

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA E
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE
FEIJÃO-CAUPI NA REGIÃO MEIO-NORTE DO BRASIL**

Cristiane Lopes Carneiro d'Albuquerque

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL - SÃO PAULO – BRASIL

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA E
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE
FEIJÃO-CAUPI NA REGIÃO MEIO-NORTE DO BRASIL**

Cristiane Lopes Carneiro d'Albuquerque

Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos

Co-orientador: Pesq. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias
e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal,
como parte das exigências para a obtenção do título
de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL - SÃO PAULO – BRASIL

2013

A345a Albuquerque, Cristiane Lopes Carneiro d'
Adaptabilidade e estabilidade produtiva e características
tecnológicas de genótipos de feijão-caupi na Região Meio-Norte do
Brasil. / Cristiane Lopes Carneiro d'Albuquerque. -- Jaboticabal,
2013
xix, 119 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Leandro Borges Lemos
Co-orientador: Maurisrael de Moura Rocha
Banca examinadora: Alisson Fernando Chiorato, Gustavo Vitti Moro,
Márcio José de Santana, Sandra Helena Unêda Trevisoli

Bibliografia

1. *Vigna unguiculata*. 2. Comparação de métodos. 3.
previsibilidade. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 635.654



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA E CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI NA REGIÃO MEIO-NORTE DO BRASIL

AUTORA: CRISTIANE LOPES CARNEIRO D'ALBUQUERQUE

ORIENTADOR: Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MAURISRAEL DE MOURA ROCHA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MAURISRAEL DE MOURA ROCHA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Teresina/PI


Profa. Dra. SANDRA HELENA UNEDA TREVISOLI
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÕRO
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ALISSON FERNANDO CHIORATO
Instituto Agrônomo de Campinas / Campinas/SP


Prof. Dr. MÁRCIO JOSÉ DE SANTANA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

Data da realização: 05 de junho de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CRISTIANE LOPES CARNEIRO D'ALBUQUERQUE – nascida em Teresina – PI, aos 20 dias de outubro de 1971, filha de João José Carneiro de Souza e Maria Nely Lopes de Souza. Em agosto de 1992 ingressou na Universidade Federal do Piauí, no curso de Engenharia Agrônômica, no ano de 1993 foi bolsista do programa iniciação científica – PIBIC/UFPI, sendo orientada pelo Prof. Dr. José Elivalto Campello, nos anos de 1994 e 1995 foi bolsista do programa iniciação científica PIBIC/ CNPq, orientada pelo Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho. Em 1997 graduou – se em Engenharia Agrônômica. Foi bolsista de desenvolvimento tecnológico – DTI do CNPq, orientada pelo Dr. Valdomiro Aurélio Barbosa (in memorium) nos anos de 1999 e 2000. Iniciou em 2003 o Mestrado em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí, orientada pela Prof^a. Dr^a Ângela Celis de Almeida Lopes e co-orientada pela Prof^a. Dr^a Regina Lucia Ferreira Gomes, defendendo a dissertação em 2006. Em 2008 a aprovação em concurso público e nomeada para o cargo de professora EBTT do Colégio Técnico de Floriano, vinculado à Universidade Federal do Piauí. Iniciou em 2009 o Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal), pela Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Leandro Borges Lemos e do Pesq. Dr. Maurisrael de Moura Rocha, a conclusão do curso ocorreu em junho de 2013.

*"Não importa tanto o tema da tese quanto a
experiência de trabalho que ela comporta."
(Umberto Eco)*

Aos meus pais João José e Maria Nely,
pelo apoio incondicional recebido ao longo da vida;
As minhas filhas maravilhosas Amandinha e Andressinha,
por entenderem que as minhas ausências são sempre por necessidade;
Ao meu Junior, meu esposo,
companheiro de sonhos e realizações.

Dedico

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A Deus, pela minha existência e forças para alcançar vitórias;

À Universidade Estadual Paulista - Campus de Jaboticabal por intermédio do Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de aperfeiçoar meus conhecimentos e pela acolhida;

À Universidade Federal do Piauí, por ter concedido a oportunidade de cursar o Doutorado em Agronomia através do programa DINTER UNESP/UFPI;

Ao Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, pela orientação competente e ajuda na realização de todas as etapas no decorrer da confecção deste trabalho;

Ao Pesquisador da Embrapa Meio-Norte Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pela orientação, sugestões, presença constante e amizade durante a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Luiz Evaldo de Moura Pádua, pelo empenho para a oferta e realização desse curso;

Ao Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, pelos ensinamentos recebidos ao longo desse período de convivência;

Aos estatísticos Dr. Valdenir Queiroz Ribeiro (Embrapa Meio-Norte) e Prof. Dr. José Carlos Barbosa (UNESP), pelas análises realizadas e pela atenção dispensada;

Aos professores do Dinter-PI, Dr. Renato de Melo Prado, Dr. Edson Coutinho, Dr. José Carlos Barbosa, Dr. Jairo Cazetta e Dr. Arthur Bernardes, pela disposição em viajar a terras distantes para compartilhar conhecimentos;

As Professoras Dr^a. Regina Lucia Ferreira Gomes e Dr^a. Ângela Celis de Almeida Lopes, por me oferecerem no momento certo o incentivo necessário para alavancar minha estabilidade profissional e pessoal;

Aos Professores Aroldo Reis Rocha e Gilmar Duarte, diretor e ex-diretor, respectivamente, do Colégio Técnico de Floriano, pelo apoio recebido para realização deste curso;

A Lucyane Lopes, Ingrid Lopes e Ângela Merícia, por fazerem parte de minha vida e compartilharem meus medos e minhas vitórias;

A família Lopes (Tios, Tias, Primos, Primas e Sobrinhos), por torcerem por mim;

À família Caupi que me recebeu com muito carinho na casa que não falta sorriso e feijão, especialmente, Adão Cabral, Sr. Manoel, Paulo, Ana Lucia, Dona Graça e Francisca, Sr. França, Sr. Agripino, Benedito (técnico de Balsas), Mauro (técnico de Bom Jesus) e a amiga Dr^a. Socorro Nogueira;

Aos amigos mestres Erina Vitório Rodrigues, Michel Barros e Hendrie Nunes pelas valiosas ajudas prestadas;

Aos amigos mestres da UNESP/Jaboticabal Tatiana Pagan, Antonio Carmeis, Fabio Mingotti, Silvine de Santiago e Sr Mauro (técnico de laboratório), pela realização das análises tecnológicas;

Aos Companheiros do DINTER/PI Carlota Rosal, Conceição Matias, Carlos Gandara, Jaqueline Zanon, Laurielson Alencar, Luís Galvão, Raimundo Benvindo e Reinaldo Leal, pela gratificante convivência no decorrer do curso e por compartilharem os momentos de ansiedade e de alegria vivenciados em Jaboticabal;

A todos aqueles que torceram por mim, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse treinamento.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMO.....	xv
SUMMARY.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância do feijão-caupi.....	3
2.2 Melhoramento genético do feijão-caupi.....	5
2.3 Interação genótipo x ambiente.....	6
2.4 Adaptabilidade e estabilidade.....	8
2.4.1 Adaptabilidade e estabilidade produtiva em feijão-caupi.....	11
2.4.2 Comparação entre metodologias que avaliam a adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi.....	16
2.5 Características de qualidade tecnológica.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Material genético.....	23
3.2 Ambientes de avaliação.....	24
3.3 Instalação e manejo experimental.....	25
3.4 Características avaliadas.....	26
3.5 Análises de variância individual e conjunta.....	28
3.6 Análises de comparação das médias.....	28
3.7 Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	28
a) Metodologia de Theil (1950).....	29
b) Metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998).....	30

c) Modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI) (ZOBEL et al., 1988).....	31
3.7.1 Comparação entre metodologias.....	34
3.8 Análise estatística das características de qualidade tecnológica.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Análises de resíduos.....	36
4.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade.....	36
4.2.1 Metodologia de Theil (1950).....	37
4.2.2 Metodologia de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998).....	39
4.2.3 Metodologia AMMI.....	42
4.2.4 Comparação entre metodologias.....	49
4.3 Análise das características de qualidade tecnológica.....	51
5. CONCLUSÕES.....	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
7. APÊNDICES.....	80

	LISTA DE TABELAS	Página
Tabela 1.	Relação dos genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, com suas genealogias e subclasse comercial, avaliados na região Meio-Norte do Brasil, em condições de sequeiro, nas safras 2010 e 2011.....	23
Tabela 2.	Descrição dos ambientes em que foram conduzidos os ensaios de com 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, em condições de sequeiro, na região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010 e 2011.....	24
Tabela 3.	Dados de coordenadas geográficas, tipos de solo e biomas dos locais de condução dos ensaios de genótipos de feijão-caupi, porte ereto/semiereto, na região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010 e 2011.....	24
Tabela 4.	Resumo das análises de variância individuais para a produtividade de grãos, obtido a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi ereto/semiereto em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010 e 2011.....	36
Tabela 5.	Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Theil (1950)..	38
Tabela 6.	Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg ha^{-1}) dos 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), nas safras de 2010 e 2011.....	39
Tabela 7.	Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e estimativas dos parâmetros (P_i geral), (P_i favoráveis) e (P_i desfavoráveis) de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), nas safras 2010 e 2011.....	40
Tabela 8.	Médias gerais, máximas, mínimas e índices ambientais referentes a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), nas safras 2010 e 2011.....	41

Tabela 9.	Resumo da análise de variância conjunta para o caráter produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, nas safras de 2010 e 2011.....	42
Tabela 10.	Resumo da análise de componentes principais da interação genótipos x ambientes para produtividade de grãos.....	43
Tabela 11.	Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia AMMI.....	45
Tabela 12.	Médias preditas para a característica produtividade de grãos (kg ha^{-1}) pelo modelo AMMI1, considerando apenas o primeiro eixo (CPI1) obtido a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nas safras de 2010 a 2011.....	48
Tabela 13.	Classificação genotípica, segundo as metodologias de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), Theil (1950) e AMMI utilizadas na caracterização da adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro.....	49
Tabela 14.	Estimativas do coeficiente de correlação de Spearman para cada par de métodos e produtividade de grãos (kg ha^{-1}), obtidos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010-2011.....	50
Tabela 15.	Resumo da análise de variância individual e conjunta para proteína bruta e tempo de cozimento de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.....	52
Tabela 16.	Resumo da análise de variância individual e conjunta para relação de hidratação e grãos de casca dura de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.....	53
Tabela 17.	Médias da característica teor de proteína bruta de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR11) e Balsas/MA (BA11), em condições de sequeiro na safra de 2011.....	54
Tabela 18.	Médias da característica tempo de cozimento de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados nos municípios	

de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR11) e Balsas/MA (BA11), em condições de sequeiro na safra de 2011.....	56
Tabela 19. Médias da característica relação de hidratação de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.....	58
Tabela 20. Médias da característica percentual de grãos de casca dura em 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus (BJ) – PI, São Raimundo das Mangabeiras (SR)- MA e Balsas (BA) - MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.....	60
Tabela 21. Regressão entre tempo e a quantidade de água absorvida pelos grãos para obtenção do tempo para máxima hidratação (TMH) de 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliados no município de Bom Jesus/PI, em condições de sequeiro na safra de 2011.....	61
Tabela 22. Regressão entre tempo e a quantidade de água absorvida pelos grãos para obtenção do tempo para máxima hidratação (TMH) de 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliados no município de São Raimundo das Mangabeiras/MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.	62
Tabela 23. Regressão entre tempo e a quantidade de água absorvida pelos grãos para obtenção do tempo para máxima hidratação (TMH) de 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliadas no município de Balsas/MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.....	62
Tabela 24. Coeficientes de correlação entre as características relação de hidratação (RH) percentual de grãos de casca dura (GD), teor de proteína bruta (PB), tempo de cozimento (TC) e produtividade de grãos (PG) de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.....	63

LISTA DE FIGURAS

Página

- FIGURA 1.** Biplot AMMI1 para dados de produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nos anos agrícolas de 2010 e 2011. Genótipos: G1 = MNC02-675F-4-9, G2 = MNC02-675F-4-2, G3 = MNC02-675F-9-2, G4 = MNC02-675F-9-3, G5=MNC02-676F-3, G6=MNC02-682F-2-6, G7=MNC02-683F-1, G8=MNC02-684F-5-6, G9=MNC02-725F-3, G10 = MNC02-736F-7, G11 = MNC02-737F-5-1, G12 = MNC02-737F-5-4, G13 = MNC02-737F-5-9, G14 = MNC02-737F-5-10, G15 = MNC02-737F-5-11, G16 = MNC02-737F-11, G17 = BRS Tumucumaque, G18 = BRS Cauamé, G19 = BRS Guariba e G20 = BRS Itaim. Ambientes: TE10 = Teresina-PI 2010, BJ10 = Bom Jesus-PI 2010, BJ11 = Bom Jesus-PI 2011, SR10 = São Raimundo das Mangabeiras-MA 2010, SR11 = São Raimundo das Mangabeiras-MA 2011, BA10 = Balsas-MA 2010, BA11 = Balsas-MA 2011, BU10 = Buriti-MA 2010, SJ11 = São João do Piauí-PI 2011 e CG11 = Campo Grande do Piauí-PI 2011. MT = Média das testemunhas.....

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA E CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI NA REGIÃO MEIO-NORTE DO BRASIL

RESUMO – Este trabalho teve como objetivos: estudar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva, comparar metodologias de estudo de adaptabilidade e estabilidade e avaliar características de qualidade tecnológica de genótipos de feijão-caupi de portes ereto e semiereto, na região Meio-Norte do Brasil. Um grupo de 20 genótipos foi avaliado em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições, em dez ambientes representativos de quatro biomas da região. A adaptabilidade e a estabilidade produtiva foram avaliadas pelos métodos de Theil, Lin e Binns modificado por Carneiro e AMMI. As análises de qualidade tecnológica contemplaram as seguintes características: teor de proteína bruta, tempo de cozimento, capacidade de hidratação, tempo para máxima hidratação e porcentagem de grãos de casca dura. De acordo com a metodologia de Theil, todos os genótipos apresentaram adaptação geral aos ambientes avaliados, sendo mais previsível o genótipo MNC02-675F-4-9. Pela metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro, MNC02-676F-3 foi o genótipo que apresentou maior adaptabilidade e estabilidade aos ambientes testados, respondendo melhor àqueles com maior adoção de tecnologias. Pelo método AMMI, a cultivar BRS Tumucumaque foi a que reuniu mais genes para adaptabilidade e estabilidade aos ambientes da região Meio-Norte do Brasil. Os métodos de Lin e Binns modificada por Carneiro e Theil não devem ser usadas simultaneamente e a metodologia AMMI pode ser usada como complemento às demais metodologias; esta permitiu identificar, no conjunto de dados avaliados, com mais facilidade e precisão, genótipos e ambientes superiores em adaptabilidade e estabilidade. Todos os genótipos de feijão-caupi apresentaram bom desempenho tecnológico, destacando-se a cultivar BRS Tumucumaque no ambiente Bom Jesus-PI quanto à capacidade de hidratação. A seleção para aumento da capacidade de hidratação e diminuição da porcentagem de grãos de casca dura pode levar a perdas no teor de proteína dos grãos no grupo de genótipos avaliados.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, adaptação, previsibilidade, comparação de métodos, tempo de cozimento, capacidade de hidratação.

YIELD ADAPTABILITY AND STABILITY AND TECHNOLOGICAL ANALYZES OF COWPEA GENOTYPES IN MID-NORTH REGION OF BRAZIL

SUMMARY– This work aimed to study yield adaptability and stability, to compare adaptability and stability method and technological characteristics of cowpea genotypes in several biomes of the Mid-North region of Brazil. Twenty cowpea genotypes were evaluated in randomized complete block design with four replications in ten environments representing four biomes from region. Grain yield adaptability and stability were assessed by Theil, Lin and Binns modified by Carneiro and AMMI methodology. Technological analyzes included the following characteristics: crude protein content, cooking time, hydration capacity, time of maximum hydration, and hard grains percentage. According to Theil method, all genotypes showed high adaptability to all environments studied, being more predictable the MNC02-676F-4-9 genotype. Lin and Binns modified by Carneiro methodology identified the MNC02-676F-3 genotype as the more stable and adapted to environments tested, responding better to those with greater adoption of technologies. By AMMI method, BRS Tumucumaque cultivar gathered more genes for adaptability and stability to the environments of the Mid-North Region of Brazil. Lin and Binns modified by Carneiro and Theil methodologies mustn't be used simultaneously and AMMI can be used as a complement to the others two methodologies. The AMMI methodology allows identifying, in the set of evaluated data, with more facility and accuracy superiors genotypes and environments in adaptability and stability. All cowpea genotypes presented a good technological performance. BRS Tumucumaque cultivar highlighted in the environment Bom Jesus-PI to hydration capacity. Selection to increase the hydration capacity and decrease the hard grains percentage can lead to losses in the protein content in the group of genotypes evaluated.

Keywords: *Vigna unguiculata*, adaptability, predictability, comparison of methods, cooking time, hydration capacity.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) foi introduzido no Brasil a partir da Bahia de onde foi disperso para o restante do País. Entretanto, apenas nas regiões Nordeste e parte da região Norte seu consumo foi culturalmente incorporado ao cardápio alimentar das populações. Na Região Meio-Norte do Brasil, 100% do feijão produzido é da espécie *Vigna Unguiculata*, com sistema de produção predominantemente, da agricultura familiar, contudo, com uma crescente produção nos cerrados. O intenso trabalho de melhoramento genético dessa cultura, especialmente no que tange o incremento de produtividade, resistência a doenças e melhoria da arquitetura da planta, aliado ao aumento da demanda do produto, principalmente pelos consumidores do Sul e Sudeste, levou à inserção do feijão-caupi no agronegócio brasileiro, como alternativa para cultivo de safrinha nos cerrados (FREIRE FILHO et al., 2011).

Apenas na região Meio-Norte do Brasil, em 2011, a área colhida de feijão-caupi foi de aproximadamente 327 mil ha, o que rendeu aproximadamente R\$ 218 milhões. Como a produção é de sequeiro e o regime climático do Nordeste é oscilante a área colhida em 2012 foi de apenas 241.817 ha (LSPA, 2012).

A consolidação da produção depende da identificação de genótipos de comportamento previsíveis e responsivos as variações ambientais, portanto, torna-se útil o conhecimento das estimativas de parâmetros adaptabilidade e estabilidade. Diversos estudos de adaptabilidade e estabilidade têm sido realizados para a cultura do feijão-caupi, sendo que por muito tempo, a metodologia Eberhart e Russell (1966) foi a mais utilizada para avaliar o comportamento de genótipos em diferentes ambientes. Quanto aos métodos não paramétricos, foram descritos estudos em feijão-caupi que utilizaram as metodologia de Lin e Binns (1988) e Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), sendo que ultimamente também utilizada análise multivariada, notadamente o método AMMI.

Assim como é importante o desenvolvimento de cultivares adaptados aos diversos biomas e condições edafoclimáticas de um país continental como o Brasil, também é necessário que essas cultivares apresentem características tecnológicas que sejam aceitas pelo mercado consumidor, cada vez mais exigente.

Apesar dos avanços no melhoramento de feijão-caupi serem incontestáveis, há muito ainda o que fazer, pois são questões a serem resolvidas: desenvolvimento de cultivares com alto desempenho produtivo, arquitetura de planta que permita o cultivo totalmente mecanizado e uma maior população de plantas por hectare, além das características que são demandadas pelo mercado consumidor, tais como: baixo percentual de grãos duros, elevada relação de hidratação e pouco tempo de cozimento.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva, comparar metodologias de adaptabilidade e estabilidade e avaliar as características de qualidade tecnológica em genótipos de feijão-caupi de portes ereto e semiereto, em diversos biomas da região Meio-Norte do Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância do feijão-caupi

O feijão-caupi é de origem africana e foi introduzido na América Latina, no século XVI pelos colonizadores espanhóis e portugueses. A sua entrada inicial no Brasil ocorreu provavelmente no estado da Bahia, se expandindo, principalmente para outros estados do Nordeste e todo o país (FREIRE FILHO et al., 2011).

Em razão da grande variabilidade genética da espécie ocorreram dificuldades na classificação botânica da espécie doméstica. Assim, atualmente a classificação mais aceita é que essa leguminosa pertence à classe Dicotyledonea, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, seção *Catyang* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata* (PADULOSI; NG, 1997).

O feijão-caupi possui vários nomes populares dependendo da região. É mais conhecido como feijão-de-corda, e feijão macássa ou macáçar na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-de-estrada e feijão-da-colônia na região Norte; e na região Sul, feijão miúdo. Ainda se pode encontrar denominações como feijão-catador e feijão-gurutuba em algumas regiões do Estado da Bahia e norte de Minas Gerais, assim como, feijão fradinho nos Estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2011).

Outra forma de reconhecimento do feijão-caupi é pelo aspecto morfológico dos grãos, os chamados tipos comerciais de grãos. Segundo Freire Filho et al. (2011) a necessidade de caracterização e classificação dos grãos de feijão-caupi quanto a cor, forma, tamanho do grão e quanto ao anel do hilo e halo vem sendo percebida há anos, não somente pela necessidade de descritores mas também para fins comerciais. Atualmente essa necessidade é ainda maior, já que a cultura encontra-se em expansão tanto no mercado interno como externo.

O feijão-caupi é uma planta herbácea, autógama e anual bem adaptada e versátil apresentando-se como componente fundamental dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos. Nos locais com clima quente-úmido é inerentemente mais tolerante à seca do que outras culturas, mas sofre ainda considerável perda de rendimento, devido à ocorrência de chuvas irregulares no início e no final da estação

chuvosa. Cultivares com maturação precoce pode escapar da seca terminal, mas se forem expostos a estresse hídrico intermitente durante o crescimento, seus rendimentos serão baixos (SINGH, 2007).

Há registros que o feijão-caupi é cultivado em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia, América, Europa e Oceania, abrangendo 97 países. Contudo, a Food and Agricultural Organization, só registra a produção em 35 países, deixando de fora inclusive o Brasil, terceiro produtor mundial (FAOSTAT, 2012).

Segundo Freire Filho et al. (2011), a produção mundial em 2009 foi de 5.773.461 t, com uma produtividade média mundial de 501,5 kg ha⁻¹. Os maiores produtores mundiais são historicamente, a Nigéria, o Niger e o Brasil.

No Brasil, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste (1,2 milhão de hectares) e Norte (55,8 mil hectares) do país, no entanto, a cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, viabilizado pelo desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. O feijão-caupi contribui com 35,6 % da área plantada e 15 % da produção de feijão total (feijão-caupi + feijão-comum) no país (DAMASCENO-SILVA, 2009)

Em relação à região Nordeste, Freire Filho et al. (2011) fizeram um levantamento da produção no período de 2005 a 2009, que apontou como principais produtores os estados do Ceará (122.706 t), Pernambuco (54.252 t) e Piauí (56.090 t). Os dados do levantamento sistemático da produção agrícola - LSPA (2011) confirmam essa tendência, sendo que Ceará, Pernambuco e Piauí foram responsáveis por 31%, 15% e 12%, respectivamente, da produção regional.

Na região Meio-Norte do Brasil, o feijão-caupi é cultivado, praticamente, em toda a região, porém, existem áreas de concentração que as caracterizam como tradicionais produtoras e áreas potencialmente estratégicas, como a expansão da fronteira do Sudoeste Piauiense e especialmente, o Sul do Maranhão (FROTA; PEREIRA, 2000). Informações do LSPA (2012) demonstraram que os Estados do Piauí e Maranhão tiveram uma área colhida de 241.817 ha; produção de 61.318 t e produtividade média de 291 kg ha⁻¹.

A análise econômica da cultura no período de 2005 a 2009 considerando que cada hectare forneça em torno de 0,8 emprego/ano, que o consumo *per capita* seja de 18,21 kg/pessoa/ano e ainda o preço mínimo da saca de 60 kg a R\$ 80,00

(HETZEL, 2009), estimou-se que o feijão-caupi tenha gerado em média, 1.113.109 empregos por ano, produzindo suprimentos alimentares para 28.205.327 milhões de pessoas, gerando um rendimento anual de R\$ 684.825.333 (FREIRE FILHO et al., 2011).

Além da importância socioeconômica, como fonte geradora de emprego e renda, o feijão-caupi também é um dos principais componentes da dieta alimentar das populações dessas regiões, sendo uma das principais culturas de subsistência, em virtude do elevado teor protéico (em média 24,1 %), do teor de ferro ($61,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e do teor de zinco ($44,7 \text{ mg kg}^{-1}$), dessa forma, representa uma cultura de valor estratégico e atual (FREIRE FILHO et al., 2005a).

