficit hídrico.

Além dos efeitos supracitados, o estresse hídrico também contribui para a diminuição da velocidade e percentagem de germinação das sementes, e dependendo do grau de severidade do estresse e do valor do potencial hídrico do solo em estudo, a germinação pode inclusive não ocorrer (ÁVILA et al., 2007).

Outras alterações fisiológicas que uma planta com déficit hídrico sofre também são reportadas por Cham-um, Yooyongwech e Supaibulwatana (2010), a saber: diminuição das atividades enzimáticas da ribulose-1,5-bisfosfatase oxigenase,

redução da eficiência fotoquímica e aumento de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase e glutathione redutase).

Na visão de Cerqueira et al. (2004), vários caracteres fisiológicos podem ser empregados na avaliação das respostas das espécies vegetais ao estresse hídrico, destacando-se entre eles o potencial hídrico foliar, a condutância estomática e a transpiração.

Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005) avaliaram o efeito que o déficit hídrico promove na cultura do feijão, testando três diferentes lâminas de irrigação e um tratamento sem irrigação. As plantas que foram tratadas sem irrigação apresentaram menor valor de condutância estomática e de transpiração, além do aumento da temperatura foliar.

Em um estudo acerca do efeito do déficit hídrico em linhagens de feijão-caupi, onde foi aplicado um estresse hídrico moderado, determinou-se aumento tanto na temperatura da folha como na relação temperatura foliar/ambiente e redução do potencial hídrico foliar, da condutância estomática e da produtividade de grãos (NASCIMENTO et al., 2011).

Bastos et al. (2012) avaliaram duas cultivares de feijão-caupi para a produção de feijão verde, BRS Guariba e BRS Paraguaçu, em cinco lâminas de irrigação baseadas em diferentes porcentagens da evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% ETo) e obtiveram uma redução média de 13,8 e 18,8% para os teores de clorofila total, de 116% para o potencial de água na folha e de 70% para a produtividade de grãos verdes.

Além dos efeitos fisiológicos descritos, também observou-se o aumento de prolinas (proteínas osmoprotetoras que mantêm a turgescência das células) em genótipos de feijão-caupi avaliados em condições de déficit hídrico aplicado na pré-floração (SANTOS; LIMA; MORGADO, 2010).

Costa et al. (1997) relataram como principais efeitos que o feijão-caupi sofre com o déficit hídrico: reduções do potencial foliar, da área foliar, da matéria seca da parte aérea e das raízes, da relação raiz/parte aérea e do aprofundamento do sistema radicular; retardo do florescimento; redução do número de flores, de vagens, do peso das vagens por planta, do comprimento das vagens, do número de grãos

por vagem e da produtividade. Fazendo-se importante o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico que mantenham uma boa produtividade quando o déficit é imposto.

2.3 Tolerância ao déficit hídrico

Na agricultura, a resistência ao déficit hídrico refere-se à capacidade de uma planta manter a produção com perda mínima, em um ambiente com restrição de água. Existem três mecanismos para a resistência ao déficit hídrico: escape, retardo e tolerância (MITRA, 2001). No primeiro, as plantas adotam uma estratégia de escape, apresentando rápido desenvolvimento, sendo capazes de completar seu ciclo de vida antes que o déficit hídrico torne-se severo o bastante para provocar dano fisiológico. O retardo da desidratação corresponde à manutenção do turgor e volume celular através do fechamento estomático ou por vias não estomáticas. Por fim, a tolerância à seca é um mecanismo que permite à planta manter o metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos, devido principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (VERSLUES et al., 2006).

A produção agrícola possui estreita relação com a área foliar, visto que as folhas são fontes de fotoassimilados para o desenvolvimento das raízes, as quais são estruturas que participam da assimilação de nutrientes e desempenham importante papel na resistência ao déficit hídrico (BONFIM-SILVA et al., 2011).

Entre as respostas das plantas ao déficit hídrico, encontram-se descritas na literatura: ajuste osmótico, o qual é o acúmulo de solutos osmoticamente ativos na célula (PIMENTEL, 1999); acúmulo de proteínas de choque térmico, uma vez que o choque térmico permite as plantas se aclimatarem a diversos estresses (CUSTÓDIO et al., 2009); aumento das prolina e poliois, que possuem função osmoprotetora e mantêm a turgescência das folhas (FUMIS; PEDRAS, 2002; QUEIROZ et al., 2008) e incremento de aquaporinas, que realizam um eficiente transporte transmembranar (GASPAR, 2011).

As principais linhas de defesa ao déficit hídrico, a nível celular, são redução da área foliar, abscisão foliar e fechamento dos estômatos. A redução da área foliar evita a morte da planta, no entanto, reduz sua produção, em virtude da redução do número e tamanho de folhas, produzindo menores taxas fotossintéticas por unidade de área (SANTOS et al., 2012). A abscisão foliar é caracterizada pela senescência de folhas em resposta ao déficit (ESPOSITO-POLESI; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Segundo Lago et al. (2011), a redução da abertura estomática pode limitar a taxa de difusão de CO₂ para o interior da folha.

Além das respostas fisiológicas descritas acima, práticas de manejo podem contribuir para minimizar os efeitos deletérios do déficit hídrico. Segundo Rauf (2008), a estratégia de menor custo e maior eficiência no combate aos efeitos do déficit hídrico é o cultivo de cultivares melhoradas tolerantes à seca. No entanto, o autor cita como uma importante abordagem para a gestão do déficit hídrico, a irrigação eficiente do campo. As técnicas de manejo discutidas pelo autor incluem o uso de coberturas para reduzir as perdas por evaporação, melhor controle de plantas daninhas e rotação de culturas para aumentar a taxa de infiltração e pulverizações foliares.

De acordo com Peixoto (2006), estudar as relações hídricas entre as plantas e solo e as adaptações fisiológicas que as mesmas passam quando lhes impostas um déficit hídrico temporário são de fundamental valia, assim como o conhecimento da variação do consumo de água de cada cultura em suas diferentes fases de desenvolvimento, uma vez que de posse deste conhecimento o pesquisador está apto a planejar um manejo eficaz.

Mortele et al. (2008) objetivando avaliar o efeito do estresse hídrico induzido por polietileno glicol (PEG) na qualidade fisiológica das sementes de 14 híbridos simples de milho-pipoca, obtiveram decréscimos na qualidade dos híbridos avaliados. Observaram também que a tolerância ao estresse hídrico independe da qualidade inicial das sementes de milho.

O estresse hídrico acarreta redução na porcentagem e velocidade de germinação das sementes, conforme detectado por Sousa et al. (2008) em sementes de *Plantago ovata*, uma espécie medicinal de grande importância utilizada pelas indústrias farmacêuticas na produção de medicamentos para tratamento de constipação crônica, câncer intestinal, amebíase, disenteria e irritações

gastrointestinais. A porcentagem e velocidade de germinação também foram reduzidas em angico-branco, onde o déficit hídrico foi estimulado por meio de PEG 6000 (REGO et al., 2011).

Pimentel e Perez (2000) estudando 15 genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a indução de estresse hídrico na pré-floração, mostraram que os parâmetros morfológicos que sofreram maior efeito do déficit hídrico foram a área foliar e o peso seco da parte aérea. Nos componentes de rendimento, o número de vagens por planta foi afetado somente nos genótipos Xodó e CNF 0145, enquanto Carioca, A 285, CNF 0145, BAT 477, cv. 121 e a linhagem LM 30036 sofreram diminuição no peso de grãos por planta, devido ao déficit hídrico.

Mendes et al. (2007) em um experimento conduzido em casa de vegetação, com as cultivares de feijão-caupi Epace 10 e Seridó, aplicando déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva; obtiveram reduções do potencial hídrico foliar, da condutância estomática e da transpiração nas duas fases. Os autores detectaram também que após o término do estresse aplicado no período vegetativo, as plantas apresentaram maior capacidade de recuperação do que quando o déficit foi aplicado no período reprodutivo.

Bastos et al. (2011) avaliaram 20 genótipos de feijão-caupi, comparando um experimento conduzido em irrigação plena com outro conduzido com a aplicação apenas da metade da lâmina requerida pela cultura e identificaram que, dentre os genótipos estudados, a cultivar BRS Paraguaçu e as variedades locais Pingo-de-ouro-1,2 e Pingo-de-ouro-1 são tolerantes ao déficit hídrico.

Uma metodologia, conhecida como Wooden Box, proposta por Singh et. al (1999), para avaliar genótipos de feijão-caupi quanto à tolerância ao déficit hídrico, consiste no uso de caixas de madeira com 0,15 m de profundidade, cobertas por sacos de polietileno, com 0,12 m de substrato (mistura 1:1 de areia e solo cuja composição 7,5% de argila, 84% de areia, 8,5% de silte e 0,8% de matéria orgânica). Os genótipos devem ser semeados em linhas equidistantes. A irrigação é mantida até o aparecimento do primeiro trifólio e depois, é suspensa durante 15 dias, em que são realizadas avaliações do percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12, 14 e 15 dias após o corte da irrigação. Após os 15 dias, a irrigação é retomada e avalia-se a porcentagem de recuperação do vigor das plantas com o retorno da irrigação. Os autores avaliaram 12 variedades de feijão-caupi por meio dessa metodologia e obtiveram que as variedades Kanannado, Dan Ila, IT88D-867-11 and

IT90K-59-2 apresentaram uma alta tolerância ao déficit hídrico, uma vez que apresentaram um menor percentual de plantas murchas após o término da irrigação e um maior percentual de plantas que recuperaram o vigor com o retorno da irrigação.

O grande desafio em programas de melhoramento vegetal visando tolerância ao déficit hídrico é a identificação e a caracterização de genitores apropriados, objetivando sucesso nos cruzamentos, em regiões propensas ao déficit hídrico durante as fases críticas do desenvolvimento da planta (GIROTTI et al., 2012). Segundo Fritsche-Neto e Borém (2011), o melhoramento genético para condições de déficit hídrico deve-se levar em consideração, para a seleção de genótipos tolerantes, os caracteres secundários, já que a produtividade é um caráter bastante afetado pelo déficit.

2.4 Estratégias de Melhoramento visando tolerância ao déficit hídrico

A seleção de genótipos com caracteres relacionados à tolerância ao déficit hídrico tem sido objeto de interesse em programas de melhoramento, principalmente em virtude da ineficiência da seleção para caracteres quantitativos em condições adversas.

Verifica-se que os programas de melhoramento genético vegetal cuja função é avaliar, selecionar genótipos, desenvolver e recomendar cultivares que atendam as demandas da sociedade, têm que fazê-lo mediante um estudo de adaptabilidade em um determinado ambiente alvo, no qual será plantada a cultura. Para realizar tal estudo, os melhoristas lançam mão de conhecimentos sob a probabilidade de ocorrência e severidade do déficit hídrico de cada um dos microambientes que serão trabalhados (HEINEMANN, 2010).

Além de estudos de adaptabilidade, outra estratégia de seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico é a partir da estimativa de parâmetros genéticos, que garantem uma maior confiabilidade dos materiais selecionados. Em um trabalho com milho, Câmara et al. (2007) com o intuito de estimar parâmetros genéticos que auxiliem na seleção para caracteres de tolerância ao déficit hídrico avaliaram duas progênies (denominadas D e U) com 256 progênies $F_{2:3}$, no delineamento látice 16 x 16. Os coeficientes de herdabilidade foram de 73,52% para prolificidade na

população D e 95,88% para florescimento feminino e observaram que a seleção com base nesses dois caracteres poderia fomentar o desenvolvimento de genótipos produtivos e com tolerância ao déficit hídrico.

Estudos de fenotipagem auxiliam na identificação de genótipos com características agronomicamente favoráveis e têm sido realizados em diferentes culturas como estratégia para a seleção de cultivares tolerantes ao déficit hídrico com os mais diversos objetivos, cita-se por exemplo os objetivos do programa de fenotipagem de trigo para tolerância à seca, realizado por Ribeiro Júnior et al. (2006), que são: validar caracteres morfológicos, bioquímicos e moleculares relacionados com a resistência à seca em material disponível em bancos de germoplasma; avaliar coleções de germoplasma com expressão desses caracteres sob condições de déficit hídrico para caracterizar a diversidade genética existente; identificar nestas coleções as melhores fontes para tolerância à seca; estabelecer os principais mecanismos relacionados com a tolerância à seca nos vários genótipos; proporcionar subsídios para estudos genômicos relacionados com a tolerância ao déficit hídrico na espécie; selecionar germoplasma promissor para uso em programas de melhoramento de trigo de sequeiro para a região do Cerrado e determinar a distância genética entre os genótipos identificados com tolerância ao déficit hídrico como critério adicional para seleção de genitores em um programa de seleção recorrente.

Outra abordagem é o mapeamento de genes de tolerância ao déficit hídrico. Câmara (2006) mapeou QTLs de caracteres relacionados à tolerância ao déficit hídrico de 256 progênies de duas progênies de milho tropical. Foram encontrados 24 QTLs. O autor sugere que esses QTLs encontrados podem ser úteis em estratégias de seleção assistida por marcadores para desenvolver híbridos de milho com alta produtividade e baixa redução na produção de grãos sob déficit hídrico.

A seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico ainda na fase de germinação também pode levar à identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca, os quais são fundamentais no desenvolvimento de novas cultivares tolerantes ao déficit hídrico (ECHER et al., 2010).

2.5 Seleção recorrente

Seleção recorrente é qualquer sistema que visa aumentar gradativamente a frequência de alelos desejáveis para características quantitativas, por meio de repetidos ciclos de seleção, sem reduzir a variabilidade genética da população. Cada ciclo pode ser repetido tantas vezes quanto necessário para a elevação da frequência de alelos favoráveis na população. Após a melhoria da população, esta pode ser utilizada diretamente como nova cultivar ou como fonte de linhagens superiores (BORÉM; MIRANDA, 2009).

De acordo com Ramalho et al. (2001), a condução de um programa de seleção recorrente envolve as seguintes etapas: formação da população base, avaliação e seleção das progênies e o intercruzamento das melhores progênies.

A população base é formada visando a obtenção de progênies. O uso de progênies permite avaliar o valor genotípico das plantas através da performance fenotípica média de seus descendentes. Com essas médias têm-se os valores genotípicos médios de cada progênie e assim, essas podem ser classificadas para serem selecionadas. A seleção das progênies superiores é baseada nas médias de seus caracteres, que são as unidades de seleção. Estas médias representam os valores genotípicos de cada caráter e são obtidas dividindo-se o valor total fenotípico de cada parcela pelo número de plantas, número de repetições e número de locais em que foram avaliadas. As médias obtidas são comparadas com testemunhas e as melhores progênies são selecionadas. Por fim, é feita uma recombinação das progênies selecionadas, com o objetivo de gerar variabilidade genética para o próximo ciclo seletivo (NASS et al., 2002).