2.2. Melhoramento genético do feijão-caupi

No Brasil o melhoramento genético do feijão-caupi foi iniciado em 1977, por meio de convênio entre a Embrapa e o International Institute of Tropical Agriculture (IITA), sendo que em 1991 ele foi transferido para a Embrapa Meio-Norte onde está até o presente. Inicialmente o programa visou aumento de produtividade, em seguida, resistência a doenças causadas por vírus e posteriormente a arquitetura da planta, a qualidade do grão e adaptação às condições de cerrado. Atualmente o feijão-caupi já alcançou produtores empresariais, com lavouras mecanizadas, está chegando a grandes polos produtores e grandes centros consumidores do Centro-Oeste, Sudeste e exterior, fazendo surgir novas demandas e objetivos no melhoramento genético da espécie (FREIRE FILHO et al., 2011).

Dessa forma, em curto prazo, o programa objetiva: desenvolver cultivares de porte semiprostrado, com arquitetura moderna, adequadas à agricultura familiar, onde a colheita é realizada manualmente; desenvolver cultivares de porte ereto e semiereto com arquitetura moderna, adequadas ao cultivo totalmente mecanizado para agricultura empresarial; aumentar a produtividade e a adaptabilidade e estabilidade da produção; aumentar a resistência a pragas e doenças; aumentar a resistência a altas temperaturas e estresses hídricos; aumentar os teores de proteínas, ferro, zinco e fibra alimentar digestível dos grãos; melhorar a qualidade visual e culinária dos grãos e desenvolver cultivares adaptadas a todas as regiões do país. Em médio prazo, o programa se propõe aumentar o potencial simbiótico da

espécie, desenvolver cultivares próprias ao processamento, superprecoces, com características visuais que atendam as exigências do mercado exterior. Finalmente, em longo prazo, desenvolver cultivares com altos teores de proteína, ferro e zinco, além de difundir as cultivares no exterior (FREIRE FILHO et al., 2011).

Possivelmente, em virtude de o feijão-caupi ter sua produção concentrada em áreas com alto índice de incidência de secas, a produtividade, associada à adaptabilidade e à estabilidade de rendimento, tem recebido bastante atenção por parte dos programas de melhoramento (BARROS, 2012).

2.3. Interação genótipo x ambiente

O ambiente constitui todos os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas que não são de origem genética. Desta forma as alterações nas performances dos genótipos, em razão das condições ambientais, denomina-se interação genótipo x ambiente (G x A).

A avaliação de genótipos em diferentes anos e localidades, com relação à maioria das características agrônômicas, frequentemente evidencia interações genótipo x local, genótipo x ano e genótipo x local x ano (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Mano (2009) afirmou que a análise da interação genótipo x locais objetiva, principalmente, avaliar o comportamento dos genótipos frente aos fatores previsíveis micro (dentro de locais) e macroambientais (entre locais) no espaço. Lopes et al. (2006) encontraram interações genótipo x locais altamente significativas durante avaliação de genótipos de feijão-caupi realizada no estado do Pará envolvendo diversos ambientes. Entretanto, a existência da interação G x A indica a necessidade do desenvolvimento de cultivares específicas de feijão-caupi para determinadas regiões e condições de cultivo.

O efeito de anos é caracterizado como um fator imprevisível. A avaliação das interações genótipos x anos é de extrema importância, pois fornece informações sobre a previsibilidade do comportamento dos genótipos frente aos fatores ambientais, no tempo. Sampaio et al. (2009) avaliando o efeito das interações ano x genótipo, identificaram linhagens do tipo semi-ereto que apresentaram produtividades médias mais estáveis que as do tipo ereto de um ano para o outro.

Nesse sentido, Vencovsky e Torres (1988) afirmaram que para o produtor é melhor que uma cultivar seja estável ao longo dos anos.

Segundo Elias et al. (2007) a interação $G \times A$ é um desafio tanto para a indicação de cultivares, quanto para os programas de melhoramento genético, pois resulta em estimativas viesadas dos parâmetros genéticos, e sendo a seleção realizada com base em médias de vários ambientes, não se tem certeza da seleção indicar os genótipos superiores em cada ambiente. Neste sentido, há duas estratégias básicas para reduzir os efeitos da interação $G \times A$: 1) identificação de cultivares específicos para cada ambiente, o que geralmente é inviável devido ao custo e 2) obtenção de genótipos com baixa interação $G \times A$.

É importante compreender a natureza da interação $G \times A$, a fim de ser capaz de conceber estratégias eficientes para testar e seleção de genótipos superiores. Vários métodos têm sido utilizados para estudar a interação $G \times A$ com o objetivo de resumir ou descrever respostas dos genótipos em multi-ensaios (AKANDE; BALOGUN, 2009).

A estratificação do ambiente em sub-regiões mais homogêneas facilita a seleção de genótipos mais estáveis, mas a interação $G \times A$ pode continuar significativa devido ao efeito de ano. Assim, mesmo após a estratificação dos ambientes, há necessidade de identificar cultivares de alta estabilidade ou previsibilidade fenotípica (AKANDE; BALOGUN, 2009).

Rocha et al. (2007) avaliando genótipos de feijão-caupi sob cultivo de sequeiro em 16 ambientes (combinação de local e ano) detectaram efeitos de genótipos, de ambientes e da interação $G \times A$ significativos.

Freire Filho et al. (2002, 2005b) avaliando genótipos de feijão-caupi de porte prostrado também encontraram diferenças para ambientes e interação $G \times A$, no entanto, não detectaram diferenças para genótipos. Segundo estes autores, o efeito de ambiente foi responsável pela maior parte da variação, seguido dos efeitos de genótipo e da interação $G \times A$.

Akande (2007), estudando a interação $G \times A$ para a produtividade de grãos de oito cultivares de feijão-caupi no sudoeste africano, encontrou diferenças significativas para ambientes, genótipos e para a interação $G \times A$. Shiringani e Shimelis (2011), estudando 10 linhagens de feijão-caupi, cultivadas em três locais da

África do Sul e três épocas de semeaduras obtiveram como resultado para produção de grãos interação significativa para genótipo x local x época de plantio. Segundo esses autores, a interação significativa sugeriu que o teste dos genótipos selecionados sob esses ambientes foram importantes para comparações genotípicas e para determinar a estabilidade média de cada genótipo.

Um estudo envolvendo genótipos de feijão-caupi de porte ereto mostrou haver diferenças significativas em relação aos efeitos de genótipos, ambientes e interação G x A, indicando que a classificação dos genótipos não foi coincidente nos locais de avaliação (CARVALHO et al., 2006).

Barros (2012) avaliou 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil e encontrou diferenças significativas para os efeitos de ambiente, genótipo e interação G x A para a produtividade de grãos, o que segundo o autor, demonstra que os genótipos apresentaram comportamento diferencial em decorrência das diferenças ambientais observadas na região.

2.4. Adaptabilidade e estabilidade

A interação G x A, apesar de ser de grande importância para o melhoramento, não fornece informações pormenorizadas sobre comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. Portanto, torna-se útil o conhecimento das estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, as quais possibilitam a identificação de genótipos de comportamentos previsíveis e responsivos às variações ambientais (BURATTO et al., 2007).

Existem diversos conceitos para adaptabilidade e estabilidade, entretanto, entende-se mais usualmente, como sendo o primeiro à capacidade do genótipo em responder vantajosamente à melhoria do ambiente, e o segundo, a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento previsível em função das variações ambientais (CRUZ; CARNEIRO, 2006). A integração da estabilidade com a produtividade de grão é importante quando a finalidade é selecionar genótipos com ampla adaptabilidade e alta estabilidade (AREMU et al., 2008). Na prática, a busca de cultivares de alta previsibilidade e adaptabilidade tem sido a alternativa mais utilizada (ELIAS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006).

De acordo com Duarte e Zimmermann (1995) é preciso dispor de metodologias estatísticas adequadas para se estimar e explorar a interação $G \times A$, permitindo assim recomendações regionalizadas. As estimações da adaptabilidade e da estabilidade fenotípica podem ser feitas através do nível de resposta ao estímulo ambiental e da previsibilidade, isto é, a manutenção da produtividade perante ambientes diversos (MAIA et al., 2006).

As metodologias para estudo da adaptabilidade e estabilidade diferem quanto aos conceitos associados aos parâmetros estimados, procedimentos biométricos adotados, exigências para utilização e quanto ao número de parâmetros a serem interpretados. De forma que todas as metodologias apresentam vantagens e limitações (ELIAS et al., 2007).

Segundo Cruz e Carneiro (2006) as metodologias utilizadas podem ser paramétricas ou não paramétricas, sendo que as paramétricas mais usuais são as baseadas em regressão linear como, por exemplo, a de Eberhart e Russel (1966), que utiliza na determinação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade o uso do índice ambiental, que se refere a diferença entre a média do todos os genótipos avaliados em cada local e a média geral, o coeficiente de regressão linear (β), que mede a adaptabilidade do genótipos e a variância dos desvios da regressão (S^2_d), que mede a estabilidade. Na prática esse método demonstra que quanto menor os desvios da regressão linear maior a estabilidade.

Segundo Nascimento et al. (2010) as metodologias baseadas em análise de regressão não leva em consideração a existência de pontos de extremos. Isto ocorre nas situações que os genótipos têm respostas variadas a determinados ambientes, o que contribui para estimativas inadequadas, que não refletem a verdadeira relação existente entre a variação ambiental e a resposta genotípica. Modelos de regressão por serem aditivos, podem não descreverem satisfatoriamente o comportamento dos genótipos nos ambientes (YAU, 1995) e depende do grau de influência dos efeitos ambientais sobre os genótipos (ROCHA, 2002), pois explica muito pouco da heterogeneidade da regressão e pode falhar nos casos em que ocorre grande diversidade ambiental (CROSSA, 1990).

Em relação aos métodos não paramétricos, a metodologia mais usual é a proposta por Lin e Binns (1988), sendo que o desempenho dos genótipos é

quantificada pelo índice de estabilidade P_i , que corresponde ao quadrado médio da distância entre a média de um genótipo para um dado ambiente e a resposta máxima para o mesmo ambiente, em todos os ambientes avaliados. Dessa forma, o menor quadrado médio indica uma superioridade geral do genótipo em questão, pois quanto menor o valor de P_i , menor será o desvio em torno da resposta máxima; assim, maior estabilidade está relacionada, obrigatoriamente, com alta produtividade (BORÉM; MIRANDA, 2005). Posteriormente, Carneiro (1998) propôs a decomposição de P_i em P_{if} e P_{id} , respectivamente, recomendações específicas para ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Mano (2009) utilizando o método de Lin e Binns (1988), afirmou que a estabilidade de comportamento é uma característica varietal que representa o rendimento *per se* de cada genótipo e não deve ser confundida com a estabilidade fenotípica, que é capacidade dos genótipos apresentarem pequenas variações no seu comportamento geral, quando submetidos a diferentes ambientes. Segundo o autor, a estatística P_i é eficiente por que classifica os genótipos quanto a adaptabilidade, estabilidade de comportamento e estabilidade fenotípica.

Nos últimos anos têm sido utilizado o modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI), que combina a análise de variância dos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação $G \times A$.

Nesse modelo, a Soma de Quadrados da interação $G \times A$ ($SQG \times A$) é decomposta pela análise de componentes principais (ACP) e o primeiro componente principal da interação (CPI1) é superior à análise de regressão linear em explicar a interação $G \times A$. A análise também é eficiente em recuperar o padrão (variação diretamente relacionada ao fenômeno da interação $G \times A$ e de interesse agrônômico) e descartar o ruído (variação aleatória não relacionada ao fenômeno da interação $G \times A$, resultante, principalmente, de efeitos microambientais) presente na $SQG \times A$. Por esta abordagem, somente o padrão é incluído no modelo, por reter apenas os CPIs significativos em seu termo multiplicativo (ZOBEL et al., 1988; ANNICCHIARICO, 1997).

Segundo Duarte e Vencovsky (1999), o número ótimo de CPI a ser retido no modelo AMMI ou o melhor modelo da família AMMI ($AMMI_0$, $AMMI_1$, $AMMI_2$, ...,

AMMI) pode ser determinado por duas abordagens: preditiva e *posdictive*. Na abordagem preditiva, a técnica mais usada é a validação cruzada (os dados originais de repetições são divididos em dados de modelagem e os dados de validação que são analisados, paralelamente, várias vezes, para cada modelo da família AMMI por reamostragem aleatória dos dados de repetições, que são então comparados tomando-se por base a diferença preditiva média (DPM). O modelo mais preditivo e parcimonioso é aquele com menor DPM. Na abordagem *posdictive* utiliza-se de um teste de hipótese para avaliar as significâncias dos CPI ou seus resíduos (resíduo AMMI). O teste F de Gollob (1968) é o mais adotado, por ser de fácil análise.

A presença significativa de ruídos dentro da SQG x A pode ser atribuída à influência de fatores aleatórios (NACHIT et al., 1992), mas também decorrente da grande variabilidade ambiental, o que contribui para diminuir o padrão adjacente à interação G x A nos primeiros eixos da ACP. Segundo Annicchiarico (1997), ambientes localizados em regiões tropicais são mais propensos à ocorrência de estresses ambientais.

Segundo Freire Filho et al. (2003) a irregularidade pluviométrica, pode ser um dos principais fatores em termos de estresse ambiental. Isto pode determinar a ocorrência de ambientes contrastantes, gerar uma grande variação quanto a ambientes e contribuir para aumentar a variação não explicável (ruído) em detrimento da variação diretamente relacionada à interação G x A, ocorrência de ambientes contrastantes, gerar uma grande variação quanto a ambientes e contribuir para aumentar a variação não explicável (ruído) em detrimento da variação diretamente relacionada à interação G x A (padrão).

2.4.1 Adaptabilidade e estabilidade produtiva em feijão-caupi

Diversos estudos de adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos têm sido realizados em feijão-caupi, sendo que a metodologia mais utilizada foi por muito tempo, a proposta de Eberhart e Russel (1966), sendo encontrados diversos relatos na literatura como: Aremu et al. (2007), Santos et al. (2008), Mano (2009), Sarvamangala et al. (2010) e Nunes (2012).

Quanto aos métodos não paramétricos, foram descritos estudos para feijão-caupi que utilizaram a metodologia de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), a

saber: Rocha et al. (2009 a, b, c), Mano (2009), Adewale et al. (2010), Shiringani e Shimelis (2011) e Nunes (2012).

Um estudo de adaptabilidade e estabilidade de 18 genótipos feijão-caupi de porte ereto realizado na região nordeste do Brasil, utilizando a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), concluiu que a linhagem MNC99-54 1F-5 responde melhor a ambientes favoráveis enquanto que a linhagem MNC99-537F-4 pode ser indicada para ambientes desfavoráveis. Através desse estudo, recomendou-se a linhagem MNC99-537F-1 e a cultivar BRS Guariba para plantio em todos os ambientes da região Nordeste nas quais foram testadas. Uma outra avaliação com os mesmos genótipos de feijão-caupi, desta vez, na região Norte do Brasil, permitiu concluir que as linhagens MNC99-537F-4 e MNC99-537F-1 podem ser recomendadas para plantio em todos os ambientes nas quais foram testadas e que a linhagem MNC99-54 1F-5 é mais indicada para ambientes desfavoráveis (ROCHA et al., 2009 a, b).

Rocha et al. (2009c) estudando a adaptabilidade e estabilidade de 19 genótipos feijão-caupi de porte semi-prostrado em sete estados da região Nordeste, utilizaram a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) e concluíram que as linhagens MNC99-510F-16-1 e MNC99-510F-16-3 poderiam ser indicadas para ambientes desfavoráveis. Através desse estudo, recomendaram-se as linhagens MNC01-631F-11 e MNC01-649E-2 para todos os ambientes da região Nordeste nas quais foram testadas.

Uma avaliação da adaptabilidade e estabilidade fenotípica da produtividade de grãos de 15 genótipos de feijão-caupi em cinco municípios do Ceará, utilizando o método de Lin e Binns (1988), destacaram cinco genótipos, sendo eles: Inhuma, BR 17- Gurguéia, BRS Marataoã, BRS Paraguaçu e Sempre Verde-CE. Os genótipos Lisão e Frade Preto apresentaram à mesma classificação quanto aos Pi's favoráveis e desfavoráveis indicando que o genótipo Lisão apresentou pouca resposta à melhoria ambiental e boa resposta às condições desfavoráveis; enquanto o genótipo Frade Preto apresentou boa resposta à melhoria ambiental e pouca resposta às condições desfavoráveis (MANO, 2009)

Na Nigéria foram avaliados onze genótipos de feijão-caupi, por meio da metodologia de Lin e Binns (1988), durante dois anos e em dois locais os autores

concluíram que o índice de superioridade (P_i) apresentou valores correspondentes entre o rendimento médio e os três componentes avaliados, demonstrando que o P_i associa produtividade e estabilidade em sua caracterização (ADEWALE et al., 2010)

Shiringani e Shimelis (2011) estudaram a adaptabilidade e a estabilidade de 10 genótipos de feijão-caupi, em três locais da África do Sul e em três épocas de semeadura, por meio da metodologia de Lin e Binns (1988). Os genótipos Pan311, CH14 e IT18E-16 apresentaram as maiores produtividades médias e também foram os mais adaptados e estáveis, sendo recomendados para o cultivo nos locais avaliados e/ou ambientes semelhantes.

A adaptabilidade e a estabilidade produtiva de vinte genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho foram avaliadas em condições de sequeiro, em sete ambientes, segundo o método de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) e identificou que a Linhagem MNC04-783B-7-3 como a mais adaptada e estável em ambientes favoráveis e desfavoráveis (NUNES, 2012)

Nascimento et al. (2010) afirmaram que as metodologias de Lin e Binns (1988) e Carneiro (1998), de avaliação da performance genotípica com base em medidas não paramétricas, também podem ocasionar resultados impróprios na presença de pontos discrepantes, pois o valor dos parâmetros pode ser inflacionado e provocar classificação incorreta do genótipo quanto a adaptabilidade e estabilidade.

A metodologia de Theil (1950) mostrou-se apropriada quando existem pontos extremos, em razão de o estimador de interesse via regressão não paramétrica ser menos sensível a pontos extremos que os estimadores clássicos obtidos pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Isso ocorre porque os estimadores não paramétricos são calculados com o uso de medianas, e os pontos extremos têm influência reduzida na estimação dos parâmetros o que evita a má interpretação do parâmetro de adaptabilidade (SPRENT; SMEETON, 2000).

Um estudo de adaptabilidade e estabilidade produtiva realizado em café utilizou o método proposto por Theil (1950) mostrou redução da influência do ponto extremo na estimação do parâmetro de adaptabilidade e a maior facilidade de análise e interpretação, quando comparado com a metodologia de Lin e Binns (1988) (NASCIMENTO et al., 2010).

Estudos utilizando os métodos multivariados em avaliações de adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi, são reportados na literatura: Freire Filho et al. (2003, 2005b), Asio et al. (2005), Akande (2007), Mano (2009), Rocha et al. (2007 e 2011a). Utilizando a metodologia CGE biplot encontram-se ainda trabalhos de Ojo et al. (2006), Aremu et al. (2008), Akande e Balogun (2009), Oladejo et al. (2011) e Barros (2012). Esses estudos subsidiaram o lançamento e recomendação de cultivares para as condições edafoclimáticas da Região Nordeste.

Freire Filho et al. (2003), investigando o comportamento produtivo referente a adaptabilidade e a estabilidade de 16 genótipos realizaram ensaios em nove ambientes, locais e anos, da região Meio-Norte do Brasil. Os efeitos de ambientes e interação $G \times A$, e os dois primeiros eixos da análise de componentes principais da interação foram significativos ($P < 0,01$). A análise de componentes principais explicou 61,25% da soma de quadrados da interação genótipos $\times$ ambientes. Os genótipos TE93-244-23F e TE93-213-12F-1 foram os que reuniram genes para adaptabilidade e estabilidade, os quais podem ser cultivados em todos os ambientes da região. Os ambientes mais favoráveis para a produtividade de grãos foram Bom Jesus, PI, 2000; Palmeira do Piauí, PI, 2001 e Sambaíba, MA, 2000.

Um estudo de adaptabilidade e a estabilidade da produtividade utilizando a metodologia AMMI envolvendo 15 genótipos avaliados em 13 ambientes, dos estados do Piauí e Maranhão, mostraram a existência de poucas diferenças entre genótipos, mas os efeitos de ambientes, interação $G \times A$ e os três primeiros eixos da análise de componentes principais da interação foram altamente significativos ($P < 0,01$). A análise de componentes principais explicou 72,82% da soma de quadrados da interação. Os genótipos Evx 91-2E e Evx 63-4E podem ser cultivados em todos os ambientes da região Meio-Norte (Piauí e Maranhão). Os ambientes Brejo-MA, 2001 e Bom Jesus-PI, 2000 foram os mais previsíveis. A interação $G \times A$ é variável dentro e homogênea entre os Estados do Piauí e Maranhão em termos de qualidade ambiental (FREIRE FILHO et al., 2005b).

Rocha et al. (2007) estudaram a adaptabilidade e a estabilidade da produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiereto em 16 ambientes da Região Nordeste do Brasil. Os efeitos de genótipos, ambientes e da interação $G \times A$, e os três primeiros eixos da análise de componentes principais

(ACP) foram significativos. Os dois primeiros eixos da ACP explicaram juntos 55,11% da soma de quadrados da interação. As linhagens TE-97-321G-4, EVX-92-49E e EVX-63-10E apresentaram alta adaptabilidade, mas somente a última foi altamente previsível.

Avaliações de 20 genótipos de porte ereto em 16 ambientes da região Meio-Norte do Brasil concluíram que os dois primeiros eixos da análise de componentes principais da interação foram significativos e explicaram 55,11% da soma dos quadrados. No estudo se destacaram os genótipos TE-97-411-1F-16, EVX-92-49E e EVX-63-10E que reúnem adaptabilidade e estabilidade e podem ser cultivadas em todos os ambientes estudados. Os ambientes mais favoráveis para produtividade de grãos foram Bom Jesus 2003, Nossa Senhora das Dores 2003, São Raimundo das Mangabeiras 2003 e Teresina 2002 (ROCHA et al., 2009b).

A adaptabilidade e estabilidade produtiva de 20 genótipos de feijão-caupi foi avaliada por meio da metodologia AMMI em ambientes do semiárido piauiense revelando que os genótipos e ambientes diferiram entre si e houve comportamento diferencial frente as variações ambientais locais. As linhagens melhoradas apresentaram maior produtividade de grãos em relação às cultivares comerciais e estas por sua vez foram melhores que as cultivares tradicionais. O local Assunção do PI foi o mais estável com as variações ambientais e as linhagens MNC01-611F-11, MNC01-614F-15 e MNC01-64E-2 mostraram alta adaptabilidade ao semiárido piauiense. A cultivar Paulistinha e a linhagem MNC01-614F-15 reuniram genes para adaptabilidade e estabilidade ao semiárido piauiense e apresentando potencial, respectivamente, para os mercados do feijão-caupi tipo canapu e mulato. (ROCHA et al., 2011a)

Barros (2012) estudando 20 genótipos de porte prostrado em nove ambientes da região Meio-Norte do Brasil concluiu que apenas o primeiro eixo da análise de componentes principais da interação foi significativa tendo explicado 41,36% da soma dos quadrados da interação. Apresentaram maior estabilidade as linhagens MNC02-680F-12, MNC03-736F-6, MNC03-761F-1 e MNC02-68F-2-8 e as testemunhas BR 17- Xiquexique e Pingo de ouro -1-2. Os ambientes mais favoráveis para produtividade de grãos foram Balsas 2010 e Balsas 2011.

2.4.2. Comparação entre metodologias que avaliam a adaptabilidade e estabilidade em feijão-caupi

A comparação entre metodologias que medem a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, normalmente, é realizada por meio da correlação entre seus parâmetros, pois o estudo das correlações permite verificar similaridades ou divergências quanto ao ordenamento dos genótipos com os ambientes. As correlações mais usuais são as de Spearman e Pearson. Pode-se ainda fazer comparação, considerando o quanto a metodologia explica, em termos proporcionais, da interação $G \times A$. Uma terceira abordagem é em relação à capacidade de melhor caracterizar ou reunir informações dos genótipos e ambientes quanto à adaptabilidade e estabilidade (ROCHA, 2002; MANO, 2009 e NUNES 2012).

A comparação entre as várias metodologias para caracterizar e classificar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica permite selecionar ou recomendar confiavelmente os melhores materiais para os ambientes nos quais esses foram avaliados ou para ambientes com condições semelhantes aos dos testes, pois quando o ordenamento genotípico se repete segundo diferentes metodologias esse é mais consistente e seguro (MANO, 2009).

Estudando as relações entre os métodos descritos por Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988), Wricke (1965), Huehn (1990) e a soma de rank de Kang e Pham (1991), em 10 genótipos de feijão-caupi, concluiu-se que os métodos de Lin e Binns (1988), Wricke (1965) apresentaram uma forte correlação ($r_s = 0,76$) (AREMU et al., 2007).

Mano (2009), avaliando genótipos de feijão-caupi no Estado do Ceará fez associações entre os parâmetros das metodologias de Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), Cruz et al. (1989) e AMMI (GAUCH; ZOBEL, 1996), por meio da correlação de Spearman. O autor concluiu que as diferentes metodologias classificaram praticamente de forma similar os genótipos, como o genótipo Inhuma que foi o primeiro em termos de estabilidade em três metodologias e o segundo na metodologia AMMI2, reforçando a sua previsibilidade além de ter sido o genótipo mais produtivo.

Uma comparação entre as metodologias de Whick (1965) e Lin e Binns (1988) foi realizada por Adewale et al. (2010), na qual avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de 11 genótipos de feijão-caupi na Nigéria e concluíram que os genótipos foram classificados de maneira diferente, com relação aos parâmetros de produtividade máxima e ecovalência.

Nunes (2012), estudando a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi tipo fradinho fez a comparação entre diversas metodologias e concluiu que as metodologias de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) e Cruz et al. (1989) não devem ser utilizadas simultaneamente. A regressão linear de Eberhart e Russell (1966) pode ser utilizada em complementaridade com as outras metodologias.

2.5. Características de qualidade tecnológica

Segundo Carbonell et al. (2003), é muito importante a qualidade tecnológica do produto (grão) comercializado, que chegará ao consumidor final. Desse modo, dentro de um programa de melhoramento, visando ao processo de aceitação da nova cultivar, deve-se observar a importância da seleção de genótipos que apresentem características tecnológicas desejáveis.

Gradativamente, as atividades de pesquisa procuram promover a divulgação de cultivares com características tecnológicas dos grãos de acordo com a preferência do mercado consumidor, como menor tempo para cozimento, tamanho, formato e coloração do tegumento desejáveis, capacidade de hidratação, menor presença de grãos de casca dura e melhor qualidade nutricional (FARINELLI; LEMOS, 2010).

Algumas características como tempo de cozimento são inclusive, requeridas para o registro de cultivares. Segundo Rodrigues et al. (2005a), a avaliação do tempo de cozimento é exigida para a inscrição de nova cultivar de feijão junto ao Registro Nacional de Cultivares (RNC), do Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento.

De acordo com Dalla Corte et al. (2003), a qualidade dos grãos para o cozimento é afetada por fatores climáticos, práticas de cultivo, beneficiamento pós-colheita e condições de armazenamento. Assim, a influência do ambiente que atua

no desenvolvimento da semente durante o cultivo da planta contribui para a ocorrência de interação genótipo x ambiente nas características culinárias do feijão (CARBONELL et al., 2003).

O valor nutritivo da proteína do feijão é baixo quando utilizado como única fonte protéica, entretanto, quando combinado com arroz, por exemplo, forma uma mistura de proteínas mais nutritiva. Isto porque, o feijão é pobre em aminoácidos sulfurados, e rico em lisina e o arroz é o inverso. Na alimentação dos brasileiros, o feijão é a principal fonte de proteína. Essa importância alimentar deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal (MESQUITA et al., 2007).

Vários fatores podem influenciar o acúmulo de proteína nas sementes, podendo variar desde características intrínsecas das cultivares até variações edáficas da área de cultivo e atuação de fatores ambientais (LAJOLO et al., 1996).

O nitrogênio, por participar da composição dos aminoácidos, desempenha um efeito direto no teor de proteínas dos grãos. O nitrogênio absorvido pelas plantas combina com esqueletos carbônicos para a produção de aminoácidos, os quais resultam em proteínas que ficam armazenadas nos tecidos vegetais (GOMES et al., 2005).

Trabalhos com feijão-comum evidenciaram outros fatores como condições de armazenamento que também afetam esta característica. Rios et al. (2003) relataram que o aumento no tempo de armazenamento promoveu ligeiro acréscimo no teor de proteína bruta em três cultivares de feijoeiro, sob condições de temperatura em torno de 20°C e umidade relativa de 72%. Entretanto, condições inadequadas de armazenamento, principalmente temperatura acima de 40°C e umidade relativa do ar superior a 60% contribuem para a acidificação do tecido dos grãos de feijão, conduzindo a uma diminuição no teor e na solubilidade das proteínas (DONADEL; PRUDENCIO-FERREIRA, 1999; MORI, 2001, citados por RIBEIRO et al., 2005).

Os trabalhos sobre teor de proteína bruta em genótipos de feijão-caupi ainda são restritos e apresentam ampla faixa de valores. Segundo Freire Filho et al. (2011) para cultivares lançadas mais recentemente o teor de proteína bruta variou de 215 g kg⁻¹ a 268 g kg⁻¹, apresentando uma média de 240 g kg⁻¹. Próximos a essa média foram os resultados encontrados para essa cultura por Okwi e Orgi (2007), Boukar et

al. (2010) e Moreira et al. (2008) de 230 g kg⁻¹, 247 g kg⁻¹ e 250 g kg⁻¹, respectivamente.

Um estudo envolvendo a avaliação de 50 genótipos de feijão-caupi cultivados em condições de telado em um ambiente encontraram-se teores de proteína variando de 207 g kg⁻¹ a 309 g kg⁻¹, com média de 250 g kg⁻¹, demonstrando que o teor de proteína varia com o genótipo (ROCHA et al., 2011b).

Em estudos de populações de feijão-caupi, Moura (2011) encontrou teor médio de proteína bruta na geração F₂ de 264 g kg⁻¹. Estudos similares realizados por Castellón et al. (2003), Iqbal et al. (2006), Henshaw (2008), Rocha et al. (2008), Olalekan e Bosede (2010) e Carvalho (2011), obtiveram médias, respectivamente, de 223 g kg⁻¹; 247 g kg⁻¹; 241 g kg⁻¹; 213 g kg⁻¹; 241 g kg⁻¹; e 252 g kg⁻¹.

O tempo de cozimento é fator fundamental para a aceitação de uma cultivar de feijão pelos consumidores, pois a disponibilidade para o preparo das refeições é, muitas vezes, restrita (ARMELIN et al., 2007). Cultivares que apresentam grãos com cozimento rápido proporcionam economia de tempo e de energia, importantes para hábitos da vida moderna (BERTOLDO et al., 2009).

O elevado tempo de cozimento nos grãos de feijão pode ser devido a menor permeabilidade do tegumento do feijão, causando hidratação mais lenta durante o cozimento, e deve ocorrer em razão do teor de cálcio na casca (COELHO et al., 2009).

Vários autores relataram que o tempo de cozimento pode ser influenciado pela cultivar, pelas condições de cultivo, pelo processo de beneficiamento, pelo armazenamento dos grãos, desde o tempo até as condições em que são estocados, assim como, do sistema e da temperatura utilizados no processo de cozimento. (DURIGAN et al., 1978; YOUSIF et al., 2002, LEMOS et al., 2004 e MORAIS et al., 2010).

Segundo Moura (2011) o tempo de cozimento é uma característica tecnológica que tem sido utilizado como um parâmetro importante quando da seleção e lançamento de cultivares em feijão-caupi. No Brasil, linhagens e cultivares desenvolvidas pelo programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte têm sido avaliadas quanto ao tempo de cozimento, sendo encontrada uma variação de 13 minutos (BRS Tumucumaque) a 23 minutos (BRS Potengi). Em média o tempo de

cozimento das cultivares de feijão-caupi lançadas recentemente, foi de 18 minutos (FREIRE FILHO et al., 2011).

Em avaliações realizadas em 2000 genótipos pelo International Institute of Tropical Agriculture-IITA, na Nigéria, África, o tempo de cozimento apresentou uma variação de 27 a 57 minutos (SINGH, 2006, 2007; SINGH et al., 2009).

Mashi (2006), avaliando oito genótipos africanos de feijão-caupi encontrou uma variação para o tempo de cozimento de 28 a 46 minutos.

Em estudos de populações o tempo de cozimento variou de 31 minutos (IT-98K-205-8) a 40 minutos (BRS Xiquexique), com média de 36 minutos (MOURA, 2011).

Carvalho et al. (2011) estudando cinco genótipos de feijão-caupi encontraram tempo de cozimento variando de 13 minutos (BRS Tumucumaque) a 25 minutos (BRS Xiquexique).

Diversos autores afirmaram que a capacidade de hidratação dos grãos é um dos fatores determinantes para seu cozimento. A interferência das características do tegumento dos grãos (espessura, peso, aderência aos cotilédones, elasticidade, porosidade e propriedades coloidais), na absorção de água pelos grãos de feijão ocasiona variação do tempo de máxima hidratação dos grãos, isso ocorre em função do genótipo e das condições ambientais a que esses grãos são submetidos durante todo o seu desenvolvimento (CARBONELL et al., 2003; DALLA CORTE et al., 2003; LEMOS et al., 2004).

Esteves et al. (2002) e Pujola et al. (2007) reafirmam que as diferenças entre as cultivares podem estar associadas à rigidez do tegumento (menor espaços intracelulares), aderência dos cotilédones (deposição de pectatos de cálcio na lamela média), elasticidade, porosidade e propriedades coloidais na absorção de água pelos grãos das diferentes cultivares e espécies.

Assim, maior ou menor tempo para a absorção de água ou para o cozimento pode ser requerido em função da qualidade dos grãos no momento da colheita ou das condições de temperatura e de umidade de armazenamento. O melhor conhecimento desses fatores é indispensável para que não haja prejuízos na avaliação de cultivares de feijão com melhor qualidade para o cozimento (RIBEIRO et al., 2007).

O uso da capacidade de hidratação dos grãos, com base no fator menor tempo para o grão atingir a sua máxima hidratação, pode ser um parâmetro, desde que a maior capacidade de hidratação seja um indicativo do menor tempo de cozimento. Essa relação direta é encontrada, mas não é regra, pois, nem sempre a maior capacidade dos grãos hidratarem indica menor tempo de cozimento. Entretanto, apenas o tempo de hidratação não é um bom indicativo para determinar a capacidade dos grãos hidratarem e, sim o percentual de hidratação, sob condição de temperatura controlada é que qualifica o genótipo para o seu potencial de hidratação (COELHO et al., 2008).

Santos et al. (2008) estudando seis linhagens de feijão-caupi em Petrolina – PE, observaram uma capacidade de hidratação no percentual que variou 116,8% a 134,31% com média de 123,43%.

Campos et al. (2010) estudando 5 cultivares de feijão-caupi, encontraram relação de hidratação que variou de 1,96 (BRS Novaera) a 2,42 (BRS Guariba), além disso, calcularam os tempos para máxima absorção e os valores variaram de 1h 48 minutos (BRS Mangazão) a 5h 18 minutos (UFRR Grão Verde).

Silva (2011) avaliou oito cultivares de feijão-caupi e encontrou a capacidade de hidratação em uma faixa entre 101% a 150%, com média de 127,2%.

Segundo Lam-Sanches et al. (1990) as variedades que apresentam alto percentual de grãos impermeáveis também chamados de “hardshell” tem ocorrência em razão dessa ser uma estratégia de defesa da espécie frente a condições desfavoráveis.

Carbonell et al. (2003), atribuíram a ocorrência de grãos de casca dura, sem a capacidade de absorção de água durante o processo de imersão, a situações de estresse hídrico - seca e temperaturas altas, proximamente à época de colheita. Essa característica é fortemente influenciada pela genética e efeitos ambientais e as interações entre esses fatores (LEMOS et al., 2004).

Lam-Sanches et al. (1990) trabalhando com genótipos de feijão-caupi verificaram grande presença de grãos de casca dura em plantios realizados tanto nos períodos das águas como de sequeiro, com percentuais que variaram de 0 a 31%.

Na cultura do feijão-caupi, existe relato do teor de proteína bruta ser influenciado negativamente pela produtividade de grãos, por exemplo, no estudo de populações da F_2 realizado no Nordeste do Brasil. Nesse mesmo estudo observou-se correlação positiva e significativa entre produtividade de grãos e tempo de cozimento (MOURA, 2011).

Foi encontrado para grupo de 24 genótipos de feijão-caupi grãos verdes, correlação positiva e significativa entre produtividade e teor de proteína bruta em trabalho realizado no Nordeste do Brasil (ANDRADE, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético

Foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi de portes ereto/semiereto, sendo 16 linhagens selecionadas em ensaios preliminares e quatro testemunhas (BRS Tumucumaque, BRS Cauamé, BRS Itaim e BRS Guariba), que são cultivares de portes ereto e semiereto atualmente recomendadas para a região Meio-Norte do Brasil. Os genótipos são provenientes do programa de melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, localizada em Teresina, PI (Tabela 1).

Tabela 1. Relação dos genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, com suas genealogias e subclasse comercial, avaliados na região Meio-Norte do Brasil, em condições de sequeiro, nas safras 2010 e 2011.

Genótipo	Código do Genótipo	Genealogia	Subclasse comercial ⁽¹⁾
G1	MNC02-675F-4-9	TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2	ML
G2	MNC02-675F-4-2	TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2	ML
G3	MNC02-675F-9-2	TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2	ML
G4	MNC02-675F-9-3	TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2	ML
G5	MNC02-676F-3	TE97-91-309G-24 x EV x 2E-2	ML
G6	MNC02-682F-2-6	TE96-282-226 x MNC00-519-7-1-1	BR
G7	MNC02-683F-1	BR9-LONGÁ x TE96-282-22G	BR
G8	MNC02-684F-5-6	TE96-282-22G x TE96-406-2E-28-2	BR
G9	MNC02-725F-3	MNC01-627D-65-1 x TE99-499-1F-2-1	BR
G10	MNC02-736F-7	(TE97-309G-24 x IT90N-284-2) x TE96-282-22G	BR
G11	MNC02-737F-5-1	TE96-282-22G x IT81D-1332	BR
G12	MNC02-737F-5-4	TE96-282-22G x IT81D-1332	BR
G13	MNC02-737F-5-9	TE96-282-22G x IT81D-1332	BR
G14	MNC02-737F-5-10	TE96-282-22G x IT81D-1332	BR
G15	MNC02-737F-5-11	TE96-282-22G x IT81D-1332	BR
G16	MNC02-737F-11	TE96-282-22G x IT81D-1332	BR
G17	BRS Tumucumaque	TE96-282-22G x IT87D-611-3	BR
G18	BRS Cauamé	TE93-210-13F x TE96-282-22G	BR
G19	BRS Itaim	MNC01-625E-10-1-2-5 x MNC99-544D -10-1-2-2	FR
G20	BRS Guariba	IT85-2687 x TE87-98-8G	BR

⁽¹⁾ML – mulato; BR - branco; FR – fradinho.

3.2. Ambientes de avaliação

As avaliações foram realizadas em quatro biomas representativos da Região Meio-Norte do Brasil, a qual compreende os Estados do Piauí e Maranhão. Foram conduzidos dez ensaios de valor de cultivo e uso – VCU com 20 genótipos de feijão-caupi, sendo cinco em 2010 e cinco em 2011, conforme descrição na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos ambientes em que foram conduzidos os ensaios de com 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, em condições de sequeiro, na região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010 e 2011.

Ambiente	Local	Ano	Plantio	Colheita	Ciclo (Dias)
TE10	Teresina-PI	2010	15.07.2010	01.10.2010	75
BJ10	Bom Jesus-PI	2010	10.02.2010	21.05.2010	101
BJ11	Bom Jesus-PI	2011	03.03.2011	02.06.2011	89
SR10	São Raimundo das Mangabeiras-PI	2010	04.03.2010	28.05.2010	84
SR11	São Raimundo das Mangabeiras-PI	2011	01.03.2011	01.06.2011	90
BA10	Balsas-MA	2010	03.03.2010	26.05.2010	83
BA11	Balsas-MA	2011	01.03.2010	07.06.2010	95
BU10	Buriti-MA	2010	02.05.2010	13.07.2010	72
SJ11	São João do Piauí-PI	2011	18.02.2011	05.05.2011	77
CG11	Campo Grande do Piauí- PI	2011	09.02.2011	05.05.2011	84

As coordenadas geográficas, assim como, identificação dos tipos de solos e biomas dos locais de condução dos ensaios são descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Dados de coordenadas geográficas, tipos de solo e biomas dos locais de condução dos ensaios de genótipos de feijão-caupi, porte ereto/semiereto, na região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010 e 2011.

Municípios	Alt. (m)	Lat. (S)	Long. (W)	Tipo de solo ¹	Bioma ²
Teresina, PI	72	05°54'	42°48'	Latossolo Vermelho Amarelo	Transição Amazônia-Caatinga
Bom Jesus, PI	643	09°39'	45°12'	Latossolo Amarelo	Transição Cerrado-Caatinga
São Raimundo das Mangabeiras, MA	511	06°53'	45°39'	Latossolo Amarelo	Cerrado
Balsas, MA	324	07°54'	45°96'	Latossolo Amarelo	Cerrado
Buriti, MA	227	03°50'	43°07'	Latossolo Amarelo	Cerrado
São João do Piauí, PI	316	08°20'	42°19'	Neossolo Quartzarênico	Caatinga
Campo G. do Piauí, PI	440	07°07'	41°02'	Neossolo Quartzarênico	Caatinga

¹Dados obtidos do IBGE (Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>). ²Fonte: (IBGE, 2004).

Segundo a classificação de Köppen, o clima do bioma Transição Amazônia-Caatinga é classificado como Aw', quente e úmido com chuvas de verão/outono. As precipitações pluviométricas variam de 1.000 mm a 1.800 mm. O bioma Transição Cerrado-Caatinga é definido como Aw, quente e úmido com chuvas de verão. As precipitações pluviométricas variam de 1.000 mm a 1.400 mm. O bioma de Cerrado é classificado como quente e semi-úmido do tipo Aw com chuvas máximas no verão. O bioma Caatinga recebe a classificação BShw, semi-árido, caracterizado por uma curta estação chuvosa no verão. As precipitações pluviométricas variam de 400 mm a 1.000 mm.

3.3. Instalação e manejo experimental

Os preparos dos solos foram realizados de forma convencional com uma aração e duas gradagens. Em todas as áreas foi aplicado calcário em anos anteriores, para correção de acidez, não foi realizado adubação. Nos ambientes em que os grãos serviram para as análises tecnológicas, as áreas foram anteriormente ocupadas com a cultura do milho em Bom Jesus – PI e soja em Balsas e São Raimundo das Mangabeiras – MA.

Em todos os ensaios, o desenvolvimento das plantas ocorreu em condições de sequeiro, as semeaduras foram realizadas levando em consideração a época das chuvas em cada bioma na região Meio-Norte do Brasil.

O delineamento experimental adotado foi blocos completos casualizados, com 20 tratamentos e quatro repetições para as análises das características agrônômicas, entretanto, para as análises tecnológicas usaram-se 19 tratamentos (todos os genótipos, exceto BRS Itaim) e três repetições. A casualização foi realizada individualmente para cada local. A parcela experimental teve as dimensões de 2,0m x 5,0m e foi constituída de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, tendo como área útil as duas fileiras centrais, totalizando 5 m², com 40 plantas. O espaçamento entre fileiras foi de 0,50 m, dentro de cada fileira, o espaçamento foi de 0,25 m entre covas o que resultou em 20 covas por fileira.

As operações de abertura de covas e semeaduras ocorreram manualmente, semearam-se quatro sementes por cova e posteriormente na fase fenológica V₃ (a primeira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente

abertos) foi realizado o desbaste, com compensação das falhas, deixando-se em média duas plantas por cova. Com isso, obteve-se uma população de 160.000 plantas por hectare.

Para o controle de plantas daninhas, utilizou-se o herbicida fluazifop-p-butil na dose recomendada de 500 mL ha⁻¹ do p.c. no estágio fenológico V₃. Os tratamentos fitossanitários foram realizados mediante o monitoramento regular de insetos-praga e doenças, sendo utilizados inseticidas dimetoato e thiametoxam, nas dosagens de 100 g ha⁻¹ e 250 g ha⁻¹ de p.c., respectivamente, para o controle de pulgão (*Aphis craccivora*), vaquinha (*Cerotoma arcuata*), percevejo (*Crinocerus sanctus*) e mosca branca (*Bemisia* spp).

3.4 Características avaliadas

Para os estudos de adaptabilidade e estabilidade produtiva e comparação de métodos utilizou-se a característica produtividade de grãos (PG): avaliado na fase de pós-colheita em gramas com o peso total de grãos por área útil da parcela, transformados para kg ha⁻¹;

Nas avaliações das características de qualidade tecnológica foram utilizados grãos provenientes de três ambientes, Bom Jesus, PI, 2011; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2011 e Balsas, MA, 2011. As análises foram efetuadas no período de 180 dias após a colheita dos genótipos. As amostras de grãos foram acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em câmara seca a temperatura de 17°C. As características avaliadas foram:

1. **Teor de proteína bruta (PB)** - determinada em g kg⁻¹ por meio da seguinte fórmula: **PB = N total x 6,25**, onde: PB = teor de proteína bruta nos grãos (g kg⁻¹) e N total = teor de nitrogênio nos grãos, obtido de acordo com a metodologia proposta por Sarruge e Haag (1974);
2. **Tempo de cozimento (TC)** - medido em minutos; realizado com o auxílio do cozedor de Mattson, descrito por Durigan (1979), que consta basicamente de 25 estiletes verticais terminados em ponta de 1/16". A ponta fica apoiada no grão de feijão durante o cozimento e quando o grão encontra-se cozido a ponta penetra-o deslocando o estilete. O tempo final para cozimento da

amostra foi obtido quando $50\% + 1$, ou seja, 14 estiletes, estiverem deslocados. Para essa determinação os grãos permaneceram em hidratação em água destilada durante um período mínimo de 12 horas. Durante a condução do teste todas as partes do aparelho ficaram submersos em água quente, a qual foi mantida em nível constante e a temperatura verificada periodicamente, sendo na média de 96°C ;

3. **Capacidade de hidratação (CH)** - determinada por meio da metodologia descrita por Durigan (1979), que consistiu na utilização de uma proveta graduada com capacidade de 500 mL e precisão de 5 mL, e béqueres com capacidade de 250 mL. Em cada um foi colocada uma amostra, constituída de aproximadamente 50 gramas de grãos previamente escolhidos, adicionando-se 200 mL de água destilada. Durante um tempo de 12 horas foram feitas avaliações do volume de água não absorvido pelos grãos, vertendo-a do béquer para a proveta, em intervalos de uma hora. Ao final do tempo previsto para a hidratação a água foi totalmente drenada e os grãos pesados. A relação de hidratação foi determinada como sendo a razão entre a massa após a hidratação e a massa inicial dos grãos. Durante a condução do teste a temperatura da água permaneceu em média de 24°C . Para determinar o tempo para máxima hidratação realizou-se a análise de regressão entre a capacidade de hidratação (mL) e o tempo de hidratação dos grãos em água (horas). Os critérios para escolha dos modelos de regressão foram o maior valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2) e a significância dos coeficientes da equação de regressão até 5%, pelo teste t. Os grãos que não hidrataram na avaliação da capacidade de hidratação foram pesados separadamente e determinada a porcentagem de grãos de casca dura. Esta foi calculada pela contagem dos grãos de casca dura em relação ao número total de grãos, multiplicado por cem. Portanto, por meio do teste de capacidade de hidratação foi possível determinar a relação de hidratação, a porcentagem de grãos de casca dura e o tempo para a máxima hidratação dos grãos.

3.5. Análises de variância individual e conjunta

Antes de realizar a análise de variância dos dados, fez-se uma análise preliminar, por meio da análise gráfica de seus resíduos, de acordo com a metodologia adotada por Rocha (2002) apud Carbonell (1995), Rocha (1998) e Soldini (1998). Essa análise tem a finalidade de revelar a existência ou não de valores discrepantes, os chamados “outliers”, que interferem na normalidade dos resíduos, afetando por tanto, uma das pressuposições importantes da análise de variância. Para esse procedimento foi utilizado o software SAS/IML (SAS INSTITUTE, 2002) versão 9.0.

Foi realizada uma análise de variância individual para produtividade de grãos em cada ambiente. A partir dos resultados das análises individuais foi realizado o teste de homogeneidade de variância de Hartley (1950) Esse teste verifica a existência ou não de homogeneidade entre os quadrados médios residuais dos ambientes envolvidos na análise e a possibilidade de realizar a análise conjunta.

Em seguida, a fim de determinar possíveis interações entre os genótipos com os ambientes, realizou-se análise conjunta de variância. Para efeito da análise de variância conjunta, foram considerados como fixos os efeitos de genótipos e de ambientes.

Para a realização das análises de variância foi utilizado o programa Genes – Genética Quantitativa e Estatística Experimental, versão 2009.7.0 (CRUZ, 2006).

3.6. Análises de comparação das médias

Foi utilizado o teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade para comparações das médias. Para a realização do teste de médias foi utilizado o programa Genes – Genética Quantitativa e Estatística Experimental, versão 2009.7.0, (CRUZ, 2006).

3.7. Análise de adaptabilidade e estabilidade

Para a análise da adaptabilidade e de estabilidade dos genótipos avaliados, considerou-se como ambiente, a combinação de ano e local. Portanto, pela

combinação dos mesmos, obtiveram-se dez ambientes: Teresina, PI 2010; Bom Jesus, PI, 2010/2011; São Raimundo das Mangabeiras, MA, 2010/2011; Balsas, MA 2010/2011; São João do Piauí, PI, 2011; Buriti, MA 2010 e Campo Grande do Piauí, PI, 2011. Procedeu-se as análises com as médias de cada ambiente.