Silva et al. (2009) com os objetivos de estimar parâmetros genéticos e correlações associadas a características agronômicas do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) e prever o progresso genético esperado com os ciclos de seleção recorrente, avaliaram 26 progênies de meio-irmãos quanto a cinco caracteres relacionados ao fruto e verificaram que apenas o caráter número de frutos não se correlacionou com nenhum outro e através de procedimentos estatísticos constataram que o número de frutos e a produção parcial podem ser utilizados como indicadores do potencial produtivo das progênies.

Rangel et al. (2011), com o intento de selecionar progênies superiores para a o aumento efetivo da concentração de alelos favoráveis, no quinto ciclo de seleção recorrente intrapopulacional em progênies de irmãos-completos de milho pipoca, avaliaram 200 progênies quanto a seis caracteres. Foi utilizado o índice de Mulamba e Mock para a seleção de progênies, o qual resultou em ganhos proporcionais para capacidade de expansão e rendimento de grãos com valores respectivos de 6,01 e 8,53%.

Ematné et al. (2012), também trabalhando com seleção recorrente em milho-pipoca, constataram ganhos com a seleção para todos os caracteres estudados, observaram ainda que o tipo de grão (pérola e espinho) influenciou na resposta do progresso genético para o caráter capacidade de expansão e que as progênies avaliadas apresentaram potencial para futuros ciclos seletivos.

Outro estudo com milho-pipoca, porém agora com o intuito de quantificar as correlações fenotípica, genotípica e ambiental entre caracteres agrônômicos em dois ciclos de seleção recorrente, onde o primeiro ciclo foi formado por progênies de irmãos completos e o segundo ciclo, por progênies S_1 ; Daros et al. (2004) obtiveram em ambos os ciclos, correlação genotípica negativa entre capacidade de expansão e rendimento de grãos.

A seleção recorrente pode ainda ser complementada por meio de ferramentas moleculares visando maximizar a eficiência da seleção de progênies promissoras. Vilela et al. (2008) com o objetivo de averiguar o impacto da seleção recorrente na variabilidade genética de progênies da população de milho pipoca UNB-2U após 3 ciclos de seleção recorrente por diferentes métodos (massal, irmãos completos e progênies S_1), avaliaram 30 progênies de cada ciclo, por marcadores RAPD. Constataram que não houve variação molecular significativa entre os ciclos C_0 e C_2 , revelando ainda que o uso de diferentes estratégias de seleção recorrente não promoveu estreitamento genético.

Apesar do método ter sido desenvolvido para o melhoramento de alógamas, tem sido utilizado com sucesso também em autógamias, onde têm sido obtidos ganhos genéticos em diversas culturas, tais como arroz (RANGEL; MORAES; ZIMMERMANN, 2010), feijão (MENEZES JÚNIOR et al., 2008) e soja (ZHAO et al., 2007).

Desde 1996, o CIRAD (Centro Internacional de Pesquisa Agronômica e Desenvolvimento) e o CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) desenvolveram programas de melhoramento baseados em seleção recorrente intra-populacional, visando ampliar a base genética do arroz cultivado. O desenvolvimento de progênies base de arroz, por meio de seleção recorrente, se traduz na estratégia desses melhoristas para se alcançar o objetivo de obter arroz de terras altas. Essas progênies de arroz foram desenvolvidas inicialmente com um gene de machoesterilidade e têm sido melhoradas por dois procedimentos de seleção recorrente: seleção massal e de progênies S_2 ; por meio dos quais, os pesquisadores destas instituições já identificaram linhagens promissoras de boa adaptação aos solos ácidos da Colômbia e também já obtiveram uma linhagem precoce por meio de seleção recorrente (CHÂTEL et al., 2008).

Em feijoeiro comum, Menezes Júnior, Ramalho e Abreu (2008) avaliaram a produtividade de grãos, a arquitetura da planta e o tipo de grão de progênies $S_{0:1}$, $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$ em três ciclos de seleção recorrente. Através de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos e após a padronização das variáveis, estimou-se o progresso genético de 3,1% por ciclo para os três caracteres simultaneamente.

2.6 Análises multivariadas

2.6.1 Análise de variância multivariada

Os métodos não-paramétricos têm ampla aplicação na análise dos dados, tendo em vista que não são limitados pela necessidade de imposições populacionais específicas. O caráter multivariado de dados aliado ao avanço dos pacotes computacionais têm levado ao crescente interesse no uso dos métodos estatísticos multivariados (PONTES, 2005).

Os métodos estatísticos multivariados consideram inúmeras variáveis simultaneamente e são realizados em variáveis que são correlacionadas. Assim, as técnicas de análise multivariada combinam as múltiplas informações de uma unidade experimental que não poderiam ser obtidas apenas com o uso da análise

univariada. Na análise de experimentos que envolvem variáveis aleatórias, pode-se pressupor a multinormalidade e realizar uma análise multivariada partindo desse pressuposto (VIANA et al., 2001).

Quando há o interesse em se verificar se as variáveis independentes afetam as variáveis dependentes, a análise de variância multivariada (MANOVA) é a técnica estatística de análise mais adequada (GOUVEIA; PREARO; ROMEIRO, 2011).

A análise de variância multivariada é em uma extensão da análise de variância univariada, que visa acomodar mais de uma variável. Além disso, a MANOVA tem a vantagem de levar em conta a correlação entre as variáveis.

A metodologia para se analisar a MANOVA pode ser a mesma empregada para se analisar a ANOVA, onde a variabilidade total dos dados é subdividida em variação existente entre os tratamentos e variação dentro dos tratamentos. No caso da ANOVA, essa variabilidade é expressa pela soma de quadrados; enquanto na MANOVA essa variabilidade se expressa na matriz da soma de quadrados na diagonal e na soma de produtos fora dela (PONTES, 2005).

Assim como nos dados univariados, em que se testam se existem diferenças significativas entre os tratamentos; no caso multivariado, também existem testes para esta finalidade. Entre as estatísticas disponíveis nos pacotes computacionais usadas para comparar vetores de médias amostrais, encontram-se os testes Lambda de Wilks, Maior raiz de Roy, Traço de Pillai e Traço de Lawley-Hottelling. Em geral, os quatro testes mostram níveis de significância semelhantes, porém o Traço de Pillai pode ser mais robusto em casos em que as suposições não estão satisfeitas. O teste lambda de Wilks compara a variação dentro das amostras com a variação entre e dentro das amostras; se o valor encontrado é pequeno, então ele indica que a variação dentro das amostras é baixa em comparação com a variação total. O teste maior raiz de Roy combina todas as variáveis, de forma a maximizar a razão entre a soma dos quadrados entre amostras e a soma dos quadrados dentro das amostras. O traço de Pillai testa se as progênies têm vetores de média iguais e valores grandes para essa estatística e fornecem evidências que as progênies possuem vetores de médias diferentes. O traço de Lawley-Hotelling testa a hipótese nula de vetores de médias populacionais iguais (MANLY, 2008).

2.6.2 Análise de componentes principais

Estudos das características morfológicas por meio de técnicas estatísticas multivariadas são importantes para se estimar a divergência genética de um conjunto de genótipos (ELIAS et al., 2007) e verificar os caracteres que mais contribuem para a variabilidade genética nessas progênes, e portanto têm sido ferramentas empregadas em trabalhos de melhoramento genético.

A análise de componentes principais (ACP) consiste na transformação do conjunto original de variáveis em outro, os componentes principais (CP), em matrizes de dimensões equivalentes, onde cada componente retém uma porcentagem da variância original e o primeiro componente detém a maior parte da variabilidade dos dados, o segundo componente detém a segunda maior variabilidade e assim por diante. O método tem a vantagem de revelar relações não-identificadas à análise univariada (BAKER et al., 1998).

A correlação entre as variáveis e as informações obtidas por análises univariadas pode ser incompletas, principalmente quando há correlação entre as variáveis. Nesses casos, o uso de análise multivariada é mais indicado, uma vez que essa análise combina as informações múltiplas provenientes da unidade experimental. Em experimentos onde o número de caracteres avaliados é elevado, inferir sobre quais variáveis são mais interessantes do ponto da seleção, torna-se mais fácil por meio da ACP, a qual promove uma melhor discriminação dos dados. Além disso, de posse dos resultados da ACP, podem-se eliminar aquelas características redundantes e de difícil mensuração, o que reduziria o tempo e os custos de experimentos (PAIVA et al., 2010).

A ideia central da análise baseia-se na redução do conjunto de dados a ser analisado, principalmente quando os dados são constituídos de um grande número de variáveis correlacionadas. A redução do número de variáveis não se faz por uma simples seleção de algumas variáveis, mas pela construção de novas variáveis sintéticas (CP), obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores (MANLY, 2008).

A análise de componentes principais é uma técnica utilizada para verificar quais dos caracteres avaliados que mais contribuíram para a variabilidade genética

das progênies estudadas; informação útil para a realização da seleção de genótipos, uma vez que essa pode ser realizada com base nos caracteres indicados pela análise de componentes principais.

Segundo Manly (2008), o procedimento para análise de componentes principais é o seguinte: parte-se de um conjunto de n indivíduos e p variáveis. O primeiro componente principal (CP) é:

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p, \quad (1)$$

sob a condição:

$$a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$$

em que:

a_{1p} = valor de autovetor da variável X_p no componente principal 1.

Assim, a $\text{Var}(Z_1)$ é a máxima possível dada esta restrição em a_{1j} . A restrição é importante, pois caso contrário, a $\text{Var}(Z_1)$ poderia ser aumentada, aumentando qualquer a_{1j} .

O segundo CP é:

$$Z_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p, \quad (2)$$

sob a condição:

$$a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2p}^2 = 1$$

em que:

a_{2p} = valor de autovetor da variável X_p no componente principal 2

com máxima $\text{Var}(Z_2)$ e também à condição de que a correlação entre Z_1 e Z_2 seja zero. O terceiro CP é:

$$Z_3 = a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \dots + a_{3p}X_p, \quad (3)$$

sob a condição:

$$a_{31}^2 + a_{32}^2 + \dots + a_{3p}^2 = 1$$

em que:

a_{3p} = valor de autovetor da variável X_p no componente principal 3

com máxima $\text{Var}(Z_3)$ e também à condição de que a correlação entre (Z_1 e Z_3) e (Z_2 e Z_3) sejam nulas. E assim por diante até o máximo de p componentes.

Para a realização dos cálculos, parte-se da matriz de covariâncias C ou de correlações R ; calcula-se os autovalores e os autovetores de C ou R . As variâncias dos CP são positivas ou nulas e as constantes a_{ij} , definidoras da combinação linear dos CP são os elementos dos correspondentes autovetores escalonados de modo que:

$$a_{i12} + a_{i22} + \dots + a_{ip2} = 1. \quad (4)$$

Descarta-se os componentes que expliquem pouco da variação total dos dados, ficando com poucos CP, mas que expliquem pelo menos de 80% da variação total de acordo com o critério de Johnson e Wichern (1992) ou os CP com autovalores superiores a 1,0, segundo o critério de Kaiser (1960).

A análise de componentes principais pode ser utilizada na identificação das variáveis de maior e menor contribuição para variação acumulada. Os caracteres de maior contribuição são aqueles que exibem maiores autovetores nos componentes de maior autovalor e os de menor contribuição são aqueles que exibem maiores autovetores nos componentes de menor autovalor (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

A interpretação da análise de componentes principais é feita verificando-se o grau de influência que cada variável tem sobre cada um dos componentes principais selecionados, onde os componentes com autovalores acima de 1,0 ou que expliquem pelo menos 80% da variabilidade são os componentes que serão levados em consideração. Partindo desses componentes selecionados, verifica-se quais caracteres possuem maiores autovetores; os caracteres com maior autovetor nos componentes de maior autovalor são os que serão selecionados pela ACP, pois são os que melhor explicam a variabilidade dos dados analisados.

Bertini et al. (2010) realizaram um trabalho para avaliar a divergência genética de genótipos de feijão-caupi, visando identificar aqueles que apresentam a melhor combinação para diferentes características por meio de índice de seleção.

Realizaram uma ACP com base nos dados dos caracteres: porte da planta, posição da vagem na planta, número de vagens por planta, comprimento das vagens, número de grãos por vagem, peso de 100 sementes, produção, floração, ciclo, forma do grão e cor do grão. Nesse estudo, foi possível identificar 13 genótipos com base nos caracteres que melhor explicaram a variabilidade das progênies (produção, precocidade e qualidade do grão).

2.6.3 Análise de correlação canônica

Entre as técnicas biométricas para estudo das relações entre caracteres estão correlações simples, correlações parciais, análise de trilha e correlações canônicas. Utilizam-se correlações canônicas quando se deseja estimar a máxima correlação entre dois grupos de variáveis, via combinações lineares entre características que compõe cada grupo (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A análise da correlação canônica (ACC) é uma técnica que objetiva estudar as relações entre grupos de variáveis dependentes e grupos de variáveis independentes (COSTA, 2008). Quando se dispõe de grupos distintos de variáveis, procede-se com uma análise de correlações canônicas.

A análise de correlação canônica é um procedimento estatístico multivariado que permite o estudo das relações existentes entre dois grupos ou conjuntos de variáveis denominados frequentemente na literatura de X e Y. As correlações canônicas referem-se às correlações entre variáveis canônicas, ou seja, entre combinações lineares de variáveis, de tal modo que a correlação entre essas combinações seja máxima (TRUGUILHO; LIMA; MORI, 2003).

Segundo Manly (2008), para o cálculo das correlações canônicas entre dois conjuntos de variáveis, considera-se inicialmente a matriz de correlações $(p+q) \times (p+q)$ entre as variáveis X_1, X_2, \dots, X_p e Y_1, Y_2, \dots, Y_q . Desta matriz, uma outra é calculada, onde se considera os autovalores das variáveis canônicas, os quais são os quadrados das correlações entre as variáveis canônicas e que atendem à suposição $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_r$, o que significa que a primeira variável canônica é a que possui maior autovalor e portanto explica a maior parte da variabilidade; a segunda variável canônica detém a segunda maior fração da variabilidade e assim por diante.

Os correspondentes autovetores b_1, b_2, \dots, b_r , dão os coeficientes das variáveis Y para as variáveis canônicas e das variáveis X. Os valores de X e Y são padronizados, onde os autovalores são divididos pelo desvio-padrão, obtendo variáveis canônicas padronizadas com variância igual a 1,0. O mesmo procedimento é realizado para os autovetores.