Foram utilizadas três metodologias para avaliar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos: Theil (1950), Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) e AMMI (ZOBEL et al., 1988).

a) Metodologia de Theil (1950)

O método de Theil estima a resposta de um indivíduo de acordo com a equação:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \Psi_{ij},$$

Em que:

Y_{ij} : é a média de genótipo no ambiente j ;

β_{0i} : é o coeficiente linear referente ao i -ésimo genótipo (intercepto);

β_{1i} : é o coeficiente de regressão, o qual mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

Ψ_{ij} : são os erros aleatórios provenientes de uma população com mediana zero;

I_j : é o índice ambiental codificado.

$$I_j = \left[\sum_j Y_j \right] - \left[\sum_i \sum_j Y_{ij} / ga \right],$$

As estimativas de I_j indicam a qualidade do ambiente, em que valores negativos identificam ambientes desfavoráveis e valores positivos, ambientes favoráveis.

O conceito de adaptabilidade, por essa metodologia, refere-se à capacidade de os genótipos responderem ao estímulo do ambiente: genótipos com adaptabilidade ampla ou geral, $\beta_{1i} = 1$; genótipos com adaptabilidade específica a

ambientes favoráveis, $\beta_{ij} > 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, $\beta_{ij} < 1$.

O conceito de estabilidade refere-se à capacidade dos genótipos mostrarem um comportamento previsível em função do estímulo do ambiente. A estabilidade foi analisada por meio do coeficiente de determinação R_{Ti}^2 , de acordo com a equação:

$$R_{Ti}^2 = (SQ_{Total} - SQ_{Erros}) / SQ_{Total}$$

A partir desse parâmetro, os genótipos foram classificados em: genótipos com estabilidade ou previsibilidade alta, maior que 70%; genótipos com estabilidade ou previsibilidade baixa, menor que 70%. O intercepto β_{0i} foi estimado pela mediana de todos, expresso na equação.

$$\beta_{0i} = y_{ij} - \beta_{ij} l_j$$

b) Metodologia Lin e Binns modificada por Carneiro (1998)

Lin e Binns (1988) definiram como medida de estabilidade, o quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima para todos os locais, denominada medida de superioridade máxima (P_i). Assim quanto menor a distância entre a resposta do genótipo e a resposta do genótipo de produtividade máxima nos diversos ambientes, menor será o P_i e mais estável o genótipo. O P_i foi estimado por meio da equação:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^a (Y_{ij} - M_j)^2}{2a}$$

Em que:

P_i : estimativa do parâmetro de adaptabilidade e estabilidade do genótipo “i”;

Y_{ij} : produtividade do genótipo “i” no ambiente “j”;

M_j : resposta máxima observada entre todos os genótipos no ambiente “j”;

a: número de ambientes.

Para facilitar a interpretação e a recomendação de cultivares, Carneiro (1998) fez algumas modificações no método proposto por Lin e Binns (1988). Com essas modificações, as recomendações abrangeram os ambientes favoráveis e desfavoráveis, o estimador do método proposto por Lin e Binns (1988), foi decomposto em P_{if} e P_{id} , para ambientes favoráveis e desfavoráveis,

respectivamente. Carneiro (1998) denominou o parâmetro de Medida de Adaptabilidade e Estabilidade de Comportamento (MAEC).

Os ambientes foram classificados com base nos índices ambientais (I_j), definidos como a diferença entre a média de todos os genótipos em um determinado ambiente e a média geral de todos os genótipos em todos os ambientes. Portanto, do mesmo modo, como está definido nas metodologias Eberhart e Russell (1966) e Cruz et al. (1989).

O parâmetro MAEC para ambientes favoráveis (P_{if}), ou seja, com índices ambientais positivos, incluindo o valor zero, foi estimado conforme a equação:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - M_j)}{2f}$$

Em que:

Y_{ij} e M_j : são definidos na equação anterior;

f : número de ambientes favoráveis.

Da mesma forma, o MAEC em ambientes desfavoráveis (P_{id}), cujos índices são negativos, foi estimado tal como a equação:

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (Y_{ij} - M_j)}{2d}$$

Em que:

d : número de ambientes desfavoráveis.

c) Modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI) (ZOBEL et al, 1988)

Esta metodologia representa um modelo linear, bi, uni e multivariado, utiliza análise de variância para investigar os efeito aditivos principais de genótipos e ambientes e a análise de componentes principais (ACP) para investigar o efeito multiplicativo da interação ($G \times A$).

Nesse modelo, além dos termos convencionais de um modelo de análise conjunta de variância, como média geral, efeito de genótipos, efeito de ambiente e erro experimental conforme descrevem Duarte e Vencovsky (1999); consta o efeito

da interação que resulta da análise de componentes principais. A análise considerou os efeitos de genótipo e ambientes como fixos, como descrito na equação:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : é a resposta média do genótipo i no ambiente j ;

μ : é a média geral das respostas;

g_i : é o efeito fixo do genótipo i ($i=1, 2, \dots, g$);

a_j : é o efeito fixo do ambiente j ($j=1, 2, \dots, a$);

λ_k : é o k -ésimo valor singular de GA (escalar);

γ_{ik} : é o elemento correspondente ao i -ésimo genótipo no vetor singular γ_k (vetor singular coluna);

α_{jk} : é o elemento correspondente ao j -ésimo ambiente no vetor α_k (vetor singular linha);

ρ_{ij} : é o resíduo da ACP presente na SQ da interação $G \times A$ (porção ruído);

ε_{ij} : é o erro experimental médio, assumido independentemente;

k : índice que se refere aos eixos principais da ACP aplicada à matriz GA . Logo, $k=1, 2, \dots, p$, sendo p o posto da matriz GA , onde: $p = \min(g-1, a-1)$;

n : é o número de eixos ou componentes principais selecionados para descrever o padrão da interação $G \times A$.

O objetivo da análise AMMI é de reduzir grande parte da interação $G \times A$ em poucos eixos ($SQ_{G \times A \text{ Padrão}}$), dessa forma, consumindo poucos graus de liberdade, tornando-se um modelo reduzido e econômico, que descarta um resíduo adicional ($SQ_{G \times A \text{ Ruídos}}$). Um dos procedimentos mais habituais para a definição do número de eixos a serem retidos, consiste em determinar os graus de liberdade associados à parcela da $SQ_{G \times A}$ relacionada a cada membro da família de modelos AMMI (AMMI0, AMMI1, AMMI2..., AMMI). Obtém-se, então, o quadrado médio (QM) correspondente a cada modelo. Em seguida, é obtido um teste F avaliando a significância de cada componente em relação ao $Q_{\text{MErro}} \text{ Médio}$. Dessa maneira, o ponto de parada que determina a seleção do modelo, baseia-se na significância do teste F para os sucessivos termos da interação. O resíduo AMMI, reunindo os demais termos da

$SQ_{G \times A}$ (não retidos no modelo selecionado), também pode ser testado de forma a assegurar o seu carácter desprezível, como é o caso do teste F_R de Cornelius (PIEPHO, 1995) utilizado no presente trabalho e descrito pela equação:

$$F_{R,n} = (SQ_{G \times A} - \sum_{K=1}^K f_2^2) / (f_2 \cdot Q_{MErroMédio}); \quad \text{com: } f_2 = (g-1-n)(a-1-n)$$

Em que: f_2 : número de graus de liberdade associados a cada parcela da interação $G \times A$, definidos por Gollob (1968).

Os resultados da análise são apresentados graficamente em *biplot*. Para casos em que o modelo engloba apenas o primeiro eixo da análise de componentes principais da interação ACPI (CPI1), utiliza-se o *biplot* AMMI1, em que o eixo das abscissas representa os efeitos principais (médias de genótipos e de ambientes) e, o das ordenadas, os escores de genótipos e ambientes referentes ao CPI 1.

A interpretação de um biplot quanto à interação $G \times A$ é feita observando a magnitude e o sinal dos escores de genótipos e ambientes para o(s) eixo(s) que representam a interação. O eixo da abscissa representa os efeitos principais, que são as médias de genótipos e de ambientes, e a ordenada representa o primeiro eixo de interação (IPCA1). Assim, os escores baixos (próximos de zero) são próprios de genótipos e ambientes que contribuem pouco para a interação, caracterizando-os como estáveis.

Num biplot AMMI1, a estabilidade é avaliada inspecionando-se as ordenadas (CPI 1). Logo, os pontos situados na faixa horizontal em torno de zero em relação ao CPI 1 correspondem aos genótipos e ambientes mais estáveis (ROCHA et al. 2007).

As relações adaptativas podem ser facilmente percebidas num biplot AMMI observando-se os sinais dos escores para cada par de genótipos e ambientes. Assim, genótipos e ambientes com escores de mesmo sinal (-/- ou +/+) devem interagir positivamente. Já aqueles com sinais opostos (+/-) devem interagir negativamente (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

A análise AMMI foi realizada utilizando os procedimentos GLM do programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2002). Para as metodologias não-paramétricas Theil (1950) e Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) foi utilizado o programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

3.7.1. Comparação entre metodologias

A comparação entre os diferentes métodos utilizados para estimar a adaptabilidade e estabilidade foi realizada considerando os parâmetros estimados das três metodologias, através do coeficiente de correlação linear de Spearman, aplicando às ordens de classificação genotípica de cada par de métodos. No presente estudo, utilizou-se os procedimentos sugeridos por Nunes (2012).

A ordem de adaptabilidade e estabilidade foi definida baseada nos conceitos e número de parâmetros de cada método. Assim os genótipos foram classificados de 1 a 20, onde aqueles que apresentaram maior adaptação e estabilidade receberam o número de ordem 1, assim sucessivamente, até o genótipo menos adaptado e estável que recebeu o número 20.

Na metodologia de Theil (1950) utilizou-se os desvios de β_1 em relação a 1, os valores absolutos dos desvios foram ordenados e genótipo com maior valor foi colocado em primeiro lugar. No método de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), os genótipos foram ordenados pelas estimativas de Pig. Na análise AMMI os genótipos foram ordenados considerando a interação predita pelo modelo AMMI selecionado (iA), sendo considerados mais estáveis e adaptados os genótipos que apresentarem escores em módulos próximos a zero (ROCHA et al, 2007).

O coeficiente de correlação de Spearman seguiu a equação:

$$rs = 1 - \left(\frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \right)$$

Em que:

n: número de genótipos avaliados;

d_i^2 : diferença entre o ordenamento dos genótipos.

3.8. Análise estatística das características de qualidade tecnológica

Os dados das características de qualidade tecnológica obtidos foram submetidos à análise de variância individual, e posteriormente à análise conjunta, uma vez que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual não foi superior a sete (BANZATTO; KRONKA, 1995). Sob a presença das interações

significativas foram realizados os desdobramentos necessários. As médias dos genótipos foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011). Para o estudo de correlações entre as características usou-se o programa Agroestat (BARBOSA; MALDONADO, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises de resíduos

Foram realizadas análises exploratórias dos dados por meio da análise gráfica de seus resíduos para a característica produtividade de grãos, onde se detectou a presença de uns poucos dados discrepantes para alguns dos ensaios. Neste caso, os dados foram substituídos por seus respectivos valores preditos, de forma a garantir à homogeneidade de variâncias e a normalidade dos resíduos deixando-os adequados às análises subsequentes.

4.2. Análises de adaptabilidade e estabilidade

Para efeito das análises de adaptabilidade e estabilidade considerou-se apenas a característica produtividade de grãos. Antes de realizar a análise conjunta, com base na análise de variância individual, observou-se que houve diferenças significativas para o efeito de genótipos para a maioria dos ambientes, indicando variabilidade genética para esse caráter. Não houve diferença significativa entre os genótipos nos ambientes, Teresina 2010, Balsas 2010 e 2011 e Campo Grande 2011 (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo das análises de variância individuais para a produtividade de grãos, obtido a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi ereto/semiereto em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010 e 2011.

Ambientes	QM		Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	CV (%)
	Tratamentos	Resíduos		
	GL			
	19	57		
TE10	92732,51 ^{ns}	96860,73	2.070	15,03
BJ10	156564,18 ^{**}	52239,22	783	29,17
BJ11	125945,36 ^{**}	54769,35	827	28,27
SR10	204407,04 ^{**}	78882,75	977	28,74
SR11	335495,94 ^{**}	147421,64	1.260	30,46
BA10	5971168,51 ^{ns}	248760,16	1.969	25,32
BA11	365082,63 ^{ns}	246395,42	1.670	29,71
SJ11	35471,34 [*]	19516,41	659	21,19
BU10	63559,16 ^{**}	14739,10	1.044	11,62
CG11	14876,86 ^{ns}	9113,28	382	24,81

^{**}, ^{*} e ^{ns} Significativo e não significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

Verificou-se, pelo critério de Hartley (1950), que as variâncias dos resíduos foram heterogêneas. Dessa forma, optou-se por realizar um ajuste dos resíduos, segundo o método de Cochran (1954), o que viabilizou a realização da análise conjunta envolvendo todos os ambientes de teste.

O coeficiente de variação (CV) variou de 11,62% no ambiente Buriti 2010 a 30,46% em São Raimundo das Mangabeiras 2011. A variação dos coeficientes confirma a influência de fatores não previsíveis sobre a produtividade de grãos, provavelmente em função de que essa característica não apresente herança simples, portanto, muito influenciada pelas condições ambientais. Para a maioria dos ambientes o intervalo dos valores de CV ficou entre 20 a 30%.

Segundo Pimentel Gomes (2000), para ensaios de campo, a maioria dos coeficientes de variação encontrados foi classificado como alto. Contudo segundo Nunes (2012), essa classificação têm sido contestada, por ser considerada abrangente em demasia e por desconsiderar as especificidades das culturas e a natureza das características avaliadas.

Intervalos próximos aos encontrados no presente estudo foram relatados por Mano (2009), que avaliou a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão-caupi, no Estado do Ceará e encontrou uma variação de CV de 12,14 a 29,47%. Nunes (2012), avaliando a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho em cultivo de sequeiro, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, encontrando uma amplitude de CV de 12,75 a 27,41%; e Barros (2012), que estudando genótipos de feijão-caupi semi-prostrados na região Meio-Norte do Brasil, encontrou intervalo de 13,85 a 29,83%.

A detecção de interações significativas entre genótipos e ambientes, indicou a necessidade de se analisar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. As análises foram realizadas com as médias e variâncias obtidas nas análises individuais dos dez ambientes.

4.2.1. Metodologia de Theil (1950)

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade produtiva, estimados pela metodologia de Theil são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Theil (1950).

Genótipos	Produtividade de grãos (kg ha^{-1})	β_{ii}	R^2_{Ti} (%)
G1	1.149	0,93 ^{ns}	96,67
G2	1.188	0,92 ^{ns}	93,16
G3	1.140	1,02 ^{ns}	94,00
G4	1.182	1,04 ^{ns}	87,53
G5	1.262	1,18 ^{ns}	89,14
G6	1.131	1,06 ^{ns}	94,21
G7	1.154	0,83 ^{ns}	90,16
G8	1.171	0,96 ^{ns}	94,11
G9	1.058	0,97 ^{ns}	92,83
G10	1.073	1,10 ^{ns}	91,49
G11	1.068	0,89 ^{ns}	83,09
G12	1.184	1,10 ^{ns}	84,26
G13	1.200	0,95 ^{ns}	87,79
G14	1.075	0,84 ^{ns}	78,26
G15	1.188	1,13 ^{ns}	93,00
G16	1.162	0,95 ^{ns}	88,90
G17	1.316	1,01 ^{ns}	79,49
G18	1.210	1,02 ^{ns}	96,02
G19	1.122	1,04 ^{ns}	92,10
G20	1.247	1,00 ^{ns}	90,27
Média geral (kg ha^{-1})	1.164		

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de Student.

Nessa metodologia o conceito de adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos responderem ao estímulo do ambiente: genótipos com adaptabilidade ampla ou geral, $\beta_{ii} = 1$ (aqueles que pelo Teste de Student não apresentam diferenças significativas); genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, $\beta_{ii} > 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, $\beta_{ii} < 1$. A partir dessa premissa, todos os genótipos estudados mostraram-se de adaptabilidade ampla, demonstrando que podem ser cultivados em todos os ambientes estudados. Esse método identificou uma interação simples entre genótipos e ambientes. Além disso, os resultados encontrados demonstraram a eficiência da metodologia em classificar genótipos com comportamento produtivo linear, pois como o método considera os pontos extremos, os desvios dos genótipos são menores, melhorando a capacidade de explicar os desvios da regressão linear.

Quanto ao parâmetro de estabilidade - R^2_{Ti} (Tabela 5) os resultados evidenciaram que todos os genótipos apresentam alta estabilidade produtiva ($R^2_{Ti} >$

70%) o que demonstra serem previsíveis para o cultivo em diferentes condições ambientais e que, do ponto de vista da regressão, as curvas se ajustaram adequadamente aos pontos. Destacaram-se os genótipos G1(MNC02-675F-4-9) e G18 (BRS Cauamé) que apresentaram estimativas acima de 95%.

4.2.2. Metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998)

Pelo método de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), o genótipo G5 (MNC02-676F-3) obteve as menores estimativas dos parâmetros Pi geral (49,40), Pif (23,37), apresentou também a maior produtividade média – (1.262 kg ha⁻¹) e a menor contribuição para a interação (1,58%) (Tabela 6).

Tabela 6. Médias gerais e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, referentes à produtividade de grãos (kg ha⁻¹) dos 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), nas safras de 2010 e 2011.

Genótipos	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Pi Geral ¹	Desvio Genético ¹	Desvio G x A ¹	Contribuição para a interação (%)
G1	1.149	103,1	74,78	28,40	3,79
G2	1.188	104,7	60,57	44,13	5,89
G3	1.140	108,6	78,29	30,34	4,05
G4	1.182	103,5	62,68	40,91	5,46
G5	1.262	49,4	37,57	11,82	1,58
G6	1.131	95,4	82,03	13,39	1,79
G7	1.154	105,5	72,84	32,72	4,37
G8	1.171	87,0	66,66	20,40	2,73
G9	1.058	145,9	114,20	31,73	4,24
G10	1.073	131,6	107,37	24,31	3,25
G11	1.068	172,9	109,66	63,25	8,45
G12	1.184	129,8	61,99	67,89	9,07
G13	1.200	108,2	56,26	51,96	6,94
G14	1.075	186,7	106,31	80,39	10,74
G15	1.188	112,1	60,58	51,53	6,88
G16	1.162	121,1	69,86	51,30	6,85
G17	1.316	75,7	24,08	51,65	6,90
G18	1.210	65,7	53,25	12,53	1,67
G19	1.122	105,8	85,70	20,19	2,70
G20	1.247	61,6	41,73	19,87	2,65
Média geral (kg ha ⁻¹)	1.164				

¹ Valores divididos por 1000

Isso evidência que esse genótipo apresentou alta previsibilidade e que respondeu muito bem a melhoria dos ambientes favoráveis, podendo ser recomendado para ambientes altamente tecnificados. Estudos prévios empregando essa metodologia, também identificaram genótipos amplamente adaptados e

estáveis, associados a produtividades superiores a 1.000 kg ha⁻¹ (ADEWALE et al., 2010; SHIRINGANI; SHIMELIS, 2011 e NUNES, 2012).

Uma comparação entre as classificações genotípicas pelos Pi's gerais, favoráveis e desfavoráveis é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e estimativas dos parâmetros (Pi geral), (Pi favoráveis) e (Pi desfavoráveis) de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), nas safras 2010 e 2011.

Genótipos	Média (kg ha ⁻¹)	Pi Geral	Pi Geral*	Pif	Pif*	Pid	Pid*
G1	1.149	103,1	7	167,3	10	60,4	11
G2	1.188	104,7	9	149,4	8	74,8	15
G3	1.140	108,6	13	132,5	7	92,7	18
G4	1.182	103,5	8	188,4	13	47,0	9
G5	1.262	49,4	1	23,3	1	66,7	13
G6	1.131	95,4	6	120,5	5	78,7	16
G7	1.154	105,5	10	226,0	15	25,2	2
G8	1.171	87,0	5	166,0	9	34,3	5
G9	1.058	145,9	18	231,1	16	89,1	17
G10	1.073	131,6	17	115,4	4	142,4	20
G11	1.068	172,9	19	337,4	19	63,2	12
G12	1.184	129,8	16	280,9	18	29,1	3
G13	1.200	108,2	12	225,5	14	30,0	4
G14	1.075	186,7	20	404,0	20	41,8	8
G15	1.188	112,1	14	170,3	11	73,2	14
G16	1.162	121,1	15	241,9	17	40,6	7
G17	1.316	75,7	4	171,0	12	12,2	1
G18	1.210	65,7	3	76,6	2	58,5	10
G19	1.122	105,8	11	125,3	6	92,9	19
G20	1.247	61,6	2	98,7	3	36,8	6
Produtividade (kg ha ⁻¹)	1.164						

* Ordenamento dos genótipos

Percebe-se que quanto ao Pi favorável, destaca-se além da linhagem que já foi citada, outros três genótipos com comportamento também previsíveis aos ambientes favoráveis G18 (BRS Cauamé), G20 (BRS Guariba) e G10 (MNC02-736F-7). É interessante observar que os genótipos G2 (MNC02-675F-4-2) e G15 (MNC02-737F-5-11) obtiveram altas produtividades 1.188 kg ha⁻¹, entretanto, alcançaram índices médios de Pi geral e Pif e índice baixo para Pid.

Os genótipos que apresentaram menores parâmetros P_{id} foram: G7 (MNC02-683F-1); G12 (MNC02-737F-5-4), G13 (MNC02-737F-5-9), G8 (MNC02-684F-5-6). Indicando que são estáveis e responsivos em ambientes cujos fatores edafoclimáticos são limitantes. Estes genótipos, portanto, representam uma boa opção para produção em sistemas menos tecnificados ou condições ambientais mais difíceis, como o bioma Caatinga.

O genótipo G11 (MNC02-737F-5-1) apresentou a mesma classificação quanto aos P_i geral e P_{if} (Tabela 7) indicando uma baixa capacidade de responder a condições ambientais favoráveis sendo classificado como pouco estável e pouco adaptado a tais condições, evidenciando um comportamento inconstante, pois sua classificação com relação ao P_{id} foi média, ou seja, responde bem a condições adversas. A utilização desse método permitiu recomendar genótipos para ambientes estressantes ou com baixa tecnologia, assim como, genótipos para ambientes com alta tecnologia. Resultados semelhantes aos encontrados foram relatados em outros estudos para feijão-caupi por Rocha et al. (2009 a,b,c).

A análise dos dados da Tabela 8 permitiu destacar os ambientes TE 10 (Teresina, 2010); BA10 (Balsas 2010) e BA11 (Balsas 2011) como os ambientes favoráveis.

Tabela 8. Médias gerais, máximas, mínimas e índices ambientais referentes a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), nas safras 2010 e 2011.

Ambientes	Média Geral (kg ha^{-1})	Índice Ambiental	Média Máxima	Média Mínima
TE10	2.070	905,79	2.328,9	1.790,0
BJ10	783	-381,12	1.042,8	331,3
BJ11	827	-336,73	1.139,1	499,1
SR10	977	-187,32	1.534,9	641,7
SR11	1.260	95,70	1.983,9	658,7
BA10	1.969	805,27	2.426,4	1.427,7
BA11	1.670	506,17	2.301,9	1.137,7
SJ11	659	-505,22	841,0	509,9
BU10	1.044	-120,28	1.268,1	831,5
CG11	382	-782,26	496,95	266,4

Esses ambientes são favoráveis porque reduziram menos suas médias mínimas em relação a um maior aumento de suas médias máximas evidenciando suas boas características para a expressão do potencial produtivo dos genótipos avaliados. Mano (2009) utilizando a metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998), a semelhança desse trabalho, também identificou ambientes mais favoráveis ao desenvolvimento de genótipos de feijão-caupi.

4.2.3. Metodologia AMMI

A análise de variância conjunta indicou que os efeitos de ambientes e da interação G x A foram significativos (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância conjunta para o caráter produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes na Região Meio-Norte do Brasil, nas safras de 2010 e 2011.

FV	GL	QM	%SQ _T ⁽¹⁾ ou SQ _{GA/CPII} ⁽²⁾	%SQ _{GA}
Genótipos (G)	19	45060,26 ^{ns}	0,68 ⁽¹⁾	-
Ambientes (A)	9	6466028,63**	98,66 ⁽¹⁾	-
G x A	171	42416,76**	0,64 ⁽¹⁾	-
CPII	27	86297,6009**	32,12 ⁽²⁾	32,12
Resíduo AMMI	144	34189,1013 ^{ns}		67,87
Erro médio/r ⁽³⁾	322	42916,50		
CV(%)			17,68	

⁽¹⁾ Porcentagem da soma de quadrados totais. ⁽²⁾ Porcentagem da soma dos quadrados da interação genótipos x ambientes captadas pelo CPII (componente principal da interação). ⁽³⁾ Número de repetições. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F_R. ^{ns} Não Significativo

Os efeitos de ambientes foram responsáveis pela maior parte da variação, (98,66%) seguido dos efeitos de genótipos (0,68%) e da interação G x A (0,64%). Esses resultados concordam com os obtidos por Akande (2007), que estudou a interação G x A para a produtividade de grãos de nove variedades de feijão-caupi no sudoeste da África, e encontrou maior variação para ambientes (61,32%) e Barros (2012) que obteve resultados similares para os efeitos do ambiente, no entanto, com menor magnitude do que neste estudo (85,31%). O efeito da interação G x A e dos

genótipos encontrados por Akande (2007) e por Barros (2012) foram de 13,19% e 9,89% ; 11,08% e 3,61%, respectivamente.

Embora a interação G x A tenha sido decomposta em nove componentes principais da interação (CPI), apenas o primeiro eixo (CPI1) teve seu resíduo não significativo pelo teste F_R de Cornelius (1993) a 1% de probabilidade (Tabela 8), sendo, portanto, selecionado o modelo AMMI1. Os resultados foram diferentes quanto à seleção do modelo AMMI obtida por Freire Filho et al. (2005b), Rocha et al. (2007 e 2011a) e Mano (2009), que utilizaram dois eixos da análise de componentes principais (CPI1 e CPI2 sendo selecionado o modelo AMMI2, entretanto, foi igual ao verificado por Akande (2007), Morello et al. (2008) e Barros (2012) que selecionaram apenas o modelo AMMI1.

O CPI1 explicou 32,12% da soma de quadrados da interação G x A (SQ_{GA}) (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de componentes principais da interação genótipos x ambientes para produtividade de grãos.

Eixo	Autovalores	Proporção/eixo	%Acumulada
IPCA 1	2.330.035,22	0,321	32,12
IPCA 2	1.764.463,22	0,243	56,45
IPCA 3	1.320.844,09	0,182	74,66
IPCA 4	671.237,54	0,092	83,91
IPCA 5	515.193,28	0,071	91,01
IPCA 6	352.752,77	0,049	95,88
IPCA 7	219.675,51	0,030	98,91
IPCA 8	59.879,96	0,008	99,73
IPCA 9	19.184,18	0,002	100,00

Isso denota que todo o padrão adjacente à interação G x A concentra-se no primeiro eixo. Como 32,12% da SQ_{GA} corresponde ao padrão adjacente à interação G x A e de importância agrônômica, o restante 67,88% da SQ_{GA} representa o ruído, que é desprezível e, portanto, pode ser descartado quando da estimação das respostas dos genótipos frente aos ambientes. Assim, a interpretação gráfica da adaptabilidade e estabilidade será realizada considerando-se apenas o CPI1, por meio do biplot AMMI1 (Figura 1).

Quanto aos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, observados pela dispersão na horizontal do biplot AMMI1, observa-se que os genótipos variaram menos em relação aos efeitos de ambientes e da interação G x A, sendo esta observada na vertical do biplot AMMI1 (Figura 1). Isso indica que os efeitos de ambientes interagiram fortemente com os fatores macroambientais (locais e ano) ou microambientais (erros aleatórios), conseqüentemente, o efeito multiplicativo da interação G x A, também foi bastante disperso. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Freire Filho et al. (2003, 2005b), Rocha et al. (2007), Mano (2009) e Barros (2012), na qual, observaram menor variação para o efeito de genótipos.

A variação observada nos ambientes, provavelmente ocorreu devido à forte interação entre anos e locais, ocasionada principalmente pela ocorrência de estresses abióticos, com predominância de irregularidades pluviométricas e presença de veranicos, comuns na Região Nordeste. No presente estudo, essa condição ocorreu principalmente, nos ambientes do bioma Caatinga. Comportamento semelhante foi verificado por Freire Filho et al. (2003 e 2005b); Rocha et al. (2007) e Barros (2012) ao avaliar genótipos de feijão-caupi no Nordeste brasileiro.

Considerando a característica estudada somente o genótipo G5 (MNC02-676F-3) superou a média das testemunhas (Tabela 11). Quanto às médias de produtividade pode-se observar que cinco genótipos obtiveram médias superiores a 1200 kg ha⁻¹ (25%), onze genótipos apresentaram médias na faixa de 1.101 a 1.199 kg ha⁻¹ (55%) e quatro apresentaram médias na faixa de 1.000 a 1.100 kg ha⁻¹ (20%). Pode-se agrupar os genótipos estudados em três classes com magnitudes semelhantes para a interação G x A (Tabela 11):

a) Classe 1 - genótipos mais estáveis, escores de 0 a 5, +/- : G1 (MNC02-675F-4-9), G2 (MNC02-675F-4-2), G3 (MNC02-675F-9-2), G7 (MNC02-683F-1), G8 (MNC02-684F-5-6), G5 (MNC02-725F-3), G15 (MNC02-737F-5-11) e G19 (BRS Itaim);

b) Classe 2 - genótipos com estabilidade intermediária, escores entre 5 e 10, +/- : G4 (MNC02-675F-9-3), G11 (MNC02-737F-5-1), G16 (MNC02-737F-11), G17 (BRS Tumucumaque), G18 (BRS Cauamé) e G20 (BRS Guariba);

c) Classe 3 - genótipos instáveis, escores > 10 , =/ - : G9 (MNC02-676F-3), G6 (MNC02-682F-2-6), G10 (MNC02-736F-7), G12 (MNC02-737F-5-4), G13 (MNC02-737F-5-9) e G14 (MNC02-737F-5-10).

Tabela 11. Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro, segundo a metodologia AMMI.

Genótipos	Produtividade de grãos (kg ha^{-1})	IPCA1
G1	1.149	1,3965
G2	1.188	-0,2368
G3	1.140	3,1836
G4	1.182	-5,8865
G5	1.262	16,1510
G6	1.131	11,3333
G7	1.154	-4,9430
G8	1.171	-0,7890
G9	1.058	-3,2163
G10	1.073	13,4014
G11	1.068	-7,9827
G12	1.184	-14,9401
G13	1.200	-13,5538
G14	1.075	-12,8704
G15	1.188	0,0258
G16	1.162	-6,2708
G17	1.316	7,4379
G18	1.210	8,8747
G19	1.122	0,8234
G20	1.247	8,0616
Média geral (kg ha^{-1})	1.164	

Os genótipos mais estáveis (compreendidos entre os escores 5 e -5) foram G1 (MNC02-675F-4-9), G2 (MNC02-675F-4-2), G3 (MNC02-675F-9-2), G9 (MNC02-725F-3), G15 (MNC02-737F-5-11) e G19 (BRS Itaim), no entanto, apresentaram médias um pouco abaixo da média das testemunhas (Figura 1). Esses genótipos por apresentarem baixas interações com os ambientes podem ser indicados para todos os biomas estudados. Destes, destacaram-se o G2 (MNC02-675F-4-9) e o G15

(MNC02-737F-5-11) por apresentarem médias próximas à média das testemunhas e ao mesmo tempo previsíveis.

Os genótipos mais instáveis foram: G5 (MNC02-676F-3), G12 (MNC02-737F-5-4), G13 (MNC02-737F-5-9) e G14 (MNC02-737F-5-10), sendo G5 o único com média acima da média das testemunhas.

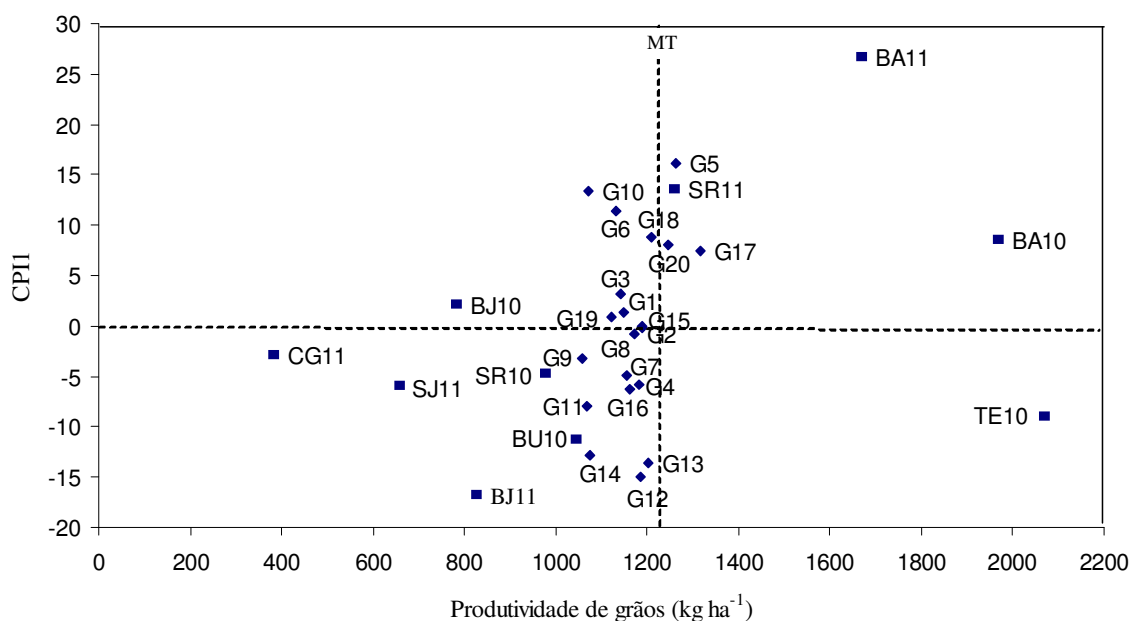


Figura 1. Biplot AMMI1 para dados de produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nos anos agrícolas de 2010 e 2011. Genótipos: G1 = MNC02-675F-4-9, G2 = MNC02-675F-4-2, G3 = MNC02-675F-9-2, G4 = MNC02-675F-9-3, G5=MNC02-676F-3, G6=MNC02-682F-2-6, G7=MNC02-683F-1, G8=MNC02-684F-5-6, G9=MNC02-725F-3, G10 = MNC02-736F-7, G11 = MNC02-737F-5-1, G12 = MNC02-737F-5-4, G13 = MNC02-737F-5-9, G14 = MNC02-737F-5-10, G15 = MNC02-737F-5-11, G16 = MNC02-737F-11, G17 = BRS Tumucumaque, G18 = BRS Cauamé, G19 = BRS Guariba e G20 = BRS Itaim. Ambientes: TE10 = Teresina-PI 2010, BJ10 = Bom Jesus-PI 2010, BJ11 = Bom Jesus-PI 2011, SR10 = São Raimundo das Mangabeiras-MA 2010, SR11 = São Raimundo das Mangabeiras-MA 2011, BA10 = Balsas-MA 2010, BA11 = Balsas-MA 2011, BU10 = Buriti-MA 2010, SJ11 = São João do Piauí-PI 2011 e CG11 = Campo Grande do Piauí-PI 2011. MT = Média das testemunhas.

Os genótipos G5 (MNC02-676F-3), G17 (BRS Guariba) apresentaram médias acima da média das testemunhas, sendo G17(BRS Tumucumaque) a mais produtiva. Apresentaram desempenho acima da média geral G20 e G17 (BRS Guariba e BRS Tumucumaque, respectivamente), mas foram classificadas como instáveis e de adaptação a ambientes específicos (escores positivos). De fato, as maiores produtividades desses genótipos foram obtidos em ambientes do bioma Cerrado, onde o cultivo é bastante técnica do (Tabela 12). Rocha et al. (2007), estudando a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi no Nordeste brasileiro, também apontou a cultivar BRS Guariba como instável e adaptada a ambientes favoráveis.

O comportamento dos ambientes estudados pode ser visto na Tabela 12 e Figura 1, onde os mais estáveis foram BJ10, SR10 e CG11, pois interagiram menos com os fatores ambientais, no entanto, estiveram associados com a baixa produtividade, sendo, portanto, considerados ambientes pouco indicados para cultivo.

Os ambientes TE10, BA10 e BA11, alcançaram desempenhos superiores à média geral, entretanto, TE10 foi considerado instável, pois apresentou escores altos e negativos, enquanto, que BA10 e BA11, foram considerados de adaptação específica a ambientes favoráveis, pois apresentaram escores altos e positivos.

No ambiente TE10, os genótipos foram mais responsivos e obtiveram as maiores produtividades. A produtividade média foi de 2.070 kg ha^{-1} , a maior dentre os ambientes avaliados, evidenciando que houve interação positiva com o ano agrícola de 2010. Por outro lado, os genótipos avaliados foram menos responsivos ao ambiente CG11, sendo este o que apresentou a menor média de produtividade (382 kg ha^{-1}). Para esse último ambiente, resultados semelhantes foram alcançados por Barros (2012) estudando adaptabilidade e estabilidade de feijão-caupi, porte prostrado.

Em relação à adaptação específica entre genótipos e ambientes, G5 (MNC02-676F-3) apresentou adaptação específica ao ambiente SR11, G9 (MNC02-725F-3) com SR10 e os genótipos G11 (MNC02-737F-5-1) e G14 (MNC02-737F-5-10) com BU10 (Figura 1).

Tabela 12. Médias preditas para a característica produtividade de grãos (kg ha^{-1}) pelo modelo AMMI1, considerando apenas o primeiro eixo (CPI1) obtido a partir da avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nas safras de 2010 a 2011.

Genótipos ⁽¹⁾	Ambientes ⁽²⁾										Média
	TE10	BJ10	BJ11	SR10	SR11	BA10	BA11	SJ11	BU10	CG11	
G1	2.042	771	789	955	1.264	1.966	1.693	636	1013	363	1.149
G2	2.096	806	855	1.002	1.280	1.991	1.688	684	1.070	406	1.188
G3	2.017	766	750	938	1.279	1.972	1.731	616	984	349	1.140
G4	2.140	788	944	1.023	1.198	1.937	1.531	711	1.128	417	1.182
G5	2.023	914	654	997	1.577	2.204	2.198	661	959	432	1.262
G6	1.935	773	604	889	1.380	2.032	1.939	559	882	315	1.131
G7	2.104	763	900	991	1.183	1.918	1.529	678	1.090	386	1.154
G8	2.084	788	847	987	1.256	1.969	1.656	670	1.059	391	1.171
G9	1.993	670	775	886	1.110	1.836	1.479	572	974	285	1.058
G10	1.858	719	511	821	1.350	1.991	1.936	488	801	251	1.073
G11	2.045	670	865	919	1.055	1.805	1.361	610	1.038	309	1.068
G12	2.224	772	1.098	1.068	1.077	1.853	1.292	767	1.233	445	1.184
G13	2.228	791	1.091	1.078	1.112	1.891	1.346	775	1.233	458	1.200
G14	2.096	667	954	949	996	1.771	1.238	646	1.100	330	1.075
G15	2.093	807	851	1.000	1.284	1.993	1.695	682	1.067	406	1.188
G16	2.124	768	931	1.005	1.173	1.914	1.501	694	1.113	398	1.162
Média das Linhagens	2.069	765	839	969	1.223	1.941	1.613	653	1.047	371	1.149
G17	2.156	951	855	1.093	1.513	2.185	2.021	767	1.112	512	1.316
G18	2.036	847	724	980	1.426	2.090	1.952	652	989	401	1.210
G19	2.020	742	771	931	1.229	1.934	1.650	612	992	337	1.122
G20	2.080	883	775	1.021	1.452	2.120	1.968	694	1.036	441	1.247
Média das testemunhas	2.073	856	781	1.006	1.405	2.082	1.898	681	1.032	423	1.224
Média geral	2.070	783	827	977	1.260	1.969	1.670	659	1.044	382	

⁽¹⁾ G1 a G16 - Linhagens; G17 a G20 - Testemunhas; ⁽²⁾ TE10: Teresina/PI, 2010; BJ10: Bom Jesus/PI, 2010; BJ11: Bom Jesus/PI, 2011; SR10: São Raimundo das Mangabeiras/MA, 2010; SR11: São Raimundo das Mangabeiras/MA, 2011; BA2010: Balsas/MA, 2010; BA2011: Balsas/MA, 2011; SJ2011: São João/PI, 2011; BU 2010: Buriti/MA, 2010 e CG11: Campo Grande/PI, 2011.

4.2.4. Comparação entre metodologias

Na classificação dos genótipos relativos a cada metodologia utilizada neste estudo, nota-se certa discrepância nos resultados (Tabela 13).

Tabela 13. Classificação genotípica, segundo as metodologias de Lin e Binns modificado por Carneiro (1998), Theil (1950) e AMMI utilizadas na caracterização da adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes, em condições de sequeiro.

Genótipos	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Lin e Binns Modificado por Carneiro (Pi geral)	Theil (β1)	AMMI (IPCA1)
G1	1.149	7	16	5
G2	1.188	9	17	2
G3	1.140	13	8	6
G4	1.182	8	7	9
G5	1.262	1	1	20
G6	1.131	6	5	15
G7	1.154	10	20	8
G8	1.171	5	13	3
G9	1.058	18	12	7
G10	1.073	17	4	17
G11	1.068	19	18	12
G12	1.184	16	3	19
G13	1.200	12	15	18
G14	1.075	20	19	16
G15	1.188	14	2	1
G16	1.162	15	14	10
G17	1.316	4	10	11
G18	1.210	3	9	14
G19	1.122	11	6	4
G20	1.247	2	11	13
Média geral (kg ha ⁻¹)	1.164			

Considerando como classificação similar aquelas em que ocorreram variação de uma posição para mais ou para menos, têm-se uma certa similaridade entre as metodologias de Lin e Binns modificada por Carneiro e Theil para 20% dos

genótipos (G4-MNC02-675F-9-3; G9-MNC02-676F-3; G11-MNC02-737F-5-1; G14-MNC02-737F-5-10 e G16-MNC02-737F-11). Entre Lin e Binns modificada por Carneiro e AMMI o percentual de genótipos com classificação próximas é de 15% (G4-MNC02-675F-9-3; G10-MNC02-736F-7; G15-MNC02-737F-5-11 e G17-BRS Tumucumaque). O número de genótipos com posição próximas nos rankings de Theil e AMMI é apenas 10% (G4-MNC02-675F-9-3 e G15-MNC02-737F-5-11) do universo estudado. Mano (2009) e Nunes (2012) encontraram discrepâncias no ranking de posicionamento de genótipos em estudo de comparação de metodologias.

É interessante observar que G4 (MNC02-675F-9-3) apresentou posições bem próximas nas três metodologias estudadas, além de ter sido bem produtivo, reforçando sua previsibilidade.

Reforçando as discrepâncias, o G5 (MNC02-676F-3) foi classificado na primeira colocação nas metodologias de Lin e Binns modificada por Carneiro e Theil, enquanto na metodologia AMMI, ficou em vigésimo lugar.

Segundo Silva e Duarte (2006) é importante utilizar várias metodologias para caracterizar e classificar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica com o objetivo de selecionar ou recomendar confiavelmente os melhores materiais para determinados ambientes.

Quanto ao grau de associação entre as metodologias (Tabela 14), pode-se constatar que ocorreu significância estatística apenas entre os parâmetros de Lin e Binns modificada por Carneiro e Theil. Também foram para esses métodos os melhores valores das correlações. Nascimento et al. (2010) fazendo comparação dessas duas metodologias, para a cultura do café, encontraram classificações distintas para os mesmos genótipos.

Tabela 14. Estimativas do coeficiente de correlação de Spearman para cada par de métodos e produtividade de grãos (kg ha^{-1}), obtidos de 20 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em dez ambientes da Região Meio-Norte do Brasil, nas safras 2010-2011.

Métodos	Lin e Binns modificado por Carneiro	Theil	AMMI
Lin e Binns	-	0,515*	0,009 ^{ns}
Theil		-	0,103 ^{ns}

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ^{ns} Não Significativo

O método AMMI não apresentou correlação significativa com os demais métodos, além disso, as correlações foram de baixa magnitude. Isso sugere que essa metodologia pode fornecer informações complementares às outras metodologias estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva e Duarte (2006), segundo o autor, isso acontece porque o princípio estatístico da metodologia AMMI difere das demais, em razão de ser baseado na interação $G \times A$.

Essa metodologia representa um avanço metodológico, pois permite descartar os ruídos na interação $G \times A$, estimados pelo método, assim em razão desse aprimoramento, essa análise apresenta-se como um método mais aprimorado a esses estudos.

4.3. Análise das características de qualidade tecnológica

A análise de variância individual e conjunta das características de qualidade tecnológica são apresentadas nas Tabelas 15 e 16. Percebe-se que houve diferença significativa entre os genótipos para a característica proteína bruta apenas no ambiente São Raimundo das Mangabeiras, 2011 (SR11), para tempo de cozimento em todos os ambientes, exceto para o ambiente Bom Jesus, 2011 (BJ11) e relação de hidratação e grãos duros ocorreu diferença significativa em todos os ambientes.

A análise conjunta apresentou diferença significativa entre os ambientes e para interação $G \times A$ nas características tempo de cozimento, relação de hidratação e grãos duros.

Isso correu em razão dessas características terem alta influência do ambiente e da interação $G \times A$. Essa interação pode ser explicada pela possibilidade de interferência das condições ambientais na qualidade fisiológica e integridade do tegumento dos grãos.

Tabela 15. Resumo da análise de variância individual e conjunta para proteína bruta e tempo de cozimento de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio					
		Proteína bruta			Tempo de cozimento		
		BJ	SR	BA	BJ	SR	BA
INDIVIDUAL							
Genótipos	18	578,50 ^{ns}	764,84*	1007,41 ^{ns}	54564,95 ^{ns}	30650,51*	122585,95**
Blocos	2	242,16 ^{ns}	33,56 ^{ns}	535,91 ^{ns}	2113,31 ^{ns}	28947,00 ^{ns}	6849,28 ^{ns}
Residuo	36	370,42 ^{ns}	344,06 ^{ns}	651,85 ^{ns}	28924,20 ^{ns}	16436,62 ^{ns}	22805,89 ^{ns}
QMR maior/ QMR menor			1,89			1,76	
Total	56						
Média		247,45	243,69	240,16	16,36	14,31	16,05
CV(%)		7,78	7,61	10,63	16,93	14,62	15,27
CONJUNTA							
Genótipos	18		1.198,37**			94.064,57**	
Ambientes	2		757,84 ^{ns}			274.981,69**	
G x A	36		576,19 ^{ns}			56.868,43**	
Bloco x Ambientes	6		270,54 ^{ns}			12.636,53 ^{ns}	
Residuo	107		455,44			22.722,24	
Total corrigido	170		94.641,01			6.820.210,57	
Média			243,77			15,57	
CV(%)			8,75			15,76	

* e ** (significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente). ^{ns} Não significativo.

Tabela 16. Resumo da análise de variância individual e conjunta para relação de hidratação e grãos de casca dura de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio					
		Relação de hidratação			Grãos de casca dura ⁽¹⁾		
		BJ	SR	BA	BJ	SR	BA
INDIVIDUAL							
Genótipos	18	0,011*	0,028**	0,075**	0,482*	0,237**	0,163*
Blocos	2	0,009 ^{ns}	0,012**	0,001 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Residuo	36	0,004	0,022	0,002	0,013	0,014	0,006
QMR maior/ QMR menor			2,27			2,35	
Total	56						
Média		2,04	2,08	2,02	1,49	1,39	1,42
CV(%)		3,43	2,26	2,29	7,87	8,57	5,47
CONJUNTA							
Genótipos	18		0,085**			0,385**	
Ambientes	2		0,042**			0,147*	
G x A	36		0,014**			0,032**	
Bloco x Ambientes	6		0,007*			0,011 ^{ns}	
Residuo	107		0,003			0,011	
Total corrigido	170						
Média			2,05			1,43	
CV(%)			2,71			7,30	

* e ** (significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente). ^{ns} Não significativo. ⁽¹⁾ Dados transformados $\arcsen \sqrt{n/100}$.

As médias dos genótipos para a característica teor de proteína bruta nos ambientes avaliados são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Média da característica teor de proteína bruta de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR11) e Balsas/MA (BA11), em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Teor de proteína bruta ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)		
	BJ	SR	BA
G1	269 Ba	226 Aa	218 Ab
G2	242 Ba	231 Ba	183 Aa
G3	230 Aa	234 Aa	230 Ac
G4	234 Aa	208 Aa	221 Ab
G5	256 Aa	242 Aa	249 Ac
G6	249 Aa	239 Aa	256 Ac
G7	236 Aa	252 Aa	237 Ac
G8	237 Aa	250 Aa	249 Ac
G9	242 Aa	271 Aa	253 Ac
G10	252 Aa	245 Aa	258 Ac
G11	237 Aa	249 Aa	233 Ac
G12	236 Aa	224 Aa	242 Ac
G13	233 Aa	240 Aa	256 Ac
G14	239 Aa	258 Aa	236 Ac
G15	256 Aa	246 Aa	246 Ac
G16	243 Aa	247 Aa	258 Ac
G17	258 Aa	250 Aa	245 Ac
G18	263 Aa	233 Aa	228 Ac
G19	281 Aa	277 Aa	255 Ac
Média		243	
CV(%)		8,75	

⁽¹⁾ Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$) sendo que letras maiúsculas (vertical) representam ambiente dentro dos genótipos e letras minúsculas (horizontal) genótipos dentro dos ambientes.