A ideia da ACC refere-se às correlações entre variáveis canônicas, ou seja, entre combinações lineares de variáveis, de tal modo que a correlação entre essas combinações é máxima. Com isso, não existe nenhuma outra combinação linear de variáveis cuja correlação seja maior que essa. Na correlação canônica não existe, a princípio, diferença entre variável independente e dependente; existem somente dois conjuntos de variáveis onde se busca a máxima correlação entre ambos. Essa análise é usada para descrição de dados, verificação de modelos numéricos, construção de modelos estatísticos de previsão e comparação de metodologias, proporcionando o conhecimento de quais configurações tendem a ocorrer simultaneamente entre dois ou mais campos distintos e qual o grau de conexão entre eles (RIBEIRO FILHO, 2009).

Segundo Hair et al. (2009), a análise de correlação canônica pode ser entendida como uma extensão da análise de regressão múltipla, a qual envolve uma única variável dependente e várias variáveis dependentes. Enquanto a análise de correlação canônica correlaciona simultaneamente várias variáveis dependentes e várias independentes.

Por conseguinte, em virtude de as análises multivariadas avaliarem um grande número de caracteres simultaneamente, considerando as correlações entre eles, duas a duas; acabam por revelar informações que não seriam detectadas às análises univariadas, que consideram cada variável isoladamente, desconsiderando o efeito que as correlações exercem sobre as variáveis. Assim, a utilização das informações obtidas por meio de análises multivariadas, tais como a MANOVA, ACP e ACC fornecem subsídios para o melhoristas embasar melhor os caracteres que serão utilizados na seleção, podendo inclusive, aliar os resultados encontrados com os resultados obtidos por meio das análises univariadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-Norte, localizada na cidade de Teresina-PI, Brasil (05°05'05"S, 42°47'05"W, 72 m). O solo é classificado como Argissolo Amarelo eutrófico, de textura superficial arenosa (EMBRAPA, 2006) e o clima é Aw' segundo a classificação de Koopen (1948).

Durante o período em que foram realizados os experimentos, a temperatura média foi de 29,6 °C, com mínima de 21,7 °C e máxima de 37,9 °C segundo dados de uma estação meteorológica próxima ao experimento. A umidade média do ar foi de 48%, com mínima de 23% e máxima de 80% (Figura 1). No período compreendido entre a semeadura e a colheita, não houve registros de precipitação.

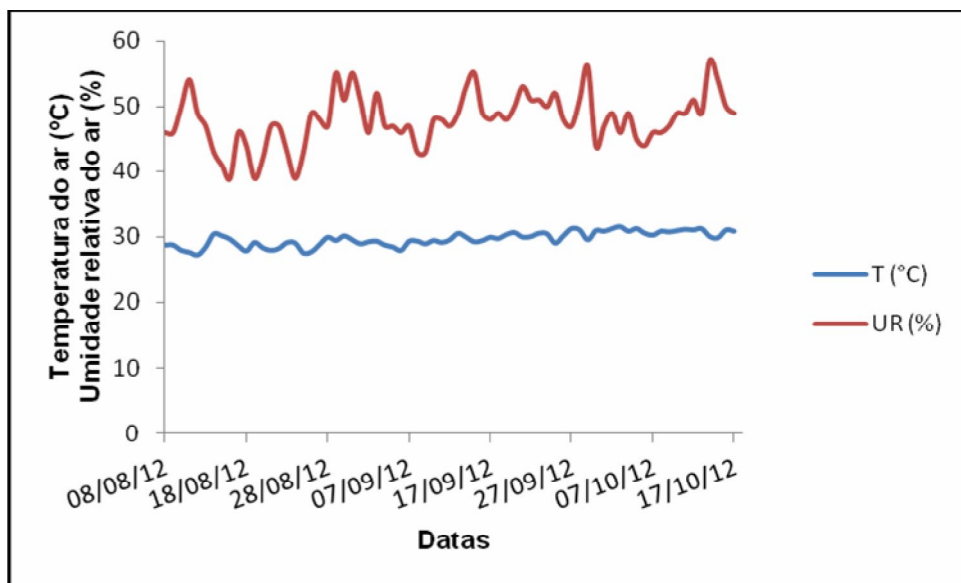


Figura 1 - Gráfico representando os valores de temperatura média e umidade relativa do ar durante o período em que foi conduzido o experimento.

3.2 Material genético

A primeira etapa de um programa de seleção recorrente é a formação da população base (S_0). A geração parental visando a obtenção da população base, foi selecionada a partir dos resultados obtidos por Bastos et al. (2011) e Nascimento et al. (2011), que avaliaram parâmetros fisiológicos e agrônômicos relacionados à tolerância ao déficit hídrico, em 20 genótipos de feijão-caupi.

Os genótipos que se destacaram nestes experimentos compuseram o trabalho de Rodrigues (2012), no qual foi realizado um esquema de cruzamentos dialélicos completo entre os seis genitores (Figura 2) BRS Paraguaçu, BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2, Santo Inácio, CNCx 689-128G e MNC99-510F-16 (Tabela 1) originando uma geração F_1 que foi conduzida em telado e obteve-se a população base F_2 (S_0), que foi avaliada, em dois ensaios, sob condições de campo, sendo um conduzido sob déficit hídrico e outro em irrigação plena, obtendo-se 3.435 plantas individuais.

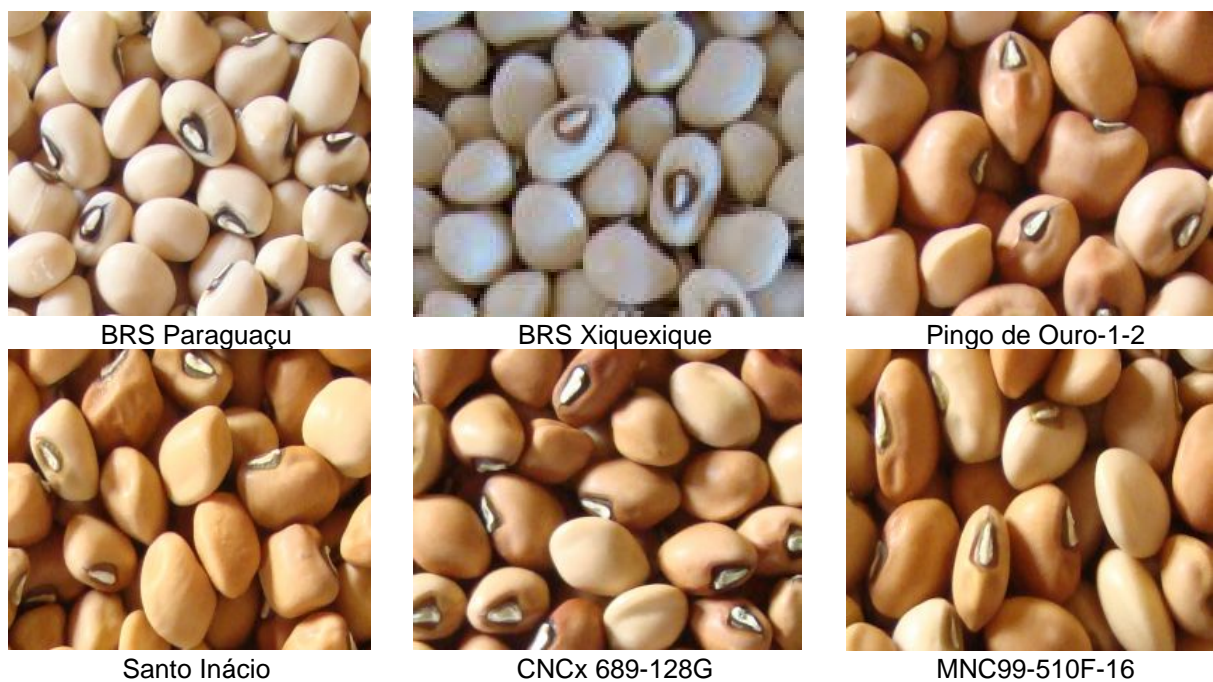


Figura 2 - Genitores utilizados na composição do dialélico. Fonte: Rodrigues (2012)

Tabela 1 – Relação dos genitores utilizados no cruzamento dialélico com seus respectivos dados de número de vagens por planta (NVPI), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G) e produção de grãos por planta (Prod) em experimentos realizados com déficit hídrico (CD) e sem déficit hídrico (SD). Teresina, PI, 2012.

Genitores	NVPI		NGV		P100G (g)		Prod (g)	
	SD	CD	SD	CD	SD	CD	SD	CD
BRS Paraguaçu	36,4	24	16,8	15,5	18,1	18,9	173,9	104,3
BRS Xiquexique	20,5	18,5	14,2	12,6	24,2	24,2	113,7	102,2
Pingo de ouro-1-2	26,5	27,3	16,6	15,4	18,6	18,3	133,2	118,3
Santo Inácio	27,3	24,2	14,3	14,7	17,6	15,2	104,2	83,7
CNCx 689-128G	19,2	18,2	16,2	14,9	19,6	19,2	90,4	82,6
MNC 99-510F-16	24,8	17,9	15,7	14,2	22,0	20,0	141,8	83,8

Adaptado de Rodrigues (2012).

Das progênes segregantes que se destacaram no ensaio de Rodrigues (2012) conduzido sob déficit hídrico; foram selecionadas 219 progênes com base em uma análise de componentes principais, em que dados de plantas individuais dentro de cada população foram analisados.

As sementes de cada uma destas 219 plantas constituíram uma família $S_{0:1}$, que juntamente com os seis parentais compuseram as 225 progênes avaliadas neste experimento.

3.3 Condução do experimento em campo

Foram semeadas, em agosto de 2012, 219 progênes $S_{0:1}$ mais os seis genótipos parentais usados para a formação da população base, em delineamento látice simples 15 x 15. Cada parcela foi composta de duas fileiras de dez plantas cada, resultando em 20 plantas por parcela. A parcela experimental teve as dimensões de 1,4 m x 3,0 m. O espaçamento entre fileiras foi de 0,70 m e entre covas dentro da fileira de 0,3 m.

O experimento de avaliação das progênies S_{0:1} foi conduzido sob condições de déficit hídrico sendo oferecida uma lâmina de 205 mm; a qual é aproximadamente a metade da lâmina requerida pela cultura, que varia de 300 a 450 mm/ciclo (NASCIMENTO, 2009).

A irrigação foi realizada em dias alternados, sendo a lâmina de irrigação calculada com base na evapotranspiração da cultura (ET_C), que é o produto entre a evapotranspiração de referência (ET₀) e o coeficiente de cultivo (K_C). A ET₀ foi estimada, com o auxílio do programa CropWat 8.0 (2006), pelo método de Penman-Monteith, com base nos dados climáticos de temperatura do ar, umidade relativa do vento, velocidade do vento, insolação e radiação. Os K_C (Tabela 2) variam de acordo com o estágio em que se encontra a cultura e foram obtidos por Andrade Júnior et al. (2000).

Tabela 2 - Valores do coeficiente de cultivo (K_C) do feijão-caupi de acordo com as fases de desenvolvimento. Teresina, PI, 2012.

Fase de desenvolvimento	Dias após plantio	K _C
I	0-15	0,5
II	16-44	0,8
III	45-57	1,05
IV	58-70	0,75

Fonte: Andrade Júnior et al. (2000).

Foi determinada previamente a curva de retenção de água no solo na camada de 0,0 – 0,2 m onde os valores de capacidade de campo (-10 KPa) e ponto de murcha permanente (-1.500 KPa) foram 21,2 cm³/cm³ e 9,05 cm³/cm³, respectivamente.

O monitoramento da umidade do solo até 0,70 m de profundidade foi realizado diariamente por meio da sonda de capacitância Diviner 2000. O déficit hídrico foi imposto e a irrigação foi suspensa entre o pré-florescimento até a colheita.

Foram realizadas três irrigações emergenciais após o início do déficit hídrico uma vez que, através do monitoramento, detectou-se que a umidade do solo se aproximou de $12 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, o que equivale a quase 80% de esgotamento de água no solo. As irrigações emergenciais foram realizadas fornecendo lâminas suficientes para continuar mantendo a cultura sob déficit hídrico, evitando-se que as plantas chegassem ao ponto de murcha permanente.

Os tratos culturais foram realizados de acordo com o preconizado para a cultura do feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003).

Foram avaliados os seguintes caracteres:

- Início de floração: número de dias compreendidos entre a emergência até quando 50% das plantas estivessem abertas;
- Maturidade das vagens: número de dias compreendidos entre a emergência até quando 50% das plantas estivessem com vagens maduras;
- Comprimento de vagem: média, em centímetros, do comprimento de três vagens maduras tomadas ao acaso das plantas da parcela;
- Número de grãos por vagem: média do número de grãos realizada em três vagens maduras tomadas ao acaso das plantas da parcela;
- Peso de grãos por vagem: média do peso de grãos realizada em três vagens maduras tomadas ao acaso das plantas da parcela, expresso em gramas;
- Peso de 100 grãos: peso médio de 100 sementes tomadas ao acaso, expresso em gramas;
- Produção por parcela: expresso em gramas.

3.4 Metodologia Wooden box

Os 225 tratamentos avaliados em campo experimental também foram conduzidos em casa de vegetação em condições controladas de temperatura (30 °C) e umidade média do ar (entre 21% e 60%) por meio do método Wooden box. A metodologia Wooden Box foi proposta por Singh et al. (1999) para avaliação da tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi.

O experimento foi instalado em outubro de 2012 em caixas de madeira confeccionadas nas dimensões 1,20 x 0,45 x 0,15 m.

Cada caixa continha 15 fileiras espaçadas de 0,075 m, em que cada fileira constituía um tratamento com oito covas espaçadas de 0,05 m. Ao total, foram utilizadas 30 caixas, nas quais foram plantadas os 225 tratamentos em duas repetições aleatórias compondo um látice simples 15 x 15.

As caixas foram cobertas com sacos de polietileno e foram colocados 0,12 m de substrato, cuja composição era semelhante à da metodologia original de Singh et al. (1999), (mistura 1:1 de areia e solo cuja composição 7,5% de argila, 84% de areia, 8,5% de silte e 0,8% de matéria orgânica). A irrigação foi realizada por microaspersão durante três dias, duas vezes ao dia, cuja lâmina foi de 15,2 mm.