Em relação ao teor de proteína bruta houve diferença significativa entre os ambientes apenas para os genótipos G1 (MNC02-675 F-4-9) e G2 (MNC02-675 F-4-2), sendo que o primeiro diferiu no ambiente Bom Jesus-PI e o segundo em Balsas-

MA, os teores encontrados foram respectivamente 269 g kg⁻¹ e 183 g kg⁻¹. Entre os genótipos estudados houve diferença significativa apenas no ambiente Balsas-MA. De maneira geral os resultados variaram de 281 g kg⁻¹ a 183 g kg⁻¹, tendo o maior percentual ocorrido em G19 (BRS Guariba). O teor de proteína médio encontrado foi de 243 g kg⁻¹.

As diferenças encontradas entre os genótipos cultivados no ambiente Balsas devem ser decorrentes de características intrínsecas dos mesmos, que encontraram nesse ambiente condições mais favoráveis para se expressar, haja vista, que ocorreu precipitação de 53,4 mm no mês de maio, época de enchimento das vagens, fato que não ocorreu nos demais ambientes. De acordo com Lajolo et al. (1996), vários fatores podem influenciar o acúmulo de proteína nas sementes, podendo variar desde características intrínsecas da cultivar até atuação de fatores ambientais.

Avaliando oito cultivares lançadas recentemente no mercado Freire Filho et al. (2011) relataram que o teor de proteína bruta variou de 215 g kg⁻¹ a 268 g kg⁻¹, apresentando uma média de 240 g kg⁻¹ valor muito próximo ao encontrado nesse estudo. Em um estudo com populações segregantes (F₂) de feijão-caupi também foram encontradas variações no teor de proteína bruta de 249 g kg⁻¹ a 270 g kg⁻¹ com média de 264 g kg⁻¹ (MOURA, 2011), evidenciando as diferenças entre genótipos cultivados num mesmo ambiente.

Para o tempo de cozimento (Tabela 18), verificaram-se diferenças significativas entre os ambientes, com resultados superiores aos demais no ambiente Bom Jesus para os genótipos G8 (MNC02-684F-5-6), G10 (MNC02-736F-7), sendo 19 minutos cada e em Balsas para G11 (MNC02-737F-5-1 - 22 minutos), G17 (BRS Tumucumaque - 21 minutos) e G19 (BRS Guariba - 24 minutos). Esses resultados poderiam ser explicados pela maior precipitação pluvial que ocorreu nesses locais, o que teria ocasionado alterações na qualidade fisiológica dos grãos de feijão, modificando a integridade do tegumento e a absorção de água (CARBONELL et al., 2003, FARINELLI; LEMOS, 2010). Os prolongados tempos de cozimento, encontrado no ambiente Balsas, MA também podem ser decorrentes do teor de cálcio no solo, pois segundo Pujola et al. (2007) alto teor de cálcio na casca do grão eleva o tempo de cozimento. Ainda entre ambientes São Raimundo das

Mangabeiras foi superior em apenas um genótipo G15 (MNC02-737F-5-11 – 12 minutos), sendo que para essa característica o valor foi inferior aos demais ambientes, o que é desejável, relevando-se como genótipo mais promissor.

Tabela 18. Média obtidas para a característica tempo de cozimento de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR11) e Balsas/MA (BA11), em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Tempo para cozimento ⁽¹⁾ (minutos)		
	BJ	SR	BA
G1	16 Aa	15 Aa	12 Aa
G2	15 Aa	18 Aa	12 Aa
G3	13 Aa	15 Aa	13 Aa
G4	13 Aa	12 Aa	12 Aa
G5	14 Aa	12 Aa	12 Aa
G6	15 Aa	16 Aa	17 Ab
G7	15 Aa	16 Aa	19 Ac
G8	19 Bb	15 Aa	17 Ab
G9	18 Ab	14 Aa	16 Ab
G10	19 Bb	13 Aa	16 Ab
G11	16 Aa	13 Aa	22 Bc
G12	20 Ab	15 Aa	17 Ab
G13	13 Aa	10 Aa	15 Ab
G14	17 Ab	14 Aa	16 Ab
G15	18 Bb	12 Aa	16 Bb
G16	18 Ab	15 Aa	14 Aa
G17	17 Ab	16 Aa	21 Bc
G18	17 Ab	16 Aa	14 Aa
G19	18 Ab	15 Aa	24 Bc
Média		16	
CV(%)		15,76	

⁽¹⁾ Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, sendo que letras maiúsculas representam ambiente dentro dos genótipos e letras minúsculas genótipos dentro dos ambientes.

Entre os genótipos, detectaram-se diferenças significativas nos ambientes Bom Jesus e Balsas. Isso pode ser atribuído, provavelmente, ao fato dos genótipos terem encontrado melhores condições para expressarem seus potenciais genéticos, pois em cada ambiente as condições de clima e solo foram iguais para todos os

genótipos, assim como, as condições em que foram armazenadas as sementes que foram avaliadas. Diferenças nos tempos de cozimentos dos genótipos cultivados no mesmo ambiente também foi descrito por Mashi (2006), que estudando oito genótipos africanos de feijão-caupi, encontrou uma variação de 28 a 46 minutos.

O tempo de cozimento variou entre 10 minutos (G13-MNCO2-737F-5-9 em SR) até 24 minutos (G19-BRS Guariba em BA). Essa diferença de 14 minutos é benéfica e vantajosa para o primeiro genótipo pela economia de tempo e de consumo de gás durante o processo de cozimento.

No Brasil, linhagens e cultivares desenvolvidas pelo programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte têm sido avaliadas quanto ao tempo de cozimento, sendo encontrada uma variação de 13 minutos (BRS Tumucumaque) a 23 minutos (BRS Potengi). Na média, as cultivares de feijão-caupi lançadas recentemente, apresentaram 18 minutos (FREIRE FILHO et al., 2011), valor próximo ao encontrado pelo presente estudo, que foi de 16 minutos.

Silva (2011) estudando essa característica em oito cultivares de feijão-caupi, encontrou resultados similares aos apresentados neste trabalho, com os tempos de cozimento que variou de 9 minutos (BRS Tumucumaque) a 14 minutos (BRS Pajeú).

Em estudos realizados com 2000 genótipos de feijão-caupi pelo International Institute of Tropical Agriculture-IITA na Nigéria, África, o tempo de cozimento apresentou uma variante de 27 minutos a 57 minutos (SINGH, 2006, 2007; SINGH et al., 2009).

Em um estudo envolvendo parentais e populações segregantes de feijão-caupi, o tempo de cozimento variou de 31 minutos (IT-98K-205-8) a 40 minutos (BRS Xiquexique), com média de 36 minutos (MOURA, 2011). Esses resultados são bem superiores aos encontrados nesse estudo, devendo ser explicado pelas características dos genótipos e principalmente do clima, pois em ambos, apesar de haver temperaturas elevadas como nesse estudo, os volumes médios de precipitações pluviométricas são bem maiores.

Diante dos resultados encontrados pode-se afirmar que os genótipos estudados nos diversos ambientes são promissores para o tempo de cozimento, pois, apesar do estresse hídrico, altas temperaturas no período de maturação

fisiológica e o longo tempo de armazenamento, estes estão de acordo com os dos estudos realizados pelo diversos autores acima citados.

Para a característica relação de hidratação observaram-se diferenças significativas entre os ambientes em nove genótipos. Ocorreu diferença significativa no ambiente Bom Jesus apenas para o genótipo BRS Tumucumaque tendo apresentado nesse local a maior relação de hidratação (2,23). Nos demais ambientes ocorreram diferenças significativas entre os genótipos formando três grupos distintos (Tabela 19).

Tabela 19. Médias da característica relação de hidratação de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Relação de hidratação ⁽¹⁾		
	BJ	SR	BA
G1	1,97 Ab	1,87 Bc	1,65 Cd
G2	1,94 Ab	2,02 Ab	1,81 Bc
G3	1,36 Cb	1,91 Ac	1,80 Bc
G4	2,02 Ab	1,98 Ab	1,73 Bd
G5	2,04 Ab	2,08 Ab	1,98 Ab
G6	2,07 Bb	2,18 Aa	2,16 Aa
G7	2,01 Bb	2,17 Aa	2,13 Aa
G8	2,06 Ab	2,17 Aa	2,13 Aa
G9	2,09 Bb	2,22 Aa	2,17 Aa
G10	2,06 Bb	2,16 Aa	2,15 Aa
G11	2,02 Ab	2,04 Ab	2,02 Ab
G12	2,02 Ab	2,06 Ab	2,06 Ab
G13	2,03 Ab	2,05 Ab	2,03 Ab
G14	2,01 Ab	2,09 Ab	2,04 Ab
G15	2,05 Ab	2,07 Ab	2,06 Ab
G16	2,03 Bb	2,02 Bb	2,12 Aa
G17	2,23 Aa	2,23 Aa	2,17 Aa
G18	2,03 Ab	2,05 Ab	2,05 Aa
G19	2,01 Ab	2,08 Ab	2,09 Aa
CV(%)	2,71		
Média	2,05		

⁽¹⁾ Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, sendo que letras maiúsculas representam ambiente dentro dos genótipos e letras minúsculas genótipos dentro dos ambientes.

O comportamento diferencial dos genótipos pode estar associado à rigidez do tegumento, aderência dos cotilédones, elasticidade, porosidade e propriedades coloidais na absorção de água pelos grãos. Efeitos semelhantes também foram encontrados em trabalhos com feijão comum realizados por Esteves et al. (2002) e Coelho et al. (2008).

Após 12 horas de hidratação observou-se uma variação na relação de hidratação entre 1,36 a 2,23. Esse fato significa que nos grãos da maioria dos genótipos foi absorvida sua própria massa de água, tendo em média relação de hidratação de 2,05. Destacou-se nos três ambientes a cultivar BRS Tumucumaque com uma relação de hidratação de 2,21. Mostrou-se promissor para essa característica o genótipo G9 (MNC02-725F-3), apresentando um valor médio de 2,12.

Resultado semelhante foi encontrado por Campos et al. (2010) que estudando características tecnológicas de cinco cultivares de feijão-caupi obtiveram resultados que permitiram concluir que a relação de hidratação desses genótipos variaram de 1,96 (BRS Novaera) a 2,42 (BRS Manzagão), após período de 20 h de embebição, a média geral dos genótipos para essa característica foi de 2,12.

Lam-Sanches et al. (1990) estudando cinco genótipos de feijão-caupi encontraram relação de hidratação média de 2,21.

Para a característica grãos de casca dura (Tabela 20), foram observadas diferenças significativas entre os ambientes apenas para três genótipos G1 (MNC02-675F-4-9), G2 (MNC02-675F-4-2), G3 (MNC02-675F-9-2) e entre genótipos dentro dos ambientes as diferenças foram significativas apenas para cinco sendo os três citados anteriormente e mais G4 (MNC02-675F-9-3) e G9 (MNC02-676F-3).

Como as condições de clima (temperaturas elevadas e ausência de precipitação no período de maturação fisiológica) foram às mesmas para os genótipos dentro de cada ambiente, pressupõe-se que essas linhagens são mais sensíveis a condições de estresse climático que as demais, o que as torna pouco adequadas para o mercado consumidor quando se considera essa característica.

Segundo Carbonell et al. (2003), Ribeiro et al. (2008) e Farinelli e Lemos (2010), a presença de grãos de casca dura é promovida por situações de estresse hídrico e altas temperaturas, próximas à época de colheita dos grãos. Além disso,

esses resultados confirmam que a presença de grãos de casca dura é fortemente influenciada pela genética e efeitos ambientais e as interações entre esses fatores, conforme afirmaram Lemos et al. (2004).

Tabela 20. Médias da característica percentual de grãos de casca dura em 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus (BJ) – PI, São Raimundo das Mangabeiras (SR)- MA e Balsas (BA) - MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Grãos de casca dura ⁽¹⁾		
	BJ	SR	BA
G1	16,1 Ab	68,5 Cd	32,4 Bc
G2	4,2 Ab	38,1 Cc	22,2 Bb
G3	5,1 Ab	24,1 Cb	40,9 Bc
G4	10,0 Ab	22,1 Ab	14,5 Ab
G5	15,7 Ab	15,2 Ab	14,8 Ab
G6	0,0 Aa	0,6 Aa	0,0 Aa
G7	0,0 Aa	0,0 Aa	0,1 Aa
G8	0,4 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
G9	0,0 Aa	0,0 Aa	0,2 Aa
G10	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
G11	0,0 Aa	0,0 Aa	0,2 Aa
G12	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
G13	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
G14	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
G15	0,0 Aa	0,0 Aa	0,0 Aa
G16	0,0 Aa	1,0 Aa	0,0 Aa
G17	0,0 Aa	0,2 Aa	0,2 Aa
G18	0,0 Aa	2,8 Aa	1,6 Aa
G19	0,6 Aa	0,5 Aa	0,0 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, sendo que letras maiúsculas representam ambiente dentro dos genótipos e letras minúsculas genótipos dentro dos ambientes. Dados transformados $\arcsen \sqrt{n/100}$

Para a grande maioria dos genótipos (74%) o percentual de grãos de casca dura variou de 0 a 2,8%, demonstrado comportamento favorável para essa característica. Entretanto, ocorreram valores elevados chegando até a 68,5% (G1-

MNCO2-675F-4-9 em SR), justamente no local onde ocorreu a menor precipitação no período crítico da cultura (R_2 – início do florescimento).

Uma ampla variação, contudo em menor escala em relação a que ocorreu nesse estudo, foram descritas por Lam-Sanches et al. (1990) trabalhando com genótipos de feijão-caupi verificaram grande presença de grãos de casca dura com percentuais que variaram de 0 a 31%.

Apesar de ter sido constatado as diferenças significativas nos genótipos, não foi possível calcular o tempo de máxima de hidratação (Tabelas 21,22 e 23). Esse fato deve ter ocorrido em razão do período (12 h) de embebição no qual foram submetidos os genótipos o qual pode ter sido insuficientes para promoção da hidratação total, podendo ter sido causado pela maior rigidez do tegumento dos grãos.

Houve ajuste em equações lineares e logarítmicas em todos os ambiente e genótipos, tendo sido constatado coeficientes de determinação (R^2) elevados e significativos.

Tabela 21. Regressão entre tempo e a quantidade de água absorvida pelos grãos para obtenção do tempo para máxima hidratação (TMH) de 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliados no município de Bom Jesus/PI, em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Equação de Regressão ¹	R^2	TMH (h:min.)
G1	$y = 0,0732x - 0,8062$	0,98**	-
G2	$y = 0,0656x + 2,1394$	0,99**	-
G3	$y = 0,0697x + 0,5943$	0,99**	-
G4	$y = 0,0744x - 1,5952$	0,98**	-
G5	$y = 0,0671x + 7,4769$	0,94**	-
G6	$y = 9,2482\ln(x) - 8,5947$	0,97**	-
G7	$y = 8,2274\ln(x) - 3,8804$	0,98**	-
G8	$y = 9,2385\ln(x) - 6,4681$	0,96**	-
G9	$y = 8,2080\ln(x) + 0,7111$	0,97**	-
G10	$y = 8,8334\ln(x) - 3,9958$	0,97**	-
G11	$y = 8,6488\ln(x) - 6,2961$	0,99**	-
G12	$y = 9,5272\ln(x) - 12,1147$	0,99**	-
G13	$y = 7,7821\ln(x) + 0,2223$	0,99**	-
G14	$y = 8,2517\ln(x) - 4,9677$	0,99**	-
G15	$y = 9,6333\ln(x) - 10,9817$	0,99**	-
G16	$y = 7,7794\ln(x) - 0,0864$	0,99**	-
G17	$y = 9,5185\ln(x) - 0,5655$	0,99**	-
G18	$y = 13,4577\ln(x) - 36,3776$	0,99**	-
G19	$y = 7,757\ln(x) - 0,5883$	0,99**	-

¹ x- tempo para hidratação(horas); y – quantidade de água absorvida (mL). ** Significativo ($p < 0,01$).
 $\ln(x)$ – função logarítmica de base x

Tabela 22. Regressão entre tempo e a quantidade de água absorvida pelos grãos para obtenção do tempo para máxima hidratação (TMH) de 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliados no município de São Raimundo das Mangabeiras/MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Equação de Regressão ¹	R ²	TMH (h:min.)
G1	$y = 0,0618x - 5,0816$	0,96**	-
G2	$y = 0,071x - 5,1232$	0,95**	-
G3	$y = 0,06x - 1,5438$	0,97**	-
G4	$y = 0,07x - 3,9754$	0,97**	-
G5	$y = 0,083x - 5,2451$	0,98**	-
G6	$y = 12,4859\ln(x) - 23,975$	0,96**	-
G7	$y = 11,25\ln(x) - 16,02$	0,98**	-
G8	$y = 10,8384\ln(x) - 12,473$	0,97**	-
G9	$y = 9,16\ln(x) + 1,18$	0,97**	-
G10	$y = 9,4368\ln(x) - 4,369$	0,98**	-
G11	$y = 7,935\ln(x) - 1,41$	0,98**	-
G12	$y = 8,0747\ln(x) - 1,141$	0,96**	-
G13	$y = 7,49\ln(x) + 2,2$	0,93**	-
G14	$y = 8,27\ln(x) - 1,83$	0,93**	-
G15	$y = 9,116\ln(x) - 7,705$	0,95**	-
G16	$y = 8,82\ln(x) - 6,906$	0,98**	-
G17	$y = 13,556\ln(x) - 25,946$	0,92**	-
G18	$y = -0,000122x^2 + 0,1554x + 2$	0,99**	10:36
G19	$y = 9,629\ln(x) - 8,7552$	0,96**	-

¹ x- tempo para hidratação(horas); y – quantidade de água absorvida (mL). ** Significativo (p<0,01).
ln(x) – função logarítmica de base x

Tabela 23. Regressão entre tempo e a quantidade de água absorvida pelos grãos para obtenção do tempo para máxima hidratação (TMH) de 19 genótipos de feijão-caupi porte ereto/semiereto avaliadas no município de Balsas/MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.

Genótipos	Equação de Regressão ¹	R ²	TMH (h:min)
G1	$y = 0,0448x - 2,2594$	0,96**	-
G2	$y = 0,054x + 1,685$	0,99**	-
G3	$y = 0,0531x + 2,208$	0,99**	-
G4	$y = 0,04885x + 0,1317$	0,99**	-
G5	$y = 0,06515x + 3,1144$	0,99**	-
G6	$y = 10,634\ln(x) - 13,122$	0,99**	-
G7	$y = 10,32\ln(x) - 10,251$	0,97**	-
G8	$y = 10,633\ln(x) - 13,207$	0,98**	-
G9	$y = 11,145\ln(x) - 15,732$	0,98**	-
G10	$y = 10,311\ln(x) - 9,808$	0,97**	-
G11	$y = 8,5944\ln(x) - 5,603$	0,95**	-
G12	$y = 8,426\ln(x) - 2,694$	0,96**	-
G13	$y = 8,3511\ln(x) - 5,414$	0,96**	-
G14	$y = 8,703\ln(x) - 4,382$	0,98**	-
G15	$y = 8,529\ln(x) - 3,566$	0,97**	-
G16	$y = 8,596\ln(x) + 0,101$	0,97**	-
G17	$y = 10582\ln(x) - 10,775$	0,98**	-
G18	$y = 14,76\ln(x) - 42,678$	0,99**	-
G19	$y = 8,339\ln(x) - 1,91$	0,91**	-

¹ x- tempo para hidratação(horas); y – quantidade de água absorvida (mL). ** Significativo (p<0,01).
ln(x) – função logarítmica de base x

É importante observar que os genótipos que apresentaram equações logarítmicas absorveram água nas horas iniciais mais rapidamente que aqueles que apresentaram equações lineares. Esses resultados evidenciam a necessidade de pesquisa nessa área de conhecimento, a fim de verificar as características de qualidades tecnológicas do produto em diferentes ambientes de pesquisa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues et al., 2004 para a maioria das cultivares de feijão comum estudado.

As estimativas de correlações entre as características estudadas são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24. Coeficientes de correlação entre as características relação de hidratação (RH) percentual de grãos de casca dura (GD), teor de proteína bruta (PB), tempo de cozimento (TC) e produtividade de grãos (PG) de 19 genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto avaliados nos municípios de Bom Jesus/PI (BJ), São Raimundo das Mangabeiras/MA (SR) e Balsas/MA (BA), em condições de sequeiro na safra de 2011.

	RH	GD	PB	TC
GD	- 0,62**	-	-	-
PB	0,35**	0,27**	-	-
TC	0,15*	0,26**	0,06 ^{ns}	-
PG	0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,07 ^{ns}

**, * Significativo a 1% (p<0,01) e a 5% (p<0,05), respectivamente. ^{ns} Não significativo.

A correlação média negativa e significativa entre as características relação de hidratação e grãos de casca dura revelaram que o aumento na relação de hidratação reduz a dureza dos grãos. Resultado semelhante foi encontrado para feijão-comum por Rodrigues et al. (2005b) e Ribeiro et al. (2008). A correlação entre tempo de cozimento e grãos de casca dura, embora baixa foi significativa revelando que a hidratação ou não dos grãos não foi impedimento para o cozimento dos mesmos a 96 °C.

A relação de hidratação e o tempo de cozimento apresentaram correlação positiva e significativa. Isso sugere que a seleção para aumento da relação de hidratação pode levar também a aumento no tempo de cozimento, o que não é preferível no melhoramento. Esse resultado foi semelhante aos encontrados por Dalla Corte et al. (2003), Rodrigues et al. (2004). No entanto, a seleções de

genótipos com base na utilização do teste de absorção de água pelos grãos como indicativo do tempo de cozimento são pouco expressivas e nem sempre confiáveis, decorrente da baixa correlação encontrada, afirmaram Coelho et al. (2008).

O teor de proteína bruta apresentou correlação significativa e positiva com relação de hidratação, sugerindo que a relação para diminuir a relação de hidratação pode levar a perdas no teor de proteína bruta.

Para esse grupo de genótipos não houve correlação significativa entre a produtividade de grãos e os caracteres tecnológicos estudados, evidenciando que não houve associação linear entre essas variáveis. Isso indica que a seleção dessas características não tem nenhuma influência sobre a produtividade e vice-versa.

Na literatura são encontrados citações de correlações negativas e positivas, respectivamente, entre produção e teor de proteína bruta no grão em feijão-caupi (SILVA et al., 2011, ANDRADE, 2010 e MOURA, 2011).

Embora tenha ocorrido correlação entre as variáveis, estas foram de maneira geral de baixa-média magnitude tornando frágil a seleção desse grupo de genótipos com base em correlações para características de qualidade tecnológicas, conforme afirmaram Carbonell et al. (2003).

5. CONCLUSÕES

1. De acordo com a metodologia de Theil, todos os genótipos apresentaram adaptação geral aos ambientes avaliados.

2. Pela metodologia de Lin e Binns modificada por Carneiro, o genótipo MNC02-676F-3 foi o que apresentou maior adaptabilidade e estabilidade aos ambientes testados, respondendo melhor àqueles com maior adoção de tecnologias.

3. Pelo método AMMI, a cultivar BRS Tumucumaque reuniu mais genes para adaptabilidade e estabilidade aos ambientes da região Meio-Norte do Brasil.

4. As metodologias de Lin e Binns modificada por Carneiro (1998) e Theil (1950) não devem ser usadas simultaneamente e a metodologia AMMI pode ser usada como complemento às demais metodologias estudadas.

5. A metodologia AMMI permitiu identificar, no conjunto de dados avaliados, com mais facilidade e precisão, genótipos e ambientes superiores em adaptabilidade e estabilidade.

6. Todos os genótipos de feijão-caupi apresentaram bom desempenho tecnológico, destacando-se a cultivar BRS Tumucumaque no ambiente Bom Jesus-PI quanto à característica relação de hidratação.

7. A seleção para aumento da relação da hidratação e diminuição da porcentagem de grãos de casca dura pode levar a perdas no teor de proteína dos grãos no grupo de genótipos avaliados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEWALE, B. D; OKONJI, C.; OYEKANMI, A. A.; AKINTOBI, D. A. C.; AREMU, C. O. Genotype variability and stability of some grain yield components of cowpea. **African Journal of Agricultural Research**: Lagos, v.5, n.9, p.874-880, 2010.

AKANDE, S. R. Genotype by environment interaction for cowpea seed yield and disease reactions in the forest and derived savanna agro-ecologies of south-west Nigeria. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**: Deira, v. 2, n.3-4, p.163-168, 2007.

AKANDE, S. R.; BALOGUN, M. O. Multi-location evaluation of cowpea grain yield and other reproductive characters in the forest and southern guinea savanna agro-ecologies of Nigeria. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**: Omense, v. 8, n.7, p.526-533, 2009.

ANDRADE, F. N. **Avaliação de linhagens de tegumento e cotilédones verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 109f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

ANNICCHIARICO, P. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment 68 interactions for cereals in Italy. **Euphytica**: Netherlands, v. 94, n.1, p. 53-62, 1997.

AREMU, C. O; ARIYO, O. J; ADEWALE, B. D. Assessment of selection techniques in genotype x environment interaction in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **African Journal of Agricultural Research**: Lagos, v. 2, n. 2, p.352-355, 2007.

AREMU C. O.; ADEBAYO, M. A.; ADENIJI, O. T. Seasonal performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) in humid tropics using GGE biplot analysis. **World Journal of Biological Research**: Sovenia Manelli, v. 1, n. 1, p.8-13, 2008.

ARMELIN, J. M.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; PIEDADE, S. M. DE S.; FARINAZZI, F. M. V. M.; SPOTO, M. H. F. Avaliação física de feijão carioca irradiado. **Ciência Tecnologia Alimentos**: Campinas, v.27, n. 3, p 498-502, 2007.

ASIO, M. T.; OSIRU, D. S. O.; ADIPALA, E. Multilocation evaluation of selected local and improved cowpea lines in Uganda. **African Crop Science Journal**: Kampala, v. 13, n. 4 p.239-247, 2005.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat** - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Versão 1.1.0.695, 2011.

BARROS, M, B. **Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva na região Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2012. 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; ROCHA, F. da. Tempo de cozimento de grãos de feijão em função de doses de fósforo no plantio e do tempo de armazenamento. **Biotemas**: Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 39-47, 2009.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. v. 1. 525 p.

BOUKAR, O.; MASSAWE, F.; MURANAKA, S.; FRANCO, J.; MAZIYA-DIXON, B. Evaluation of cowpea germoplasma lines for minerals and protein content in grains. In: WORLD COWPEA CONFERENCE, 5., 2010, Saly. **Abstracts**...Ibadan: IITA, 2010. p. 18.

BURATTO, J. S., MODA-CIRINO, V.; FONSECA JÚNIOR, N. S., PRETE, C. E. C., FARIA, R. T. Adaptabilidade e estabilidade produtiva em genótipos precoces de feijão no estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 373-380, 2007.

CAMPOS, E. DE S.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; ALBUQUERQUE, J. de A. A. de; SANTOS, C. S. V. dos. Características morfológicas e físicas de grãos secos e hidratados de cinco cultivares de feijão-caupi. **Revista Agro@mbiente On-line**: Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 34-41, 2010.

CARBONELL, S. A. M.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**: Campinas, v.62, n.3, p.369-379, 2003.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 155 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CARVALHO, H. W. L.; BRITO NETO, J.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; RIBEIRO, S. S.; RODRIGUES, A. R. S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto no biênio 2004-2005. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.

CARVALHO, L. C. B. **Potencial de cruzamentos dialélicos visando a obtenção de populações biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

CARVALHO, L. M. J. de; PEREIRA, E. de J.; VIANA, D. S.; NUTTI, M. R.; ROCHA, M. DE M.; SILVA, K. J. D. e; CARVALHO, J. L. V. de. Tempo de cozimento de cultivares de feijão-caupi. IV REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO, 2011, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROOM.

CASTELLÓN, R. E. R., ARAÚJO, F. M. M. C. DE, RAMOS, M. V., ANDRADE NETO, M., FREIRE FILHO, F. R., GRANGEIRO, T. B.; CAVADA, B. S. Composição elementar e caracterização da fração lipídica de seis cultivares de caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: Campina Grande, v.7, n.1, p.149-153, 2003.

COCHRAN, W. G.; COX, G. **Experimental designs**. 2.ed, John Wiley; Sons, 1957. 611 p.

COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; NÓBREGA, L. H. P.; LEITE, C. F. R. Alterações no tempo de cozimento e na textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**: Lavras, v. 33, n. 2, p. 539-544, 2009.

COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; DANELLI, A. L. D.; PEREIRA, T.; SANTOS, J. C. P.; PIAZZOLI, D. Capacidade de cozimento de grãos de feijão em função do genótipo e da temperatura da água de hidratação. **Ciência e Agrotecnologia: Lavras**, v. 32, n. 4, p. 1080-1086, 2008.

CORNELIUS, P. L.; SEYEDSADR, M.; CROSSA, J. Using the shifted multiplicative model to search for “separability” in crop cultivar trials. **Theoretical and Applied Genetics**: Stuttgart, v. 84, n. 1-2, p. 161-172, 1992.

CROSSA, J. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in Agronomy**: Maryland Heights, v.44, p.55-85, 1990.

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

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. A.; VENCOSKY, R. An alternative to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**: Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

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

DALLA-CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. D. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**: Londrina, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.

DAMASCENO-SILVA, K. J. D. **Estatística da produção de feijão-caupi**. Grupo cultivar. 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/estatistica.pdf>>. Acesso em novembro de 2012.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Correlation among yield stability parameters in common bean. **Crop Science**: Guilford Rd, v. 35, n.3, p. 905-912, 1995.

DURIGAN, J. F. **Influência do tempo e das condições de estocagem sobre as propriedades químicas, físico-mecânicas e nutricionais do feijão mulatinho** (*Phaseolus vulgaris* L.) 1979. 81f. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 1979.

DURIGAN, J. F.; FALEIROS, R. R. S.; LAM-SANCHES, A. Determinação das características tecnológicas e nutricionais de diversas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). I. Características Tecnológicas. **Científica**: São Paulo, v.6, n.2, p.209-213, 1978.

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

ELIAS, H. T., BACKES, R. L., VIDIGAL, M. C. G., BALBINOT JR., A. A., HEMP, S. Estabilidade e adaptabilidade de linhagens e cultivares de Feijão do grupo carioca. **Scientia Agraria**: Curitiba, v. 8, n. 4, p. 379-384, 2007.

ELIAS, H. T; HEMP, S.; SCAPIM, C. A.; RODOVALHO, M. A.; ROYER, M. R.; MORA, F.; BARRETO, R. R. Análise de estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum**: Maringá, v. 27, n. 4, p. 623- 628, 2005.

ESTEVES, A. M.; ABREU, C. M. P. de; SANTOS, C. D. dos; CORRÊA, A. D. Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**: Lavras, v. 26, n. 5, p. 999-1005, 2002.

FAOSTAT. Production. Crops. Disponível em:
[http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID = 567&lang = cn#cnanchor](http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567&lang=cn#cnanchor).
 Acesso em 10 junho 2012.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Qualidade nutricional e tecnológica de genótipos de feijão cultivados em diferentes safras agrícolas. **Bragantia**: Campinas, v. 69, n. 3, p759-764, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**: Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 81 p. 2011.

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

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi prostrado utilizando o modelo AMMI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2003, Porto Seguro. **Anais...** Londrina: SBMP, 2003. 1 CD-ROM.

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

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

FROTA, A. B.; PEREIRA, P. R. Caracterização da produção do feijão caupi na região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (ed). **A Cultura do Feijão Caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 9-25.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI Analysis of yield trials. In: KANG, M. S. GAUCH, H. G. Genotype-by-environment interaction. **CRC Boca Raton**: Florida, 1996. p. 85-122.

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**: New York, v. 33, n. 1, p.73-115, 1968.

GOMES, F. G. J.; LIMA, E. R.; LEAL, A. J. F.; MATOS, F. A.; SÁ, M. E.; HAGA, K. I. Teor de proteína em grãos de feijão em diferentes épocas e doses de cobertura nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**: Maringá, v. 27, n. 3, p. 455-459, 2005.

HARTLEY, H. O. The use of range in analysis of variance. **Biometrika**: Oxford, v. 37, p. 271-280, 1950.

HENSHAW, F. O. Varietal differences in physical characteristics and proximation composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). **World Journal of Agricultural Sciences**: Deira, v. 4, n. 3, p. 302-306, 2008.

HETZEL, S. Com preço alto, área do feijão deve crescer. In: **AGRIANUAL 2009**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2009. p. 312-313.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stabilit. Part I: theory. **Euphytica**: Dordrecht, v. 47, n. 3, p. 189-194, 1990.

IQBAL, A.; KHALIL, I. A.; ATEEQ, N.; KHAN, M. S. Nutritional quality of important food legumes. **Food Chemistry**: Barking, v. 97, n. 2, p. 331-335, 2006.

KANG, M, PHAM, H. N. Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. **Agronomy Journal**: Madison, v. 83, n.1, p.161-163, 1991.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAUJO, R. S.; AGUSTÍNRAVA, C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, p. 71-99, 1996.

LAM-SANCHES, A.; DURIGAN, J. F.; CAMPOS, S. L.; SILVESTRE S.R.; PEDROSO, P. A.C.; BANZATTO, D. A. Efeitos da época de semeadura sobre a composição química e características físico-químicas de grãos de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. *Phaseolus angularis* (Wild) Wright e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Alimentos e Nutrição**: São Paulo, v.2, n.1, p.35-44, 1990.

LEMO, L. B.; OLIVEIRA, R. S. de; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B da Características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: Brasília, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v. 23, 2011.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v. 24, 2012.

LIN, C. S.; BINS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivars x location data. **Canadian Journal of Plant Science**: Ottawa, v. 68, n. 1, p.193-198, 1988.

LOPES, A. M.; CRAVO, M. S.; SAMPAIO, L. S. Efeito da interação genótipo x ambiente no rendimento de grãos de feijão-caupi de porte ereto no estado do Pará. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; LAVORANTI, O. J; DIAS, C. T. S.; VENCovsky, R.; ROCHA, M. M.; NUNES, G. H. S. AMMI-bootstrap no estudo da interação genótipos por ambientes em soja. **Revista de Matemática e Estatística**: São Paulo, v. 24, n. 3, p. 7-24, 2006.

MANO, A. R. O. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão de corda**. 2009. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia), Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MASHI, D. S. **Genetic studies on seed coat texture and cooking time in some varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2006, 147 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Cytogenetics and Plant Breeding) – Faculty of Natural Sciences, University of Jos, Nigeria.

MESQUITA, F. R., CORRÊA, A. D, ABREU, C. M. P. DE, LIMA, R. A. Z., ABREU, A. DE F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**: Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MORAIS, P. P. P.; VALENTINI, G.; GUIDOLIN, A. F.; BALDISSERA, J. N. DA C.; COIMBRA, J. L. M. Influência do período e das condições de armazenamento de feijão no tempo de cozimento. **Revista Ciência Agrônômica**: Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 593-598, 2010.

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

MORELLO, C. L.; DUARTE, J. B.; SILVA FILHO, J. L.; SUASSUNA, N. D. Interação genótipo x ambiente em linhagens de algodoeiro desenvolvidas para condições de cerrado. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**: Campina Grande, v. 12, n.2, p. 89-95, 2008

MOURA, J de O. **Potencial de populações segregantes de feijão-caupi para biofortificação e produção de grãos**. UFPI: Teresina. Dissertação de mestrado, 82p. 2011

NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R. G., CAMPANA, A. C. M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: Brasília, v. 45, n. 1, p. 41-48, 2010.

NACHIT, M. M.; NACHIT, G.; KETATA, H.; GAUCH, H.G. ZOBEL, R.W. Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype-environment interaction in durum wheat. **Theoretical and Applied Genetics**: Heidelberg, v. 83, n. 5, p. 597-601, 1992.

NUNES, H. F. **Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho em cultivos de sequeiro e irrigado**. 2012. 106 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

OJO, D. K.; ODUOLA, M. S.; ODUWAYE, O. A. Graphical assessment of yield stability and adaptation in cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Nigerian Journal of Genetics**: Ile Ife, v. 20, p.17-25, 2006

OKWU, D. E.; ORJI, B. O. Phytochemical composition and nutritional quality of *Glycine max* and *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **American Journal of Food Technology**: Lund, v. 2, n. 6, p. 512-520, 2007.

OLADEJO, A. S.; AKINWALE, R. O.; OBISESAN, I. O. Interrelationships between grain yield and other physiological traits of cowpea cultivars. **African Crop Science Journal**: Kampala, v. 19, p. 189-200, 2011.

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

OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: Brasília, v.41, n.2, p.275-265, 2006.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12. Trabalhos selecionados do Second World Cowpea Research Conference, 1995, Accra, Ghana.

PIEPHO, H. P. Robustness of statistical test for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trial. **Theoretical and Applied Genetics**: Stuttgart, v. 90, n. 3-4, p. 438-443, 1995.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14^a ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477p.

PUJOLA, M.; FARRERAS, A.; CASANAS, F. Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**: Amesterdam, v. 102, n. 4, p.1034-1041, 2007.

RIBEIRO, H. J. S.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; MIYAGUI, D. T. Propriedades físicas e químicas de feijão comum preto, cultivar IAPAR 44, após envelhecimento acelerado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**: Campinas, v. 25, n. 1, p. 165-169, 2005.

RIBEIRO, N. D.; RODRIGUES, J. de A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N. L.; TRENTI, M.; ROSA, S. S. da. Efeito de períodos de semeadura e das condições de armazenamento sobre a qualidade de grãos de feijão para o cozimento. **Bragantia**: Campinas, v. 66, n. 1, p.157-163, 2007.

RIBEIRO, N. D.; POERSCH, N. L.; ROSA, S. S. da. Períodos de semeadura e condições de armazenamento na qualidade de cozimento de grãos de feijão. **Ciência Rural**: Santa Maria, v.38, n.4, p.2008.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**: Campinas, v. 23, p. 39-45, 2003.

ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. Piracicaba, 2002. 184 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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

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

ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F. da; SILVA, R. G.; PINHO, J. L. N.; ALCÂNTARA, J. P. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado na região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009a, Belém. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009a. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F. da; SILVA, R. G.; PINHO, J. L. N.; ALCÂNTARA, J. P. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte ereto na região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009b, Belém. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009b. 1 CD-ROM.

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

ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; BARROS, F. R.; RODRIGUES, E. V. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi ao semiárido Piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: SBMP, 2011a. 4 p. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D. E; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D. Variabilidade genética de acessos de feijão-caupi para os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos. REUNIÃO BIOFORTIFICAÇÃO, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011b. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, J. de A.; RIBEIRO, N. D.; POERSCH, N. L.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A. Standardization of imbibition time of Common bean grains to evaluate cooking quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**: Viçosa, v.4; n. 4, p.465-471, 2004.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TRENTIN, M.; LONDERO, P. M. G. Cooking quality of common bean grain obtained in different sowing periods. **Bragantia**: Campinas, v. 64, n. 3, p. 369- 376, 2005a.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento em cultivares de feijão. **Ciência Rural**: Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005b.

SAMPAIO, L. S.; CRAVO, M.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q. Avaliação de linhagens de feijão-caupi em Igarapé Açu-PA. In: CONAC – CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 7, 2009, Belém. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 1 CD-ROOM.

SANTOS, C. A. F.; BARROS, G. A. A.; SANTOS, I. C. C. N.; FERRAZ, M. G. S. Comportamento agrônômico e qualidade culinária de feijão-caupi no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**: Brasília, v. 26, n.4, p. 404-408. 2008.

SARVAMANGALA, C.; UMA, M. S.; BIRADAR, S.; SALIMATH, P. M. Stability analysis for yield and yield components over seasons in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Electronic Journal of Plant Breeding**: Coimbatore, v.1, p. 1392-1395, dez. 2010.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974.56p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT** software: changes and enhancements through. Cary, 2002. 1116 p. Release 6.12.

SPRENT, P.; SMEETON, N.C. **Applied nonparametric statistical methods**. 4th ed. Boca Raton: Chapman and Hall, 2000. 480p.

SCOTT, A. J., KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**: Chichester, v.30, n.3, p.507-12, 1974.

SHIRINGANI, R. P.; SHIMELIS, H.A. Yield response and stability among cowpea genotypes at three planting dates and test environment. **African Journal of Agricultural Research**: Lagos, v.6, n.14 p.3259-3263, 2011.

SILVA, S. Z. **Resistência e qualidade tecnológica de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) a *Colletosobruchus maculatus***. 2011. 80f Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: Brasília, v.41, n. 1, p. 23-30, 2006.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**: Fortaleza, v. 42, n.3, p. 702- 713, 2011

SINGH, B. B. Cowpea breeding at IITA: highlights of advances and impacts. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.

SINGH, B. B. Recent Progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulture**: The Hague, v. 752, n. 13, p. 69-76, 2007.

SINGH, B. B.; AJEIGBE, H. A.; SINGH, Y. V. Breeding high yielding cowpea varieties enhanced quality and nutritional traits. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 1 CD-ROM.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. **Indagationes Mathematicae**: Amsterdam, v.12, p.85-91, 1950

VENCOVSKY, R.; TORRES, R. A. A. Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1988. **Anais...** Belo Horizonte: EMBRAPA, CNPMS, 1988. p. 294-300. 1988.

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer, **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**: v. 52, p. 127-138. 1965.

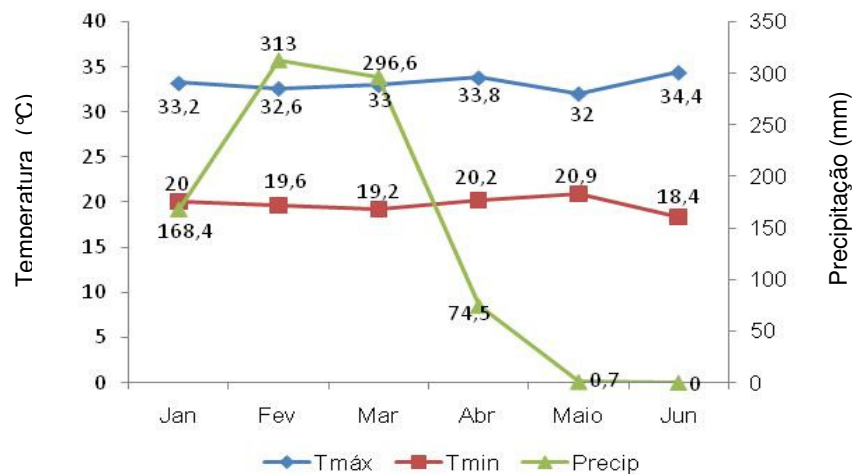
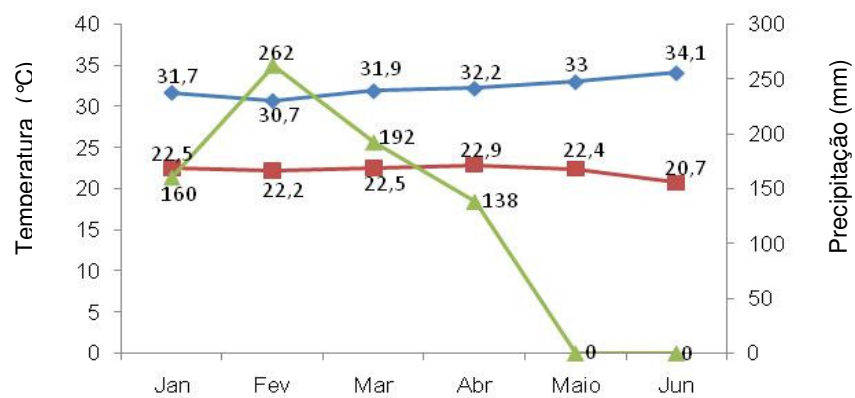
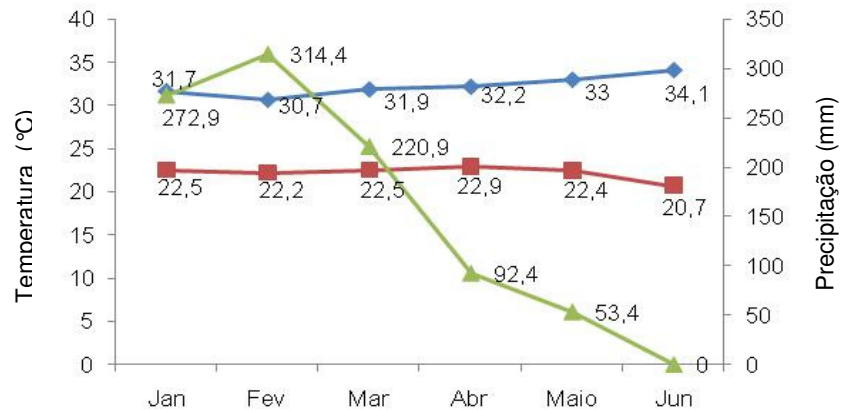
YAU, S. K. Regression and AMMI analyses of genotype x environment interactions: an empirical comparison. **Agronomy Journal**: Madison, v. 87, n. 1, p.121-126, 1995.

YOUSIF, A. M.; DEETH, H.C.; CAFFIN, N. A. Effect of storage time and conditions on the hardness and cooking quality of adzuki (*Vigna angularis*). **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**: Zurich, v. 35, n. 2, p. 338-343, 2002.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**: Madison, v. 80, n. 3, p. 388-393, 1988.

7. APÊNDICES

APÊNDICE A. Temperaturas máximas, mínimas e precipitação mensal nos ambientes Balsas (A), São Raimundo das Mangabeiras (B) e Bom Jesus (C), referentes aos meses de janeiro a junho de 2011.



APÊNDICE B. Características químicas de um Latossolo Amarelo na camada de 0-20 cm, em experimento com genótipos de feijão-caupi de porte ereto/semiereto, avaliados em condições de sequeiro no município de Bom Jesus/PI (A), Balsas/MA (B) e São Raimundo das Mangabeiras/MA (C), no ano de 2011.

pH	M.O.	P resina	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(CaCl ₂)	(g kg ⁻¹)	(mg dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)						(%)
4,4	15,86	54,10	6,90	0,11	1,78	0,63		9,43	26,84

A

M.O – matéria orgânica; P-fósforo; H-hidrogênio;AL- alumínio; K-potássio; Ca- cálcio; Mg-magnésio; SB-soma de base; CTC- capacidade de troca catiônica e V-saturação por base.

pH	M.O.	P resina	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(CaCl ₂)	(g.dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)						(%)
4,7	2,7	-	5,1	7,6	2,5	0,6		8,4	39

B

M.O – matéria orgânica; P-fósforo; H-hidrogênio;AL- alumínio; K-potássio; Ca- cálcio; Mg-magnésio; SB-soma de base; CTC- capacidade de troca catiônica e V-saturação por base.

pH	M.O.	P resina	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(CaCl ₂)	(g.dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)						(%)
4,5	1,66	30	1,23	0,19	2,5	0,9	3,6	3,6	74,48

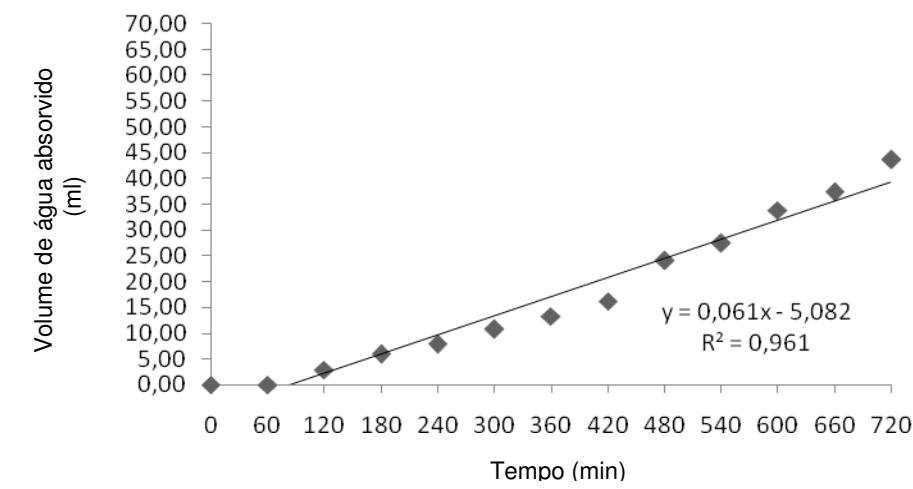
C

M.O – matéria orgânica; P-fósforo; H-hidrogênio;AL- alumínio; K-potássio; Ca- cálcio; Mg-magnésio; SB-soma de base; CTC- capacidade de troca catiônica e V-saturação por base.