Após o surgimento do primeiro trifólio, a irrigação foi suspensa, iniciando o déficit hídrico, o qual foi mantido por 15 dias. Foram feitas avaliações do percentual de plantas que murchou aos 8, 10, 12 e 15 dias após o cessamento da irrigação. Após 15 dias, foram realizadas duas irrigações nos dois dias subsequentes e no dia seguinte foi anotado o percentual de plantas que recuperou o vigor após o retorno da irrigação.

3.5 Análises estatísticas

Para selecionar os 225 tratamentos utilizados neste experimento, foram realizadas as estatísticas básicas (média, desvio-padrão e correlação) e uma análise de componentes principais com o programas SAS 9.0 (SAS, 2002), dos dados de plantas individuais da população S₀ de Rodrigues (2012). A partir de quatro caracteres importantes no programa de melhoramento de feijão-caupi (número de

vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de 100 grãos e produção de grãos por planta), a seleção foi realizada.

As análises intrablocos do látice com parcela perdida das 225 progêneses $S_{0:1}$ do experimento conduzido em campo experimental foram realizadas utilizando o programa computacional SAS 9.0 (SAS, 2002); sendo realizadas de acordo com o modelo a seguir:

$$Y_{ijk} = m + g_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk} \quad (5)$$

em que:

Y_{ijk} : valor observado referente à parcela que recebeu o tratamento i no bloco k dentro da repetição j ;

m : média geral;

g_i : efeito das progêneses i ($i=1, 2, \dots, 225$);

r_j : efeito da repetição j ($j= 1$ e 2);

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro da repetição j ($k=1$ a 30);

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

Para os caracteres avaliados por meio da metodologia Wooden Box, foram realizadas as estatísticas descritivas de média, desvio-padrão, valor mínimo e máximo obtido para cada uma das cinco variáveis analisadas.

Os dados das progêneses $S_{0:1}$ conduzidas em campo experimental e em casa de vegetação, foram analisados por meio de estatísticas multivariadas: análises de componentes principais, análise de correlações canônicas, análise de variância multivariada e testes de comparação de médias multivariados, com o auxílio do programa SAS 9.0 (SAS, 2002).

A análise de componentes principais foi realizada separadamente para cada um dos experimentos. A análise foi realizada a partir de dados de médias das 225 progêneses. Os autovalores e autovetores associados foram calculados a partir da matriz de correlação, a qual se constitui na matriz de covariância padronizada para média zero e variância igual a 1,0. Para a seleção dos componentes principais que

mais contribuíram para a variabilidade das progênies foi utilizado o critério de Kaiser (1960) que preconiza a seleção dos componentes superiores à unidade.

Além disso, com base nas análises de componentes principais, construiu-se, para os dois experimentos, um gráfico biplot plotando o primeiro componente com o segundo componente principal. Nos gráficos, ainda foram destacados os melhores genótipos em cada um dos quatro quadrantes. Por meio dos genótipos destacados nesses gráficos, compararam-se os resultados do experimento conduzido em campo experimental e o experimento avaliado em casa de vegetação.

A análise de variância multivariada e os testes de comparação de médias multivariados foram realizados para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos avaliados a partir dos dois conjuntos de dados.

A análise de correlações canônicas foi realizada considerando dois grupos de variáveis: o primeiro grupo composto dos sete caracteres avaliados em campo experimental (grupo X) e o segundo composto das cinco caracteres que foram avaliadas no experimento conduzido na casa de vegetação (grupo Y).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Seleção das progênies

A análise de componentes principais realizada com os dados de Rodrigues (2012), visando selecionar os tratamentos utilizados neste experimento; foi feita considerando os quatro caracteres (Anexo A), relacionados à produção, mais relevantes para o programa de melhoramento genético do feijão-caupi: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de cem grãos e produção de grãos por planta.

Por meio da análise de componentes principais realizada a partir da matriz de correlação, obteve-se os autovalores associados a cada um dos quatro componentes principais, seus valores cumulativos e os autovetores (Tabela 3). Os autovalores correspondem ao quanto da variância total pode ser explicada por cada um dos componentes e os autovetores correspondem à porção que cada um dos caracteres analisados contribui para cada componente principal.

Com base na Tabela 3, foram selecionados os dois primeiros componentes principais, uma vez que foram os únicos que apresentaram autovalores maiores que a unidade (critério de Kaiser), onde o primeiro componente principal (CP_1) teve um autovalor igual a 2,07 e o CP_2 , 1,05. Além disso, apresentaram uma variância cumulativa de 77,90%.

Com base nos autovetores, os caracteres que mais contribuíram para a variabilidade genética dos indivíduos estudados foram os que exibiram maiores valores de autovetores para os componentes principais 1 e 2. O componente principal 1 ($CP_1 = 0,64 \text{ NVPI} + 0,39 \text{ NGV} + 0,66 \text{ PROD} - 0,12 \text{ P100G}$) foi melhor representado pelo caráter produção de grãos por planta e número de vagens por planta, uma vez que esse caráter possui o maior autovetor (0,655779). Enquanto o componente principal 2 ($CP_2 = 0,21 \text{ NVPI} - 0,40 \text{ NGV} + 0,19 \text{ PROD} + 0,87 \text{ P100G}$) foi representado principalmente pelo peso de 100 grãos.

Tabela 3 - Valores de autovalores brutos, cumulativo e valores de autovetores associados aos quatro componentes principais obtidos por meio da análise de componentes principais dos dados de Rodrigues (2012). Teresina, PI, 2012.

Componente	Autovalor	Cumulativo	NVPI	NGV	PROD	P100G
CP ₁	2,07	0,5163	0,64	0,39	0,66	-0,12
CP ₂	1,05	0,7790	0,21	-0,40	0,19	0,87
CP ₃	0,77	0,9703	-0,29	0,82	-0,12	0,47
CP ₄	0,12	1,0000	0,69	0,11	-0,72	0,04

Com base no exposto e na ACP realizada, os caracteres selecionados foram: a produção de grãos por planta e o peso de cem grãos. Foi realizada uma seleção nos tratamentos do experimento de Rodrigues (2012), conduzido em condições de déficit hídrico, cujos critérios foram: indivíduos que apresentaram produção de grãos por planta ≥ 130 gramas e peso de 100 grãos ≥ 21 gramas. Dessa forma, foram selecionados 265 indivíduos. Destes, foram utilizados para a composição deste trabalho, os 219 que possuíam sementes em melhores condições visuais para a semeadura. As sementes de cada uma destas plantas constituíram progênies $S_{0:1}$, que juntamente com os seis genitores formaram os 225 tratamentos do experimento.

4.2 Caracterização do déficit imposto

No experimento conduzido em campo experimental, os valores da umidade do solo foram monitorados diariamente através da sonda de capacitância Diviner 2000 (Figura 3). O déficit hídrico se iniciou no período de pré-floração dos materiais. No entanto, mesmo após o início do déficit, foram realizadas três irrigações emergenciais uma vez que, através do monitoramento da umidade de água no solo, detectou-se que as plantas estavam próximas do ponto de murcha permanente. O efeito do aumento da umidade com as irrigações de emergência pode ser visualizado na Figura 3, onde houve aumento da umidade na profundidade de 10 cm em três momentos (42, 48 e 55 dias após plantio), subsequentes às irrigações emergenciais.

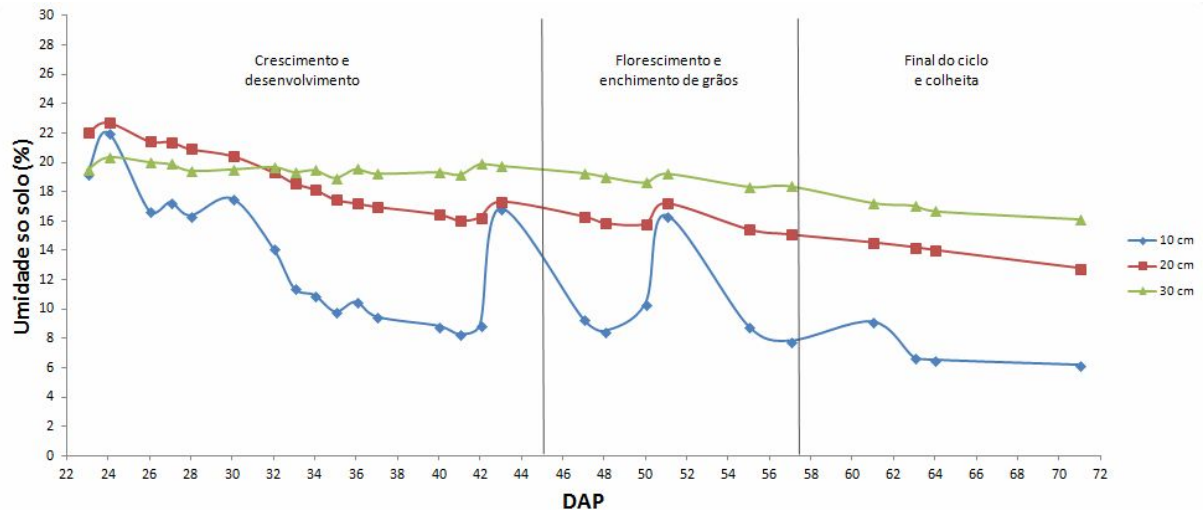


Figura 3 - Gráfico representando os valores de umidade aos 10, 20 e 30 cm de profundidade monitorados pelo Diviner 2000.

O nível de esgotamento de água do solo reflete o quanto da água que já foi consumida pela planta; e, esse dado pode auxiliar a cerca da inferência do grau de severidade do déficit. O gráfico representando o nível de esgotamento de água do solo nas diferentes profundidades avaliadas de acordo com o período de dias em que foi aplicado o déficit hídrico, encontra-se na Figura 4.

Antes do início do déficit hídrico, conforme visualizado no primeiro gráfico, ainda havia uma grande quantidade de água disponível (aproximadamente 60%) em todo o perfil do solo, inclusive nas camadas mais superficiais do solo (10 cm). Após o início do déficit (figuras 4b e 4c), nas camadas mais profundas observa-se que a disponibilidade manteve-se acima de 80%. No entanto, quando o déficit ocorre nas camadas mais superficiais, as plantas ficam mais vulneráveis, uma vez que a maior parte das raízes encontram-se nesta profundidade.

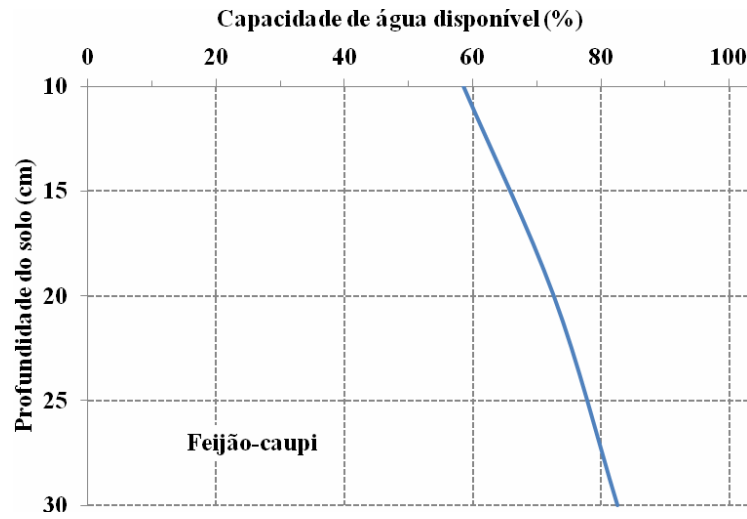


Figura 5a.

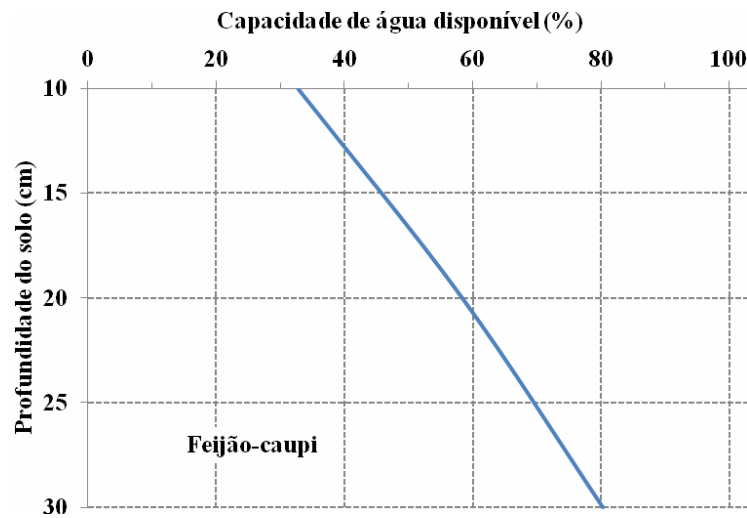


Figura 5b.

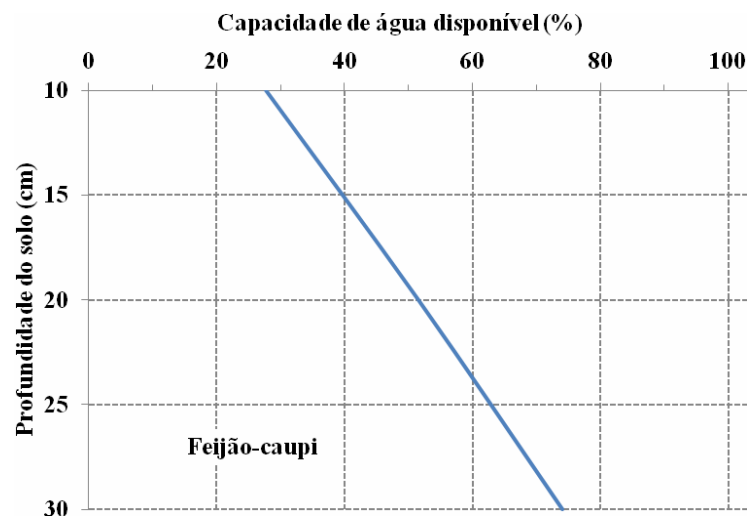


Figura 5c.

Figura 4-Nível de esgotamento de água do solo em três períodos: 23-33DAP (Figura 4a), 34-47DAP (Figura 4b) e 48-71 DAP (Figura 4c).

Nos últimos dias de déficit hídrico (figura 5c), onde as plantas se encontravam próximas à época da colheita, observa-se, sobretudo nas camadas superiores do solo, um nível de esgotamento abaixo de 25%, que aliado ao aspecto visual das plantas em campo, pode-se inferir que o déficit aplicado foi severo. Nascimento (2009), avaliando o efeito do déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi, obteve uma fração de 75% de esgotamento de água no solo.

4.3 Avaliação das progênies $S_{0:1}$ do primeiro ciclo de seleção recorrente em feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico por meio de análises univariadas

No experimento conduzido em campo experimental, avaliou-se as 225 progênies $S_{0:1}$, em um delineamento de látice simples 15 x 15, constituindo um total de 450 parcelas; destas, 188 parcelas foram perdidas, em virtude das condições climáticas severas na época da realização do experimento, com temperaturas chegando a valores de 37,9 °C e a umidade relativa do ar chegando a valores baixos, como 23%.

Em virtude da existência de parcelas perdidas, foi realizada uma análise intrablocos de látice com parcelas perdidas (Tabela 4), para cada um dos sete caracteres analisados: início de floração (Flor), maturidade (Matur), comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), peso de grãos por vagem (PGV), peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod).

Para o caráter floração, observou-se que a diferença entre as progênies foi significativa pelo teste F ($P \leq 0,05$), indicando variação entre as progênies estudadas. A média da floração foi de aproximadamente 45 dias e as diferenças entre as datas de floração, nas 225 progênies estudadas, variaram entre 40 dias e 59 dias.

Tabela 4 - Análise intrablocos das variáveis floração (Flor), maturidade (Matur), comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), peso de grãos por vagem (PGV), peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod) em um delineamento em látice simples 15 x 15 para seleção de genótipos de feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico. Teresina, PI, 2012.

F.V.	G.L.	Quadrados médios						
		Flor (dias)	Matur (dias)	CV (cm)	NGV	PGV (g)	P100G (g)	Prod (g)
Progênes	178	15,99*	6,57*	3,98*	6,07 ^{ns}	0,42*	14,61*	0,28*
Bloco	28	16,36	7,51	4,67	6,70	0,54	15,66	0,40
Repetição	1	57,85	41,93	33,15	41,32	0,65	44,62	4,25
Erro	54	10,02	4,41	2,50	5,29	0,27	7,76	0,19
Total	261	16,92	11,87	4,45	6,65	0,42	14,16	0,33
C.V.		6,91	3,03	8,68	23,59	26,17	13,67	28,92
Média		45,0	63,56	18,24	9,74	2,0	20,0	62,56

*Significativo a 5% de probabilidade e ^{ns}Não-significativo

Na ausência de estresse hídrico, a média da floração varia de 36 a 109 dias (ISHIYAKU, SINGH e CRAUFURD, 2005). Dados da literatura indicam que o déficit hídrico promove um atraso na floração. Abayomi e Abidoye (2009) avaliaram genótipos de feijão-caupi sem estresse e em condições de estresse leve, moderado e severo. Em condições sem déficit hídrico, a data de floração variou de 40,7 a 53 dias. Com um estresse leve, a floração variou de 40,7 a 52 dias; no estresse moderado, de 51 a 57,7 dias e no estresse severo (tal como foi aplicado neste experimento), a floração variou de 54 a 67,3 dias.

Para a variável dependente maturação, a média foi de 63,56 dias ($P \leq 0,05$), demonstrando que existem diferenças significativas entre as progênies estudadas para o caráter maturidade. Segundo classificação de Freire Filho et al. (2000), o ciclo pode ser dividido em: a) superprecoce: a maturidade é alcançada até 60 dias do plantio; b) precoce: a maturidade é alcançada entre 61 a 70 dias após a semeadura; c) médio: a maturidade é alcançada entre 71 a 90 dias e d) tardio: a maturidade ocorre após 91 dias. Neste experimento, observou-se que havia 22 progênies de ciclo superprecoce, possivelmente influenciadas pelo déficit hídrico, pois segundo Verslues et al. (2006), as plantas podem adotar uma estratégia de escape ao déficit hídrico, apresentando rápido desenvolvimento, completando seu ciclo de vida antes que o déficit hídrico torne-se severo o bastante para provocar dano fisiológico. Vale ressaltar que não houve progênies de ciclo tardio.

A média obtida para o caráter comprimento de vagem foi de 18,24 cm, com valor mínimo de 11,4 cm e máximo de 24,6 cm. Através da análise de variância verifica-se que os efeitos das progênies são significativos. O baixo coeficiente de variação (8,68) indica alta precisão do experimento para esta variável. Neste experimento, também ocorreram vagens pequenas e murchas, o que pode ter sido em decorrência ao déficit. Em um estudo com déficit hídrico em feijão-caupi de Costa et al. (1997), onde submeteram três variedades a um regime sem déficit e outro com déficit hídrico; foi verificado que o comprimento médio das vagens reduziu (17,30 cm) quando o déficit hídrico foi aplicado entre 36 e 82 dias após germinação.

O número médio de grãos por vagem foi de 9,74. O efeito das progênies para este caráter não foi significativo, indicando que as progênies estudadas independente de suas capacidades de tolerar ao déficit hídrico, não diferem para

este caráter, podendo-se inferir que o mesmo não é eficiente para se utilizar em seleção de genótipos com tolerância ao déficit hídrico, em função da não existência de variabilidade para o caráter em questão. No entanto, resultados discordantes foram observados por Ahmed e Suliman (2010), em um experimento com déficit hídrico, em que foram avaliadas uma cultivar de feijão-caupi e duas variedades locais, sob déficit hídrico imposto na fase vegetativa, na fase reprodutiva e em ambas as fases; observou-se redução significativa no número de grãos por vagem, indicando que este caráter é sensível ao déficit e pode ser utilizado para a avaliação da tolerância ao estresse hídrico.

O peso médio de grãos por vagem foi de 2,0 g. O efeito das progênies foi significativo para o caráter peso de grãos por vagem, indicando a existência de variabilidade entre as progênies estudadas, sendo este caráter passível de ser utilizado na seleção de progênies tolerantes ao déficit hídrico. No experimento de Rodrigues (2012), conduzido sob déficit hídrico, na mesma área experimental, o peso médio de grãos por vagem foi de 3,0 g, valor superior ao encontrado, o que pode ter ocorrido em virtude das condições menos críticas para o cultivo no ano de 2011, no qual foi conduzido o experimento de Rodrigues (2012).

Para o peso de cem grãos, o efeito das progênies foi significativo, assim como no trabalho de Bastos et al. (2011), visando a seleção de genótipos com tolerância à seca. Ao avaliar 20 genótipos de feijão-caupi, para o caráter em questão, as médias sob irrigação plena foram significativamente superiores ao experimento conduzido com déficit hídrico.

A literatura relata a queda na produtividade em decorrência do déficit hídrico. Kumaga, Adigo e Ofori (2003) estudando o efeito do déficit em feijão-caupi, amendoim comum e amendoim Bambara, observaram uma redução de rendimento nas três culturas, se comparado às progênies que não sofreram estresse hídrico. Dadison et al. (2005) compararam 10 genótipos de feijão-caupi geneticamente divergentes, também avaliando em condições de déficit e de irrigação plena em dois anos (2001 e 2002) e observaram que nos 10 genótipos houve redução da produtividade. Uarrota (2010), estudando o efeito do déficit hídrico e de níveis de adubação na cultivar IT 18, observaram redução significativa da produção de grãos com o déficit hídrico. Bastos et al. (2011) e Nascimento et al. (2011) avaliando 20

genótipos de feijão-caupi, também observaram redução da produtividade no experimento conduzido sob déficit, em relação ao experimento avaliado em irrigação plena. Em outros experimentos avaliando os efeitos do déficit hídrico em feijão-caupi, também verificou-se uma grande redução no rendimento, semelhante ao que ocorreu neste experimento.

4.4 Avaliação das progênies $S_{0:1}$ do primeiro ciclo de seleção recorrente em feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico por meio de análises multivariadas

As matrizes de covariância e de correlações a partir dos sete caracteres avaliados em campo experimental encontram-se nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. A matriz de covariância padronizada para média zero e variância igual a 1,0 fornece a matriz de correlação, cuja interpretação se torna mais facilitada.

Conforme visualizado na Tabela 7, a maior correlação obtida ($r=0,75$) foi entre os caracteres comprimento de vagem e número de grãos por vagem. Essa correlação mostra-se positiva e forte ($r>0,7$). Enquanto no experimento de Benvindo et al. (2010), que avaliou 20 genótipos de feijão-caupi, inclusive a cultivar BRS Paraguaçu, em regime sequeiro e irrigado, obtiveram uma correlação genotípica entre comprimento de vagem e número de grãos por vagem de 0,423.

A segunda maior correlação ($r=0,53$), se deu entre floração e maturidade, indicando que plantas que florescem precocemente maturam cedo e plantas com floração tardia, demoram mais para maturarem. Correlações entre esses dois caracteres são frequentemente relatadas em diversas culturas, inclusive em feijão-caupi. Machado et al. (2008), visando selecionar genótipos de feijão-caupi precoces e produtivos, conseguiram uma correlação positiva e forte ($r=0,91$).

Tabela 5 - Matriz de covariância dos dados do experimento conduzido em campo experimental, considerando sete caracteres: início de floração (Flor); maturidade (Matur); comprimento de vagem (CV); número de grãos por vagem (NGV); peso de grãos por vagem (PGV); peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod). Teresina, PI, 2012.

	Flor (dias)	Matur (dias)	CV (cm)	NGV	PGV (g)	P100G (g)	Prod (g)
Flor	14,09	5,04	-0,61	-0,50	-0,48	-1,55	-96,80
Matur	5,04	6,34	-0,60	-0,76	-0,25	0,52	-47,87
CV	-0,62	-0,60	3,48	3,30	0,99	1,75	42,96
NGV	-0,51	-0,75	3,30	5,60	1,35	2,05	51,33
PGV	-0,49	-0,29	0,99	1,35	1,68	1,77	20,77
P100G	-1,55	0,52	1,75	2,04	1,77	11,83	46,78
Prod.	-96,80	-47,87	42,96	51,32	20,78	46,78	3190,15

Tabela 6 - Matriz de correlação dos dados do experimento conduzido em campo experimental, considerando sete caracteres: início de floração (Flor); maturidade (Matur); comprimento de vagem (CV); número de grãos por vagem (NGV); peso de grãos por vagem (PGV); peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos por parcela (Prod). Teresina, PI, 2012.

	Flor (dias)	Matur (dias)	CV (cm)	NGV	PGV (g)	P100G(g)	Prod (g)
Flor	1,00	0,53	-0,09	-0,06	-0,09	-0,12	-0,46
Matur	0,53	1,00	-0,13	-0,13	-0,08	0,06	-0,33
CV	-0,09	-0,13	1,00	0,75	0,41	0,27	0,40
NGV	-0,06	-0,13	0,75	1,00	0,44	0,25	0,38
PGV	-0,09	-0,08	0,41	0,44	1,00	0,39	0,28
P100G	-0,12	0,06	0,27	0,25	0,40	1,00	0,24
Prod.	-0,45	-0,34	0,41	0,38	0,28	0,24	1,00

A maior correlação negativa existiu entre floração e produção por parcela, significando que plantas de floração tardia produziram menos. Isso, provavelmente, ocorreu em função da aplicação do déficit hídrico antes do início da fase de florescimento, o que limitou o desenvolvimento das progênies que floresceram tardiamente. Bertini et al. (2010) estudando 47 genótipos de feijão-caupi, também por meio de técnicas multivariadas, obtiveram baixa correlação (0,007) entre a floração e a produção. No mesmo sentido, Matos Filho et al. (2009), obtiveram uma correlação fenotípica baixa e negativa entre esse dois caracteres (0,203).

A análise de componentes principais, realizada a partir de dados de médias dos sete caracteres avaliados em campo experimental, fornece os dados dos autovalores de cada componente principal, os valores cumulativos e os autovetores (Tabela 7).

Por meio do critério de Kaiser, selecionam-se apenas os dois primeiros componentes principais, uma vez que só o CP₁ e o CP₂ apresentam autovalores superiores a 1,0. O primeiro componente principal explica 39,26% da variabilidade das progênies e o segundo 22,34%; juntos, os componentes selecionados para a análise, explicam 61,60% do total da variabilidade dos dados obtidos em campo experimental.

Pela Tabela 7, pode-se inferir que os caracteres que mais contribuíram para a variabilidade no componente principal 1 (CP₁= -0,27 Flor - 0,24 Matur + 0,47 CV + 0,47 NGV + 0,39 PGV + 0,30 P100G + 0,43 Prod) foram o comprimento de vagem, número de grãos por vagem e produção por parcela, podendo ser reunidos em um grupo denominado componentes de produção. No componente principal 2 (CP₂= 0,59 Flor + 0,58 Matur + 0,24 CV + 0,26 NGV + 0,25 PGV + 0,24 P100G - 0,25 Prod), os caracteres que mais contribuíram para a variabilidade dos dados foram floração e maturidade, que representam o ciclo.

Tabela 7 - Valores de autovalores brutos, cumulativo e autovetores dos sete componentes principais obtidos por meio da análise de componentes principais dos dados do experimento conduzido em campo experimental. Teresina, PI, 2012.

	Autovalores	Cumulativo	Flor (dias)	Matur (dias)	CV (cm)	NVG	PGV (g)	P100G (g)	Prod (g)
CP ₁	2,75	0,3926	-0,27	-0,24	0,47	0,47	0,39	0,30	0,43
CP ₂	1,56	0,6160	0,59	0,58	0,24	0,26	0,25	0,24	-0,25
CP ₃	0,93	0,7491	-0,23	0,17	-0,38	-0,40	0,27	0,74	0,03
CP ₄	0,62	0,8372	-0,07	0,42	0,14	0,03	-0,70	0,21	0,51
CP ₅	0,50	0,9093	0,02	0,40	-0,22	-0,18	0,46	-0,48	0,57
CP ₆	0,39	0,9646	0,79	-0,49	-0,17	-0,12	-0,05	0,19	0,41
CP ₇	0,25	1,0000	0,04	-0,03	0,70	-0,71	0,06	-0,03	-0,01

No estudo de Bertini et al. (2010) ao avaliarem 47 genótipos de feijão-caupi através de uma análise de componentes principais, encontraram autovalores estimados iguais a 39,88; 24,21 e 16,23%, respectivamente, para o primeiro, o segundo e o terceiro componentes. Os pesquisadores intitularam o CP₁ de grupo produtividade e o CP₂, precocidade, assim como neste estudo; em que no CP₁, os caracteres que mais contribuíram para a variabilidade estavam relacionados à produtividade e no CP₂, os caracteres com maiores autovetores estavam relacionados ao ciclo. Bertini et al. (2010) também verificaram que o caráter comprimento de vagem foi o que mais influenciou na formação do primeiro componente, em concordância com os dados deste estudo.

Para o grupo componentes de produção, formado pelos caracteres que possuíram maiores autovetores no CP₁, os gráficos de dispersão mostrando as correlações entre as variáveis que formam este grupo (comprimento de vagem, número de grãos por vagem e produção de grãos por parcela) estão apresentados na Figura 5.

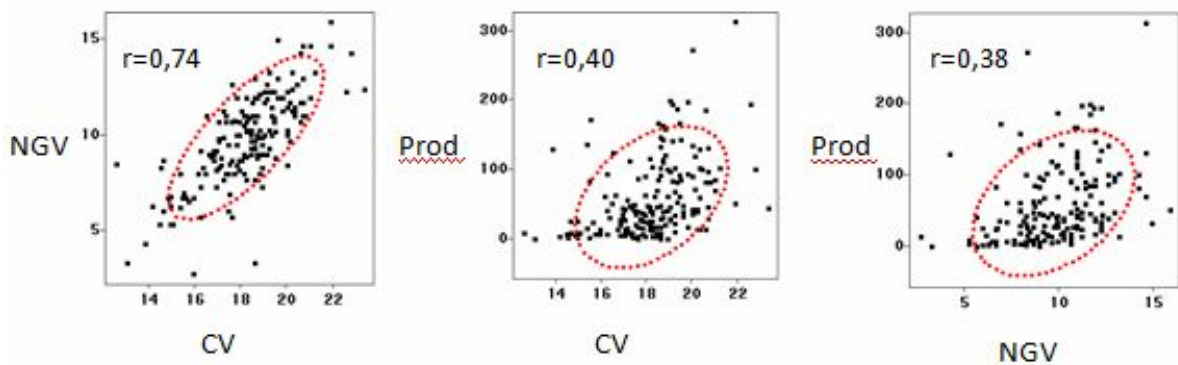


Figura 5 - Gráficos de dispersão mostrando a correlação entre comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV) e produção de grãos por parcela (Prod), duas a duas.

A maior correlação foi entre os caracteres comprimento de vagem e número de grãos por vagem. Resultado semelhante foi obtido por Andrade et al. (2010), que estudaram 14 genótipos de feijão-caupi visando seleção para grãos frescos e obtiveram correlação entre comprimento de vagem e número de grãos por vagem de 0,78.

Para o grupo ciclo que compreende floração e maturidade, o gráfico de dispersão com a respectiva correlação entre as duas variáveis está na figura abaixo (Figura 6). A correlação entre floração e maturidade foi de 0,53. Esta informação está de acordo com a literatura, uma vez que no trabalho de Correa et al. (2012) a maior correlação se deu entre floração e maturidade (0,63).

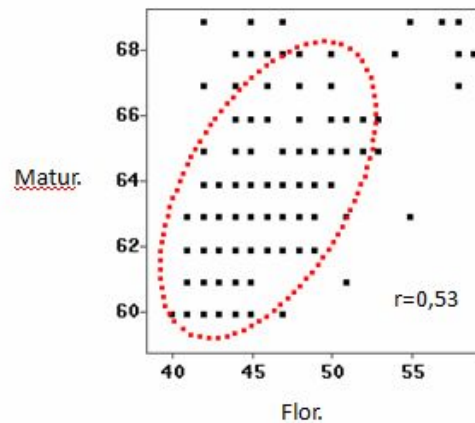


Figura 6 - Gráfico de dispersão da correlação entre floração e maturidade.

Foi construído um gráfico biplot no qual foram plotados os componentes principais 1 e 2 (Figura 7).

No quadrante 1, estão plotados os genótipos com valores altos do grupo dos componentes de produção (comprimento de vagem, número de grãos por vagem e produção por parcela) e genótipos de ciclo longo, entre os quais pode-se citar as progênies 15, 121, 122 e 210. Essas progênies são interessantes do ponto de vista da produtividade. No entanto, não possuem ciclo precoce e portanto, não seriam as melhores opções para a seleção, uma vez que os melhoristas de feijão-caupi visam agrupar várias características agronomicamente superiores como alta produtividade, precocidade, boa qualidade, além de uma arquitetura favorável ao cultivo mecanizado (MATOS FILHO et al., 2009).

No quadrante 2, estão os indivíduos que mais sofreram com o déficit hídrico, uma vez que foram os que tiveram um maior ciclo aliado a baixos rendimentos nos componentes de produção. Entre as progênies com essas características estão 4, 24, 25, 92, 120 e 173. Esses baixos valores no que diz respeito aos componentes de produção e no retardo do ciclo já estão previstos na literatura em genótipos que têm baixa tolerância ao déficit hídrico (ÁVILA et al., 2007; NASCIMENTO et al., 2011).

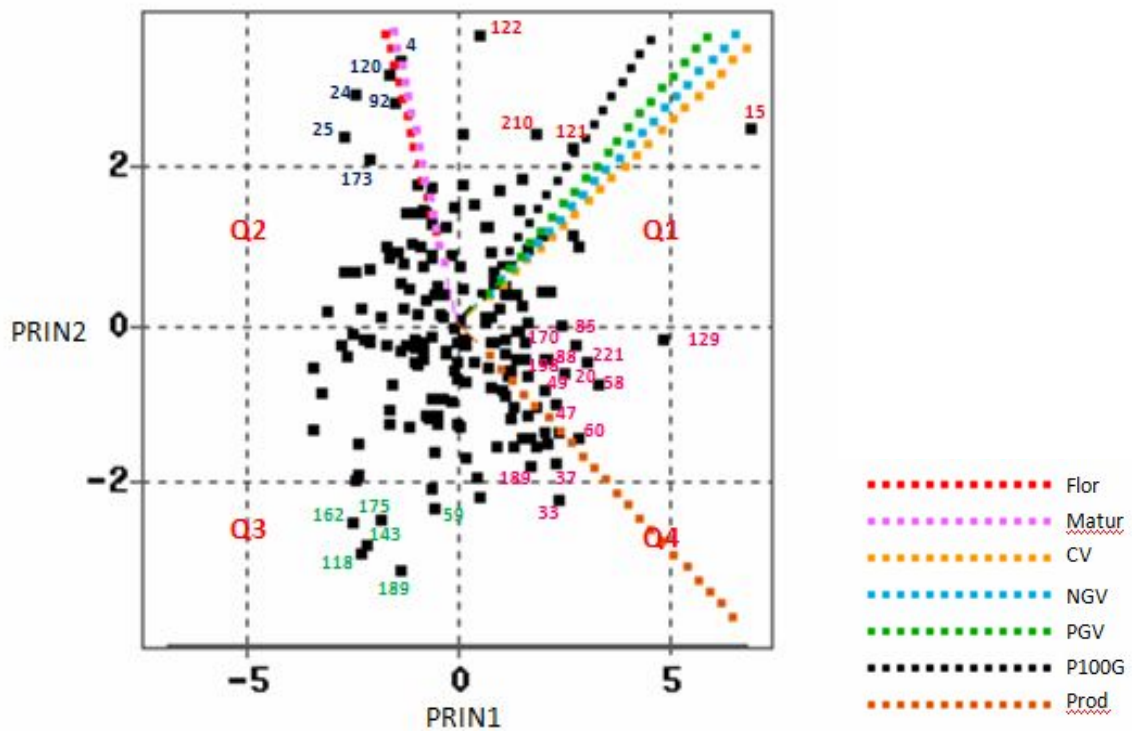


Figura 7 - Gráfico biplot entre os dois primeiros componentes principais para os sete caracteres (Flor=Floração, Matur=Maturidade, CV=Comprimento de vagem, NGV=número de grãos por vagem, PGV=peso de grãos por vagem, P100G=peso de grãos e Prod=Produção de grãos por parcela).

O quadrante 3 mostra progênies precoces, porém que não conseguiram assegurar a produtividade frente ao estresse imposto, a saber: 59, 118, 143, 162, 175 e 189. Por conseguinte, essas progênies não devem ser selecionadas em virtude da baixa produção.

No quadrante 4, encontram-se os indivíduos que mesmo com o déficit hídrico conseguiram manter uma boa produtividade, além de serem cultivares de ciclo curto com floração e maturidade precoces. Segundo Hall (2004), o melhoramento genético de feijão-caupi visando tolerância ao déficit hídrico e ao calor visam agregar em um só genótipo, não somente os alelos de tolerância, como também diversos caracteres secundários agronomicamente superiores (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011). Neste sentido, progênies tais como 20, 33, 37, 47, 49, 58, 60, 85, 88, 129, 170, 198 e 221 (testemunha BRS Paraguaçu) devem ser selecionadas para continuar este programa de seleção recorrente, uma vez que agregam características favoráveis de

ambos os grupos, definidos por meio da análise de componentes principais realizada.

4.5 Metodologia Wooden box

No experimento avaliado pela metodologia Wooden Box, considerou-se como variáveis o percentual das plantas que murchou aos 8, 10, 12 e 15 dias e as que recuperaram após o retorno da irrigação. Foi obtida a matriz de covariância (Tabela 8) a partir da qual foi calculada a matriz de correlações (Tabela 9), que permitiu a realização da análise de componentes principais, considerando as cinco variáveis.

Tabela 8 - Matriz de covariância dos dados obtidos da avaliação de 225 progênies $S_{0:1}$ de feijão-caupi, pela metodologia Wooden Box, considerando cinco caracteres: percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12 e 15 dias após término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram após o retorno da irrigação. Teresina, PI, 2012.

	8 dias	10 dias	12 dias	15 dias	Recuperação
8 dias	828,84	363,27	11,84	0,00	-1,67
10 dias	363,27	661,45	34,90	0,00	-2,14
12 dias	11,84	34,90	14,43	0,00	1,03
15 dias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Recuperação	-1,67	-2,14	1,03	0,00	105,15

Tabela 9 - Matriz de correlação dos dados obtidos da avaliação de 225 progênies $S_{0:1}$ de feijão-caupi, pela metodologia Wooden Box, considerando cinco caracteres: percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12 e 15 dias após término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram após o retorno da irrigação. Teresina, PI, 2012.

	8 dias	10 dias	12 dias	15 dias	Recuperação
8 dias	1,00	0,49	0,11	0,00	-0,01
10 dias	0,49	1,00	0,36	0,00	-0,01
12 dias	0,11	0,36	1,00	0,00	0,03
15 dias	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Recuperação	-0,01	-0,01	0,03	0,00	1,00

A matriz de correlação representa a matriz de covariância padronizada. A padronização é feita para média zero e variância 1,0. Vale ressaltar que a análise de componentes principais é feita com base na matriz de correlação.

A maior correlação obtida foi entre o percentual de plantas que murchou aos 8 dias após o término da irrigação e o percentual de plantas murchas aos 10 dias após o fim da irrigação, indicando haver maior dependência entre essas duas variáveis do que entre as demais. A correlação obtida foi positiva e moderada (0,49), podendo-se sugerir que as progênies que murcharam precocemente e, provavelmente, as menos tolerantes ao déficit hídrico; apresentam maior relação entre si.

O caráter percentual de plantas murchas após 15 dias do fim da irrigação não teve correlação com nenhum dos demais caracteres. Isso ocorreu pelo fato de que aos 15 dias, 100% das plantas dos 225 tratamentos encontravam-se murchas (Figura 8). Portanto, não houve variabilidade nos dados. No trabalho original de Singh et al. (1999), aos 15 dias, apenas 33,3% dos tratamentos apresentaram murcha completa. Destaca-se que no trabalho original, o déficit foi aplicado em 12 linhagens que, portanto, apresentavam maior homogeneidade, diferentemente dos dados apresentados neste estudo, uma vez que essas progênies ainda encontram-se em gerações iniciais apresentando uma maior heterogeneidade.



Figura 8 - Plantas aos 15 dias após o término da irrigação

As medidas estatísticas básicas (média, desvio-padrão, valor máximo e valor mínimo) para cada uma das cinco variáveis estudadas encontram-se reunidas na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de média, desvio-padrão, valor máximo e mínimo dos dados do experimento conduzido em casa de vegetação, considerando cinco caracteres: percentual de plantas murchas aos 8, 10, 12 e 15 dias após término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram após o retorno da irrigação. Teresina, PI, 2012.

	Média	Desvio-padrão	Máximo	Mínimo
8 dias	34,86	28,79	100,00	0,00
10 dias	74,42	25,72	100,00	0,00
12 dias	99,14	3,80	100,00	68,75
15 dias	100,00	0,00	100,00	100,00
Recuperação	95,75	10,25	100,00	50,00

O percentual médio de murcha após o início do déficit hídrico aumentou ao longo dos dias sem irrigação (Figura 9), o mesmo ocorreu com o experimento de Singh et al. (1999).

Desde o primeiro dia de avaliação, já houve progênies que apresentaram 100% de murcha (progênies 23, 90, 109, 120, 157, 202 e a testemunha Pingo de Ouro-1-2), diferentemente do que ocorreu com Singh et al. (1999), onde o maior percentual de murcha aos oito dias foi 72%; o qual ocorreu com a linhagem TVu 7778. No trabalho, o percentual de murcha 100% só foi alcançado pela primeira vez aos dez dias, com a linhagem TVu 8256. Aos dez dias, a quantidade de progênies que atingiu 100% de murcha passou de seis para 61. Aos 12 dias, apenas 14 progênies não apresentaram 100% de plantas murchas. No entanto, vale ressaltar que, com o retorno da irrigação, o percentual de recuperação revelou-se bem acima do encontrado no trabalho original, tendo uma média de 95,75%.

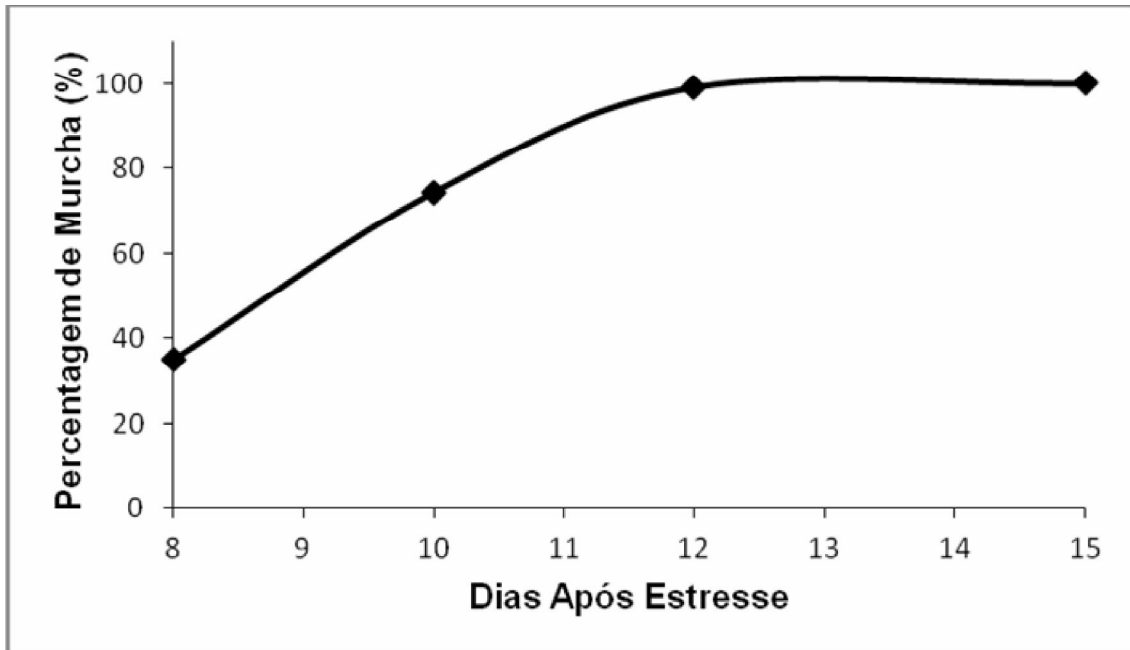


Figura 9 - Gráfico representando o percentual médio de plantas que murcharam aos 8, 10, 12 e 15 dias após o fim da irrigação.

A análise de componentes principais, descrita por Pearson, é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão, denominadas de componentes principais. Cada componente principal estima o máximo da variabilidade existente nos dados. O primeiro componente explica a maior parte da variabilidade e é independente dos demais componentes (SOUZA, 2000).

Na análise de componentes principais são fornecidos os valores de autovalores, associados a cada componente principal, o cumulativo e os autovetores, que encontram-se reunidos na Tabela 11. Os componentes que melhor explicam a variabilidade neste experimento são os dois primeiros (CP1 e CP2), uma vez que apresentam autovalores acima de 1,0 (critério de Kaiser) e juntos explicam 66,69% da variação total.

Considerando os componentes principais 1 ($CP_1 = 0,58$ 8 dias + $0,68$ 10 dias + $0,46$ 12 dias + $0,01$ Recup) e 2 ($CP_2 = -0,12$ 8 dias - $0,03$ 10 dias + $0,19$ 12 dias + $0,97$ Recup) como os que discriminam melhor os dados, pode-se verificar, que o percentual de murcha aos 8 e 10 dias são os que possuem maiores autovetores no componente principal 1 e portanto são os caracteres que mais contribuíram para a variabilidade nos dados; compondo o grupo denominado percentual de plantas que

murchou precocemente. O percentual de recuperação (maior autovetor no componente principal 2) é o caráter que mais contribuiu para o CP₂, o qual explica aproximadamente 25% da variabilidade genética. Em oposição, o caráter que menos contribuiu para a variabilidade foi o percentual de murcha aos 15 dias, uma vez que esse caráter apresenta maior autovetor (1,0) no componente principal que menos explica a variabilidade (CP₅). Essa informação condiz com os dados, uma vez que aos 15 dias, 100% dos tratamentos murcharam e o desvio padrão foi zero.

Foi construído um gráfico biplot plotando os dois primeiros componentes principais (Figura 10). Nesse gráfico só foram consideradas quatro variáveis (percentual de plantas que murcharam aos 8, 10 e 12 dias após o término da irrigação e percentual de plantas que recuperaram o vigor após o retorno da irrigação); a variável percentual de plantas murchas aos 15 dias após o término da irrigação não foi considerada, uma vez que não havia variabilidade entre as progênies.

No quadrante 1, encontram-se as progênies que possuem maior percentual de murcha precocemente e maior percentual de recuperação. Esses genótipos não devem ser selecionados uma vez que o fato de murcharem cedo demonstra, provavelmente, uma menor tolerância ao déficit hídrico.

No quadrante 2, estão representadas progênies que possuem menores valores de CP₁ e altos valores de CP₂. Como o CP₁ está relacionado ao percentual de plantas que murcharam precocemente; baixos valores desse componente fornecem genótipos com uma maior tolerância à seca; que, aliado aos altos valores do CP₂, que indicam maior percentual de recuperação, se constituem nos genótipos que devem ser selecionados, pois apresentam menor percentagem de murcha precoce e maior capacidade de recuperação e em virtude de expressarem essas características, de acordo com Singh et al. (1999), são os genótipos com uma maior tolerância ao déficit hídrico. Entre as melhores progênies, estão: 97, 104, 126, 158, 171, 185, 191 e 225 (testemunha CNCx 689-128G).

Tabela 11 - Valores de autovalores brutos, cumulativo e autovetores dos cinco componentes principais obtidos por meio da análise de componentes principais dos dados do experimento conduzido em casa de vegetação. Teresina, PI, 2012.

Componente	Autovalor	Cumulativo	8 dias	10 dias	12 dias	15 dias	Recup
CP ₁	1,66	0,42	0,58	0,68	0,46	0,00	0,01
CP ₂	1,01	0,67	-0,12	-0,03	0,19	0,00	0,97
CP ₃	0,89	0,89	0,57	0,05	-0,79	0,00	0,223
CP ₄	0,44	1,00	0,58	-0,73	0,36	0,00	-0,02
CP ₅	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00

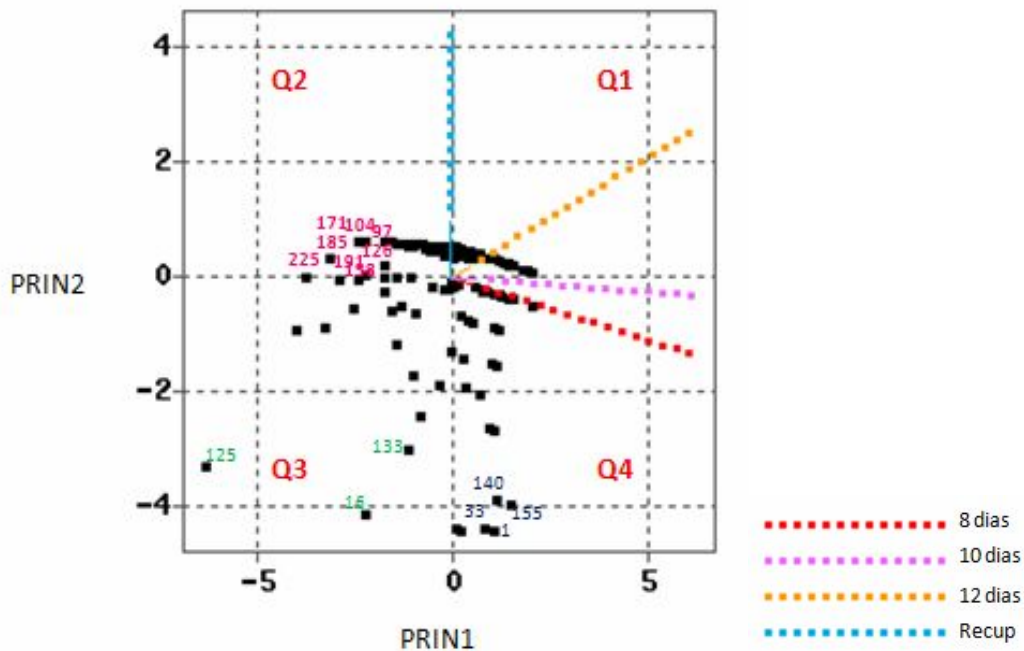


Figura 10 - Gráfico biplot entre os dois primeiros componentes principais para os quatro caracteres (Percentual de plantas que murcharam aos 8, 10 e 12 dias após o término da irrigação e percentual de recuperação após o retorno da irrigação).

No quadrante 3, estão genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico (exibem menor percentual de murcha precoce); no entanto, não apresentam bom percentual de recuperação: progênies 16, 125 e 133, e, seguindo os critérios de Singh et al. (1999), essas progênies possuem tolerância ao déficit hídrico moderada. Porém dependendo do objetivo do pesquisador, estas progênies poderão ser selecionadas.

No quadrante 4, as progênies que se destacaram foram: 1, 33, 140 e 155. Essas progênies apresentam alto percentual de murcha precoce e baixa capacidade de recuperação do vigor após o retorno da irrigação e portanto, não devem ser selecionadas pois de acordo com Singh et al. (1999) a presença dessas características torna essas progênies mais susceptíveis ao déficit hídrico.

4.6 Análises considerando os experimentos conduzidos em campo experimental e casa de vegetação

Comparando os resultados das análises de componentes principais entre os dois experimentos, apesar de se tratarem de avaliação de caracteres distintos; ambos explicaram boa parte da variabilidade das progênies com apenas os dois primeiros componentes principais.

À análise do gráfico biplot, percebe-se que no experimento conduzido em campo experimental, as progênies que mais se destacaram foram: 20, 33, 37, 47, 49, 58, 60, 85, 88, 129, 170, 198 e 221 (testemunha BRS Paraguaçu). No experimento conduzido em casa de vegetação (Wooden Box), as progênies destacadas para a realização da seleção foram: 97, 104, 126, 158, 171, 185, 191 e 225 (testemunha CNCx 689-128G). Não houve coincidência entre as melhores progênies ao considerar os dois experimentos. O mesmo pode ser observado por meio dos resultados da análise de correlações canônicas descrita a seguir.

Na análise de variância multivariada (MANOVA) e testes de comparação de médias, observou-se a não-significância ($P > 0,05$) entre os dados analisados (Tabela 12), o que indicou que as progênies analisadas não diferem entre si.

Tabela 12 - Testes de comparação de médias multivariados referentes aos dados do experimento conduzido em campo experimental e em casa de vegetação. Teresina, PI, 2012.

Testes	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,87449243	0,82	0,7298
Traço de Pillai	0,13083172	0,83	0,7242
Traço de Hotelling-Lawley	0,13751822	0,82	0,7320

Os testes Lambda de Wilks, traço de Pillai e traço de Hotelling-Lawley são testes que comparam a existência de diferenças significativas quando se consideram simultaneamente várias amostras e várias variáveis. Essas estatísticas testam a hipótese de que todas as amostras vêm de progênies com o mesmo vetor

médio (MANLY, 2008). Pelos resultados encontrados, detecta-se que não há diferenças significativas entre as progênies quando se considera todas as variáveis simultaneamente.

A análise de correlação canônica é um procedimento estatístico multivariado que permite o estudo das relações existentes entre dois grupos ou conjuntos de variáveis, denominados frequentemente na literatura de X e Y. As correlações canônicas referem-se às correlações entre variáveis canônicas, ou seja, entre combinações lineares de variáveis, de tal modo que a correlação entre essas combinações seja máxima (TRUGUILHO; LIMA; MORI, 2003).

Nesse contexto, as funções canônicas auxiliam a avaliação do relacionamento entre dois grupos de variáveis: o primeiro grupo composto das sete variáveis avaliadas em campo experimental (conjunto de variáveis X) e o segundo composto das cinco variáveis que foram avaliadas na metodologia Wooden Box (conjunto de variáveis Y).

Os valores de correlação canônica entre os dados de campo e os avaliados por meio da metodologia Wooden Box encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Os valores da análise de correlação canônica referentes aos dados conduzidos em campo experimental e casa de vegetação. Teresina, PI, 2012.

	8 dias	10 dias	12 dias	15 dias	Recuperação
Flor	0,04	-0,06	0,05	0,00	0,10
Matur	-0,03	-0,11	-0,06	0,00	0,12
CV	0,07	0,09	0,01	0,00	-0,04
NGV	0,10	0,13	0,06	0,00	-0,03
PGV	-0,06	-0,01	0,03	0,00	-0,01
P100G	-0,04	-0,01	-0,02	0,00	-0,08
Prod	0,01	0,06	-0,14	0,00	-0,13

Denota-se que as correlações entre os dois experimentos foi baixa ($r < 0,15$). Por conseguinte, antes de recomendar o uso da metodologia Wooden Box para

avaliar genótipos tolerantes ao déficit hídrico, devem ser realizados novos experimentos e/ou otimização do método para adaptá-lo às presentes condições. Essa otimização pode ser realizada por meio de padronizações da lâmina oferecida, da adoção de uma forma de monitoramento da umidade do solo, da redução e antecipação do número de dias após o início do déficit em que serão avaliados o percentual de plantas murchas, maior espaçamento entre plantas e da adoção de uma escala para caracterizar o percentual de murcha. Vale ressaltar que deve-se optar sempre pelos resultados obtidos em campo experimental, quando houver discordância entre as metodologias.

5 CONCLUSÕES

As populações das progênies 20, 33, 37, 47, 49, 58, 60, 85, 88, 129, 170 e 198 deverão ser selecionadas, em função da precocidade e tolerância ao déficit hídrico, no ensaio de campo, para a continuação do primeiro ciclo de seleção recorrente.

As progênies 97, 104, 126, 158, 171, 185 e 191 deverão ser selecionadas em função do menor percentual de plantas que murchou precocemente e maior percentual de recuperação.

Em virtude da baixa correlação encontrada entre os dois experimentos, deve-se optar pela metodologia em que o déficit hídrico é aplicado em condições de campo, uma vez que o método Wooden Box precisa ser otimizado para a região em estudo.

Referências

- ABAYOMI, Y. A.; ABIDOYE, T. O. Evaluation of cowpea genotypes for soil moisture stress tolerance under screen house conditions. **African Journal of Plant Science**, v. 3, n.10, p. 229-237, 2009.
- ADEBIYI, O. A.; OLOGHOBO, A. D.; ADU, O. A.; OLASEHINDE, T.O. Evaluation of the nutritional potentials of physically treated cowpea seed hulls in poultry feed. **Emir. J. Food Agric**, v. 22, n.3, p. 232-239, 2010.
- ADEKOLA, O. F.; OLULEYE, F. Influence of mutation induction on the chemical composition of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, n. 18, 2007.
- AHMED, F. E.; SULIMAN, A. S. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 1, n. 4, p. 534-540, 2010.
- ALMEIDA, A. L. G.; ALCÂNTARA, R. M. C. M.; NÓBREGA, R. S. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LEITE, L. F. C.; SILVA, J. A. L. Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 364-369, 2010.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. Irrigação. In: CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHOS, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi: tratos culturais e manejo de plantas daninhas**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/tratos_culturais.htm>. Acesso em: 17.01.13.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.
- ANNOR, G. A.; DAWSON, E. S.; SAALIA, F. K.; DEDEH, S. S.; AFOAKWA, E. O.; DEBRAH, K. T.; BUDU, A. S. Response surface methodology for studying the quality characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata*)-based tempeh. **Journal of Food Process Engineering**, 2009.
- ASANTE, I.; ADU-DAPAAH, H.; ADDISON, P. Seed weight and protein and tannin contents of 32 cowpea accessions in Ghana. **Tropical Science**, v. 44, p. 77-79, 2004.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e

crescimento de plântulas de canola. **Revista brasileira de sementes**, v. 29, n.1, 2007.

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.

BAKER, J.F.; STEWART, T.S.; LONG, C.R. et al. Multiple regression and principal components analysis of puberty and growth in cattle. **Journal of Animal Science**, v. 66, n. 9, p. 2147-2158, 1998.

BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P. do; SILVA, E. M. da; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance, **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n.1, 2011.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.31-37, 2012.

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

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

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Portaria nº 85 de 6 de março de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, Seção 1, Anexo 12, 2002.

BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B.; SILVA, A. S.; PEREIRA, A. P. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no Semiárido Pernambucano. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n.1, Jaboticabal, 2012.

CÂMARA, T. M. M. **Mapeamento de QTLs de caracteres relacionados à tolerância ao estresse hídrico em milho tropical**. 2006. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D. A. V.; ALVES, G. F.; SANTOS, M. F.; MOREIRA, J. U. V.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à

tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 595-603, 2007.

CARDOSO, M. J.; 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 Agrônômica**, v. 37, n. 1, p.102-105, 2006.

CARVALHO, L. C. B.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; SOUSA, M. B.; PIRES, C. J.; NUNES, J. A. R. Phenotypic correlations between combining abilities of F₂ cowpea populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.12, p. 211-214, 2012.

CERQUEIRA, E. C.; CASTRO NETO, M. T.; PEIXOTO, C. P.; SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S.; OLIVEIRA, J. G. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, 2004.

CHÂTEL, M.; OSPINA, Y.; RODRIGUEZ, F.; LOZANO, V. H.; DELGADO H. Melhoramento populacional de arroz de terras altas e seleção de linhagens promissoras para as condições de savana da Colômbia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 1, p. 1-5, 2008.

CHA-UM, S.; YOOYONGWECH, S.; SUPAIBULWATANA, K. Water deficit stress in the reproductive stage of four indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Pak. J. Bot.**, v. 42, n. 5, p. 3387-3398, 2010.

CORDEIRO, L. G.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, J. J. A.; MIRANDA, E. P. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p.153-157, 1998.

CORREA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, 2012.

COSTA, G. G. O. Análise de correlação canônica entre conjuntos de princípios da qualidade total. **Revista Cadernos de Administração**, v. 1, n. 2, 2008.

COSTA, M. M.M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, 1997.

COULIBALY, S.; PASQUET, R. S.; PAPA, R.; GETS, P. AFLP analysis of the phenetic organization and genetic diversity of *Vigna unguiculata* L. Walp. reveals extensive gene flow between wild and domesticated types. **TAG Theoretical and Applied Genetics**, v. 104, n. 2-3, p. 358-366, 2001.

CROPWAT 8.0. **FAO-CROPWAT**, 2000-2006.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, Viçosa, MG: UFV, v. 1, 1997.

CUSTÓDIO, C. C.; VIVAN, M. R.; NUNES, R. C. A.; AGOSTINI, E. A. T. Tolerância cruzada induzida por choque térmico na germinação de semente de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p.131-143, 2009.

DADISON, R. B.; HASHEM, F. M.; JAVAID, I.; JOSHI, J.; ALLEN, A. L.; DEVINE, T. E. Effect of Water Stress on the Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Genotypes in the Delmarva Region of the United States. **Journal of Agronomy & Crop Science**, n. 191, p. 210-217, 2005.

DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, F. S.; SCAPIM, C. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; DAHER, R. F.; ÁVILA, M. R. Correlações entre caracteres agronômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho-pipoca. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p.1389-1394, 2004.

ECHER, F. R.; CUSTÓDIO, C. C.; HOSSOMI, S. T.; DOMINATO, J. C.; MACHADO NETO, N. B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, 2010.

ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GANELA, A.; VOGOT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1443-1449, 2007.

EMATNÉ, H. J.; SOUZA, J. C.; BIUDES, G. B.; NUNES, J. A. R.; GUEDES, F. L. Genetic progress of phenotypic recurrent selection in popcorn. **Ciência e agrotecnologia**, v. 36, n. 1, 2012.

E MBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). EMBRAPA-SPI, 2006.

ESPOSITO-POLESI, N. P.; RODRIGUES, R. R.; ALMEIDA, M. Anatomia ecológica da folha de *Eugenia glazioviana* Kiaersk (Myrtaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, 2011.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da; ROCHA, de M. R. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, n. 2, p.110116, 2000.

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

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

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011.

FROTA, A. B.; PEREIRA, P. R. **Caracterização da produção de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no Meio Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000.

FROTA, K. M.G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H. N.; CRUZ, R. J.; AREAS, J. A. G. Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 9, 2008.

FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 4, 2002.

GASPAR, M. Aquaporinas: de canais de água a transportadores multifuncionais em plantas. **Revista brasileira de Botânica**, v. 34, n. 4, 2011.

GIROTTI, L.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, A. C. S.; TOMAZONI, A. P. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, 2012.

GOUVEA, M. A.; PREARO, L. C.; ROMEIRO, M. C. Avaliação do emprego da técnica de análise multivariada de variância em teses e dissertações dos programas de pós-graduação em administração da Universidade de São Paulo e da Universidade Federal do Grande ABC. **Revista Estudos do CEPE**, n. 34, p.69-97, 2011.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada dos dados**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

HALL, A. E. Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. **European Journal of Agronomy**, n. 21, p. 447-454, 2004.

HEINEMANN, A. B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, n. 1, 2010.

ISHIYAKU, M. F.; SINGH, B. B.; CRAUFURD, P. Q. Inheritance of time to flowering in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Euphytica**, n. 142, p. 291–300, 2005.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992, 642 p.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, p. 141-151, 1960.

KRISHNA, K. R. **Agroecosystems of South India: Nutrient Dynamics, Ecology and Productivity: Nutrient Dynamics, Ecology and Productivity.** Florida: Brown Walker Press, 2012, 552p.

KOEPPEN, W. **Climatologia:** Con un estudio de los climas de la Tierra. 1. ed. Pánuco, 1948.

KUMAGA, F. K.; ADIKU, S. G. K.; OFORI, K. Effect of Post-flowering Water Stress on Dry Matter and Yield of Three Tropical Grain Legumes. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 5, n. 4, p. 405-407, 2003.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T.; SILVA, M. R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n.11, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

MACHADO, C. F.; TEXEIRA, N. J. P.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 01, p. 114-123, 2008.

MAMIRO, P. S.; MBWAGA, A. M.; MAMIRO, D. P., MWANRI, A. W.; KINABO, J. L. Nutritional quality and utilization of local and improved cowpea varieties in some regions in Tanzania. **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, v. 11, n. 1, 2011.

MANLY, B. F. F. **Métodos estatísticos multivariados:** uma introdução. 3. ed. 230p. 2008 (Tradução de Carlos Tadeu dos Santos Dias).

MASUTHI, D. A.; VYAKARANAHAL, B. S.; DESHPANDE, V. K. Influence of pelleting with micronutrients and botanical on growth, seed yield and quality of vegetable cowpea. **Journal of Agriculture and Science**, v. 22, n. 4, p. 898-900, 2009.

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

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, A. M. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia: Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 67, n. 4, p. 833-838, 2008.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science**, v. 80, n. 6, 2001.

MORTELE, L. M.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; RODOVALHO, M. A.; BARRETO, R. R. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, n. 6, 2008.

MOURA, J. O.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q. R. Path analysis of iron and zinc contents and others traits in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 245-252, 2012.

NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para a identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, 2009.

NASCIMENTO, S. P. do; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 8, p. 853–860, 2011.

NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de.; INGLIS, M. C. V. **Recursos genéticos & Melhoramento**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 2002.

OLALEKAN, A. J.; BOSEDE, B. F. Comparative study on chemical composition and functional properties of three nigerian legumes (jack beans, pigeon pea and cowpea). **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)**, v. 1, n. 1, p. 89-95, 2010.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, E. M.; SILVA, A. F. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. capixaba precoce). **Engenharia na Agricultura**, v. 16, n. 3, p. 343-350, 2008.

PAIVA, A. L. C.; TEIXEIRA, R. B.; YAMAKI, M.; MENEZES, G. R. O.; LEITE, C. D. S.; TORRES, R. A. Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 2, p. 285-288, 2010.

PASQUET, R. S. Allozyme diversity of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **TAG Theoretical and Applied Genetics**, v. 101, p. 211-219, 1999.

PASQUET, R. S. Morphological study of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Importance of ovule number and definition of cv gr Melanophthalmus. **Agronomie**, v. 8, p. 61-70, 1998.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de

diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, 2006.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 1, 2000.

PONTES, A. C. F. **Análise de variância multivariada com a utilização de testes não-paramétricos e componentes principais baseados em matrizes de postos**. 2005. Tese (Doutorado em Estatística Experimental) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.

QUEIROZ, R. J. R.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D.; MARIN, A.; BANZATTO, D. A.; CAZETTA, J. O. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica no solo. **Científica**, v.36, n.2, p.107 - 115, 2008.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLES, M. C. (eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001.

RANGEL, P. H. N.; MORAES, O. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Grain yield gains in three recurrent selection cycles in the CNAIRAT 4 irrigated rice population. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 3, p. 369-374, 2002.

RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GONÇALVES, L. S.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; CANDIDO, L. S. Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 2, n. 2, 2011.

RAUF, S. Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance. **Communications in Biometry and Crop Science**, v. 3, n.1, p. 29-44, 2008.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse Hídrico e Salino na Germinação de Sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4, p. 37-42, 2011.

RIBEIRO FILHO, J. G. **Aplicações da técnica de análise de correlações canônicas na previsão climática sazonal no Ceará**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) - Universidade Estadual do Ceará, 2009.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. (Ed.) Fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento genético do trigo no cerrado. **Circular técnica**, Passo Fundo, dez, 2006.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. Avaliação dos teores de ferro, zinco e proteína em linhagens de feijão-caupi da classe comercial Branca, subclasse Fradinho. **Comunicado Técnico**, Teresina, dez, 2011.

RODRIGUES, E. V. **Obtenção de população base em programa de seleção recorrente para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal do Piauí, 2012.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**, v. 33, p. 34-44, 2010.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, 2012.

SAS INSTITUTE. **SAS language and procedures: usage**. Version 9.0. Cary, 2002. 1 CD-ROM.

SILVA, K. J. D.; BRANCO, L. C. C.; ROCHA, M. M.; SOUSA, M. B.; PIRES, C. J.; SOUSA, C. M. B.; SILVA, J. D. L. **Correlações Fenotípicas em Progênes F2 para Caracteres Relacionados à Produtividade em Feijão-Caupi**. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/899613/1/3739.pdf>> Acesso em: 25.11.12.

SILVA, M. G. M.; VIANA, A. P.; GONÇALVES G. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G. Seleção recorrente intrapopulacional no maracujazeiro amarelo: alternativa de capitalização de ganhos genéticos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 170-176, 2009.

SINGH, B. B.; MAI-KODOMI, Y.; TERAQ, T. A simple screening method for drought tolerance in cowpea. **Indian Journal Genetics**, v. 59, n. 2, p. 211-220, 1999.

SOUSA, M. P.; BRAGA, L. F.; BRAGA, J. F.; DELACHIAVE, M. E. P. Estresses hídrico e salino no processo germinativo das sementes de *Plantago ovata* Forsk. (Plantaginaceae). **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, 2008.

SOUSA, R. A. **Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba**. 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Ceará, 2006.

SOUZA, A. M. **Monitoração e ajuste de realimentação em processos produtivos multivariados**. 2000. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal Santa Catarina, 2000.

STOCKLE, C. O.; DUGAS, W. A. Evaluating canopy temperature-based indices for irrigation scheduling. **Irrigation Science**, v. 13, p. 31-37, 1992.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Avaliação do crescimento e produção de clones de *Eucalyptus* submetidos a diferentes manejos de irrigação. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2007.

- TCHIAGAM, J. N.; BELL, J. M.; NASSOUROU, A. M.; NJINTANG, N. Y.; YOUMBI, E. Genetic analysis of seed proteins contents in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 16, p. 3077-3086, 2011.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.9, n.1, p.066-080, 2003.
- UARROTA, V. G. Response of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) to Water Stress and Phosphorus Fertilization. **Journal of Agronomy**, v. 9, p. 87-91, 2010.
- VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, p. 523–539, 2006.
- VIANA, C. F. A.; VIANA, M. A. S.; PIRES, A. V.; LOPES, P. S.; TORRES, R. A. Análise de variância multivariada na avaliação de grupos genéticos de matrizes de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 53, n. 4, 2001.
- VILELA, F. O.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SCAPIM, C. A.; VIANA, A. P.; FREITAS JÚNIOR, S. P. Efeito da Seleção Recorrente na População UNB-2U de Milho Pipoca por Marcadores RAPD. **Acta Scientiarum**, v. 30, n. 1, 2008.
- XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RUMJANEK, N. G; 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.
- ZHAO, S.; ZHANG, M.; JIANG, C.; YANG, C.; LIU, B.; CUI, J. Study on quality improvement effect and separate character of soybean male sterile (MS1) recurrent selection population. **Agricultural Science in China**, v. 6, n. 5, p. 545-551, 2007.
- ZIA-UL-HAQ, M.; AHMAD, S.; CHIAVARO, E.; MEHJABEEN, E.; AHMED, S. Studies of oil from cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars commonly grown in Pakistan. **Pak. J. Bot.**, v. 42, n. 2, p. 1333-1341, 2010.
- ZILLI, J. E.; VALISHESK, R. R.; FREIRE FILHO, F. R.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Assessment of cowpea rhizobium diversity in Cerrado areas of northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 4, São Paulo, 2004.

ANEXO

ANEXO A - Correlações entre caracteres número de vagens por planta (NVPI), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G) e produção de grãos por planta (PROD). Teresina, PI, 2012.

Caracteres	NVPI	NGV	P100G (g)	PROD (g)
NVPI	1,000	0,248	-0,067	0,871
NGV	0,248	1,000	-0,164	0,361
PROD	0,871	0,361	-0,035	1,000
P100G	-0,067	-0,164	1,000	-0,035
Média	32,022	15,797	20,459	153,506
Desvio-padrão	14,797	2,073	24,232	73,598

Adaptado de Rodrigues (2012).