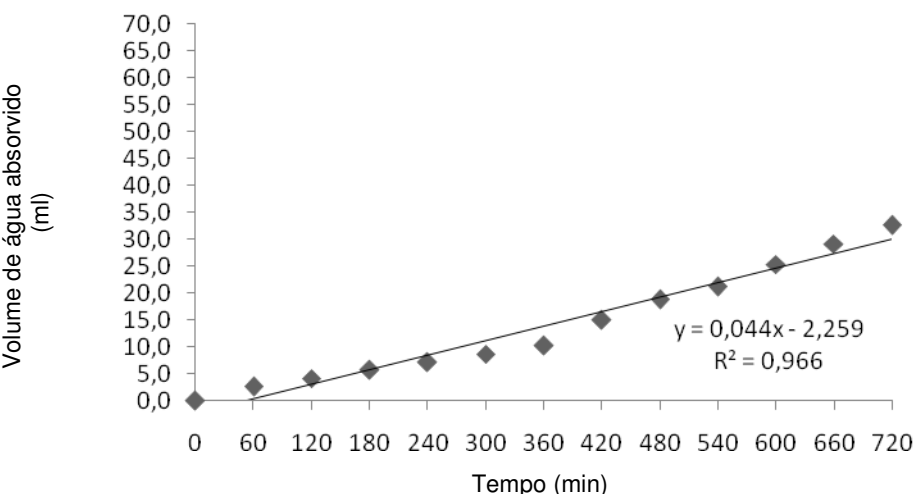
APÊNDICE C. Quantidade de água absorvida pelos grãos em função do tempo de hidratação de genótipos (G1 = MNC02-675F-4-9, G2 = MNC02-675F-4-2, G3 = MNC02-675F-9-2, G4 = MNC02-675F-9-3, G5=MNC02-676F-3, G6=MNC02-682F-2-6, G7=MNC02-683F-1, G8=MNC02-684F-5-6, G9=MNC02-725F-3, G10 = MNC02-736F-7, G11 = MNC02-737F-5-1, G12 = MNC02-737F-5-4, G13 = MNC02-737F-5-9, G14 = MNC02-737F-5-10, G15 = MNC02-737F-5-11, G16 = MNC02-737F-11, G17 = BRS Tumucumaque, G18 = BRS Cauamé e G19 = BRS Guariba) de feijão-caupi porte ereto/semiereto cultivados nos municípios de São Raimundo das Mangabeiras (SR) – MA, Bom Jesus (BJ) – PI e Balsas (BA) - MA, em condições de sequeiro na safra de 2011.

APÊNDICE C1

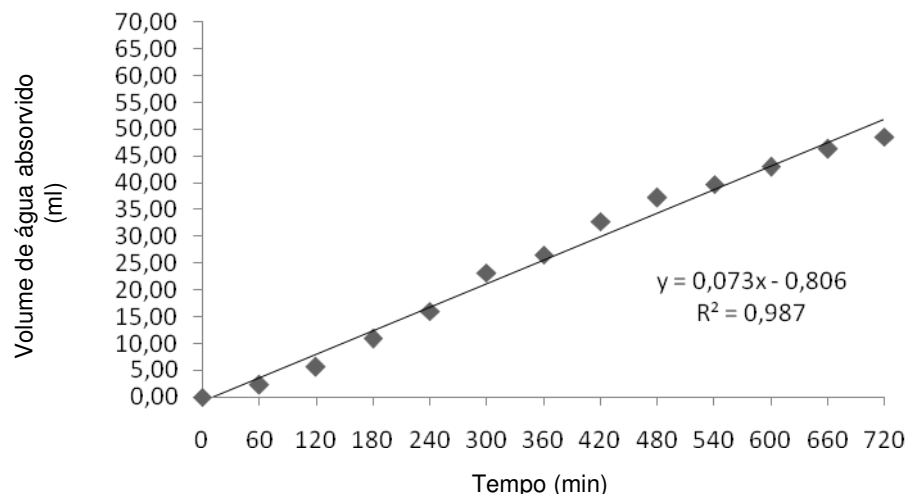
G1SRM



G1BA

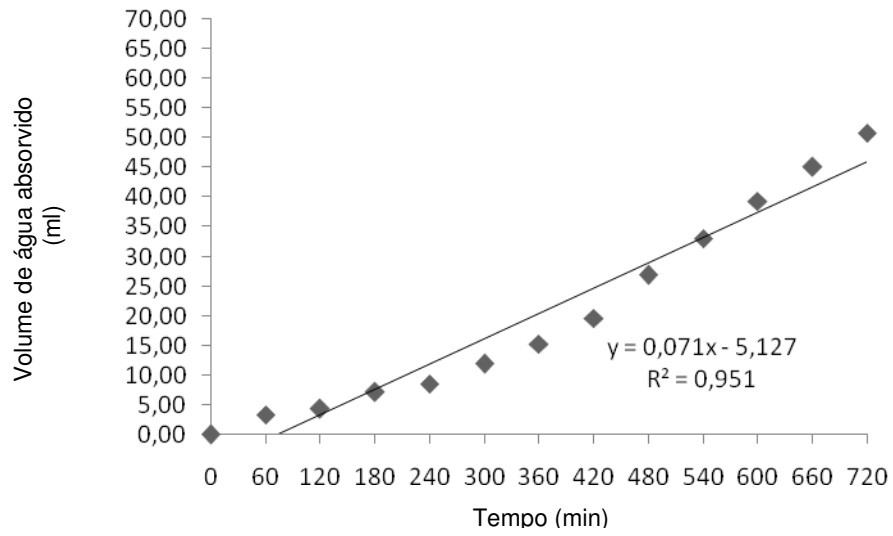


G1BJ

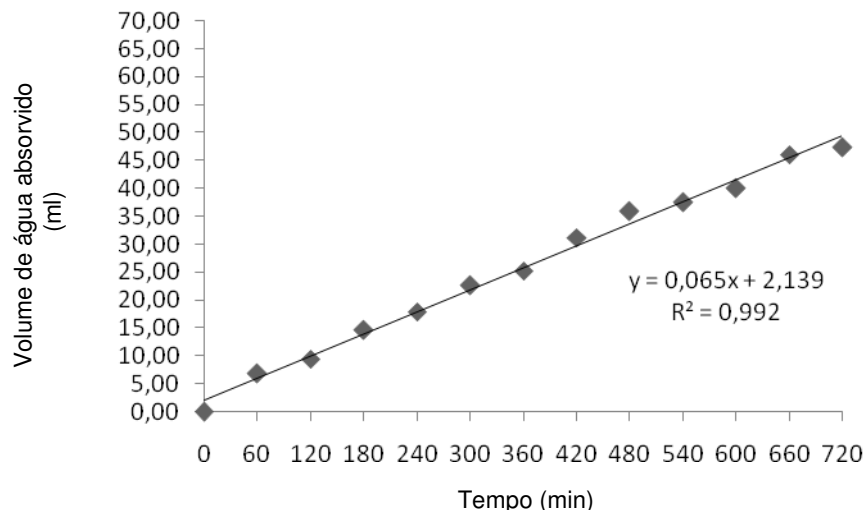


APÊNDICE C2

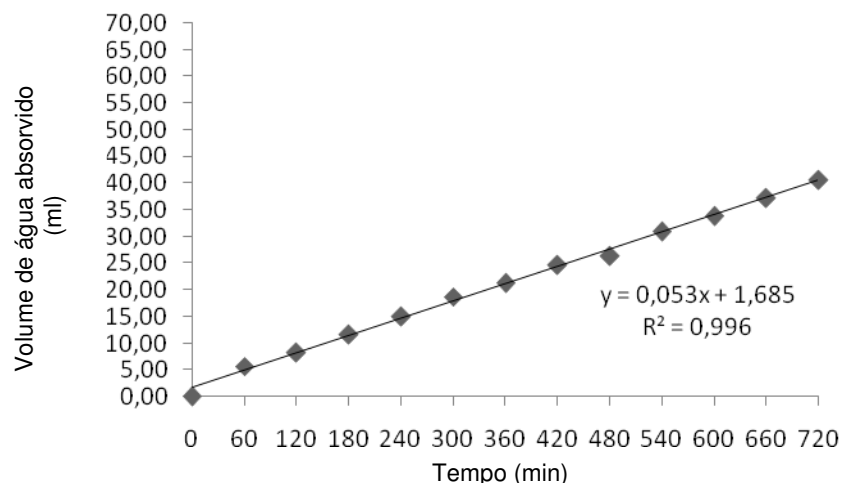
G2SRM



G2BJ

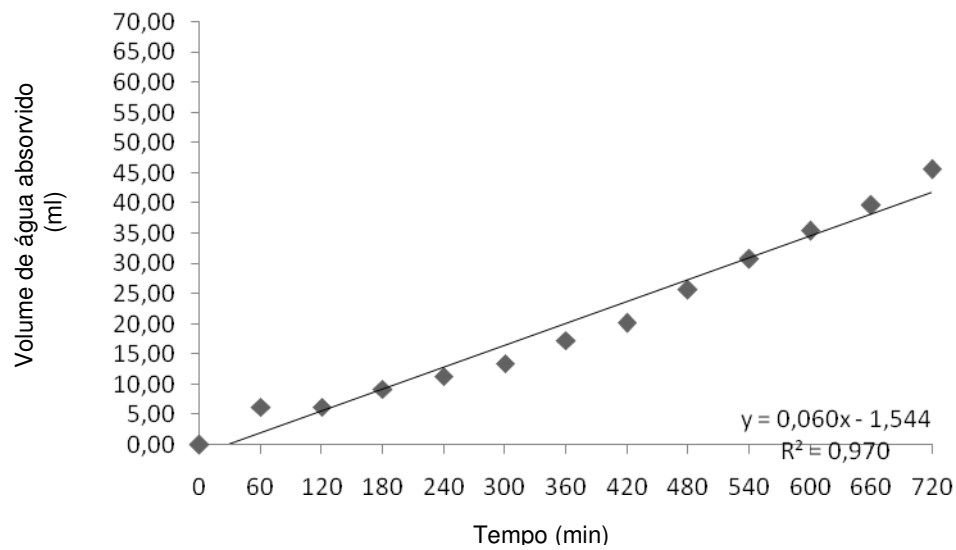


G2BA

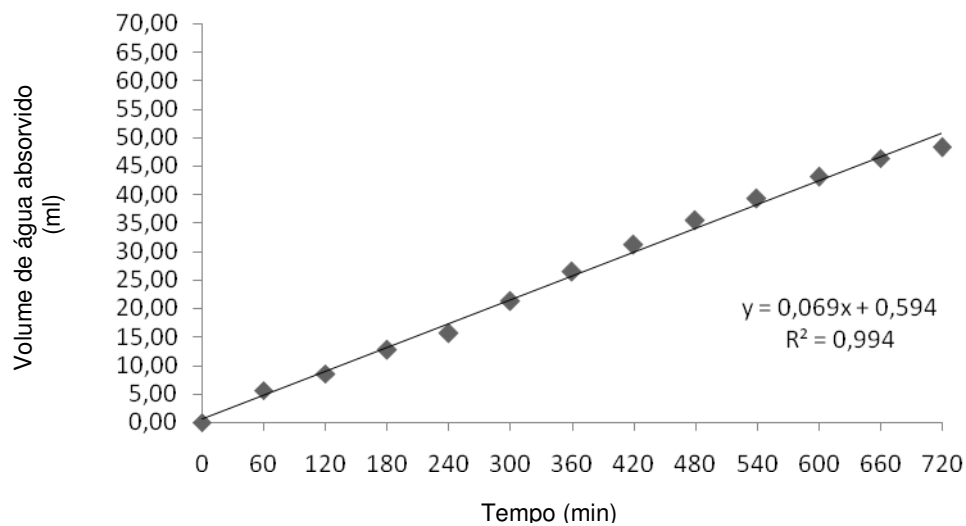


APÊNDICE C3

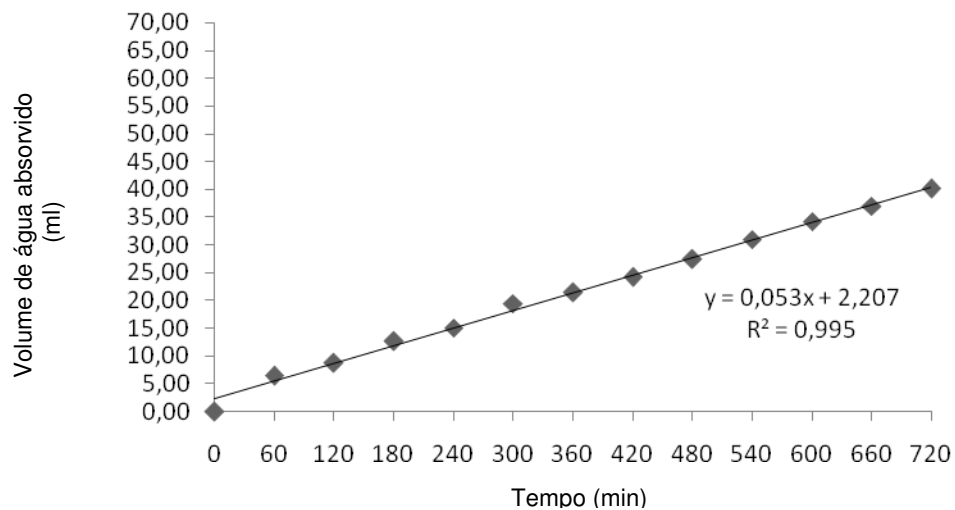
G3SR



G3BJ

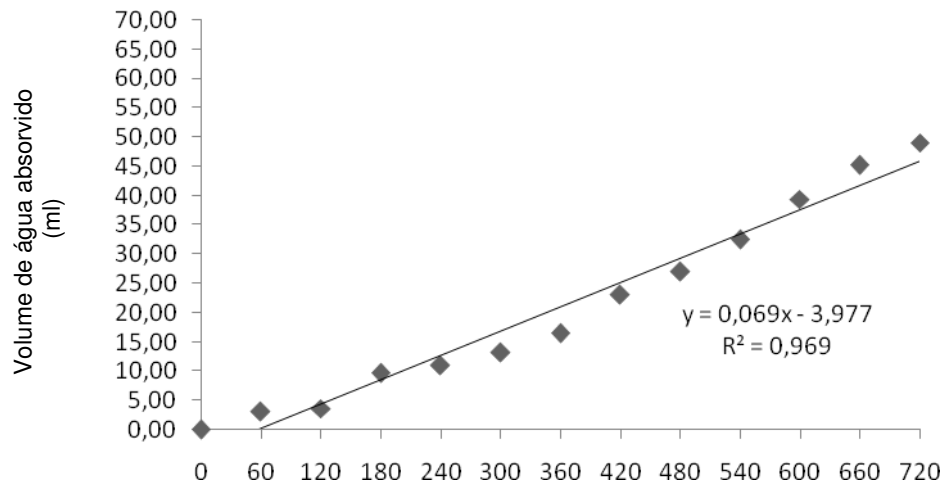


G3BA

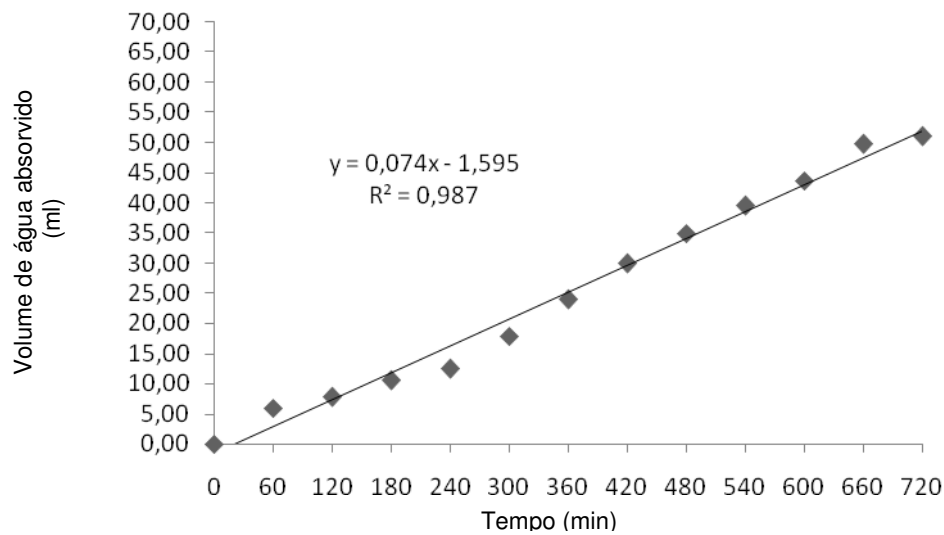


APÊNDICE C4

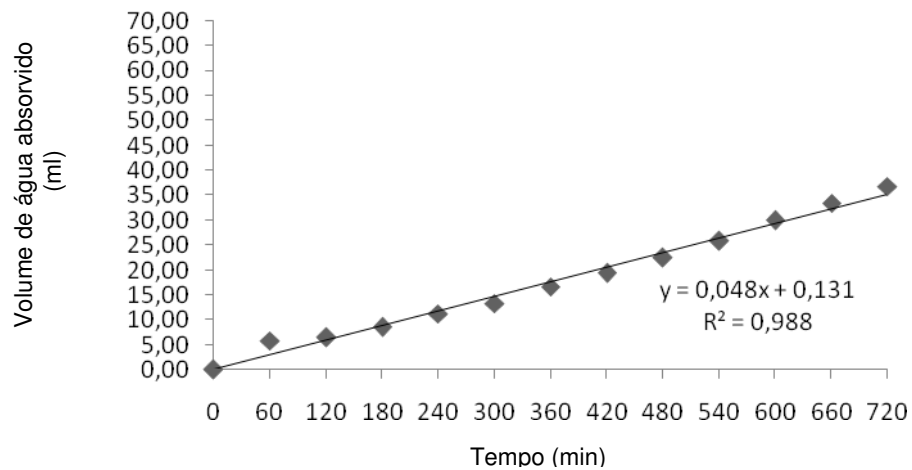
G4SR



G4BJ

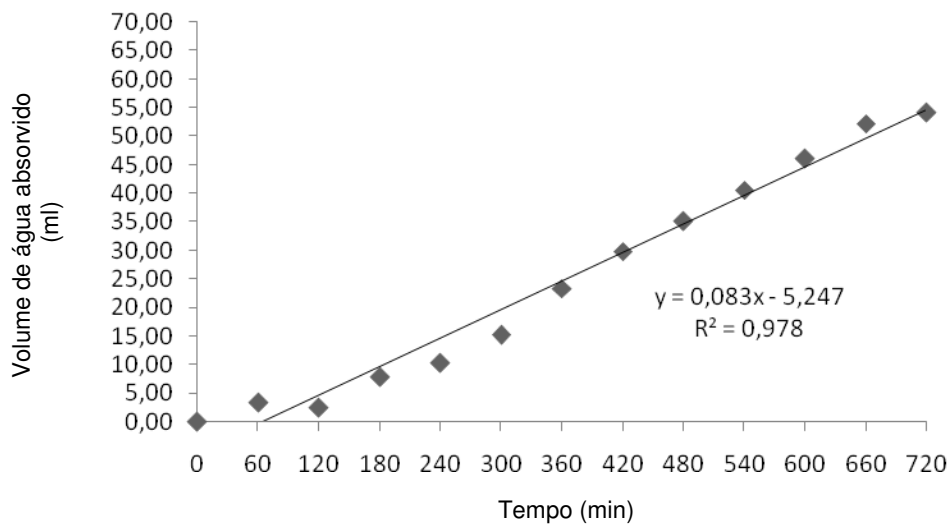


G4BA

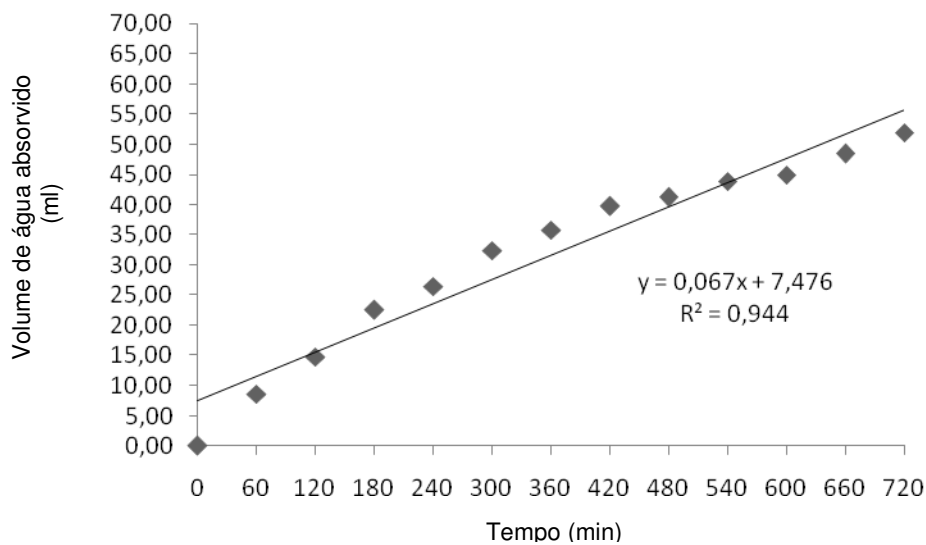


APÊNDICE C5

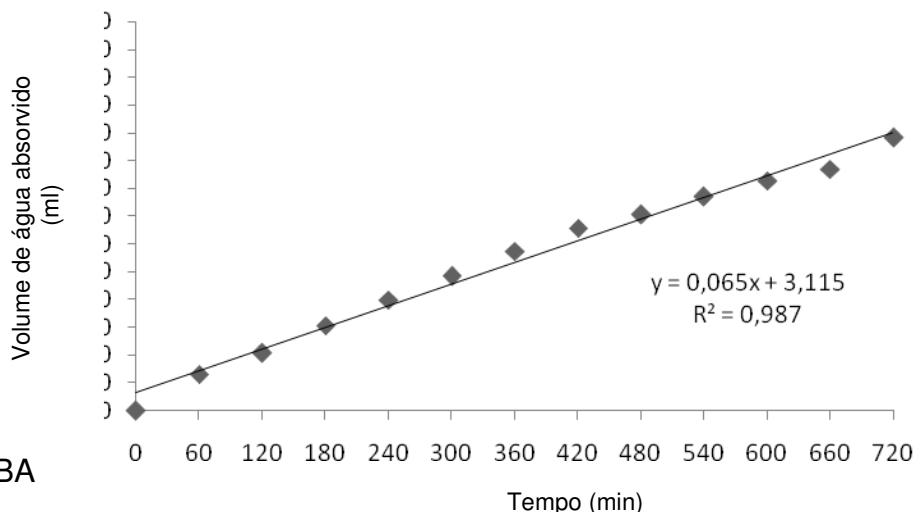
G5SR



G5BJ

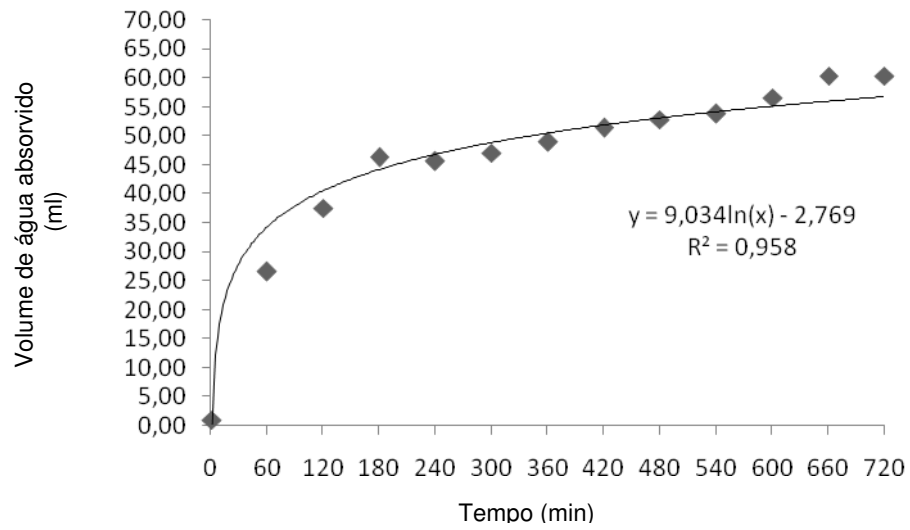


G5BA

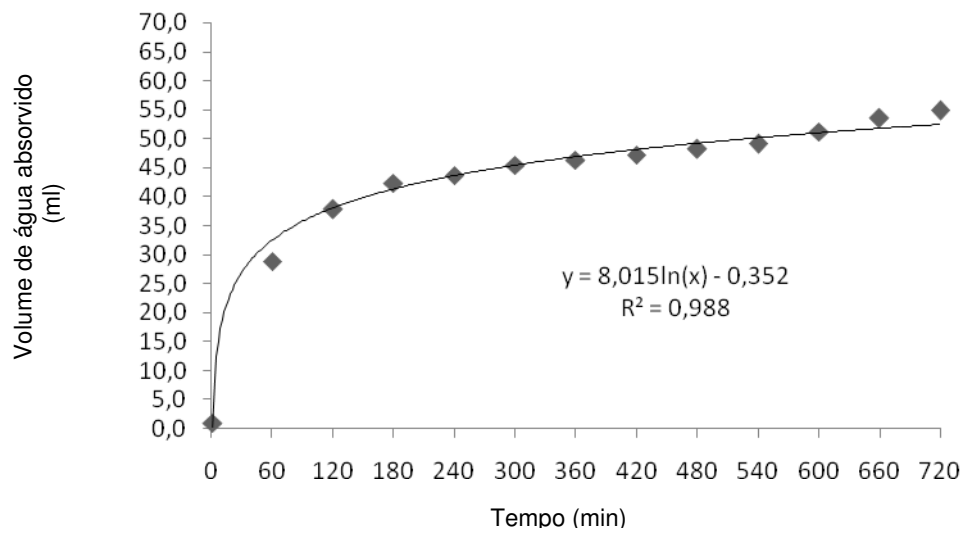


APÊNDICE C6

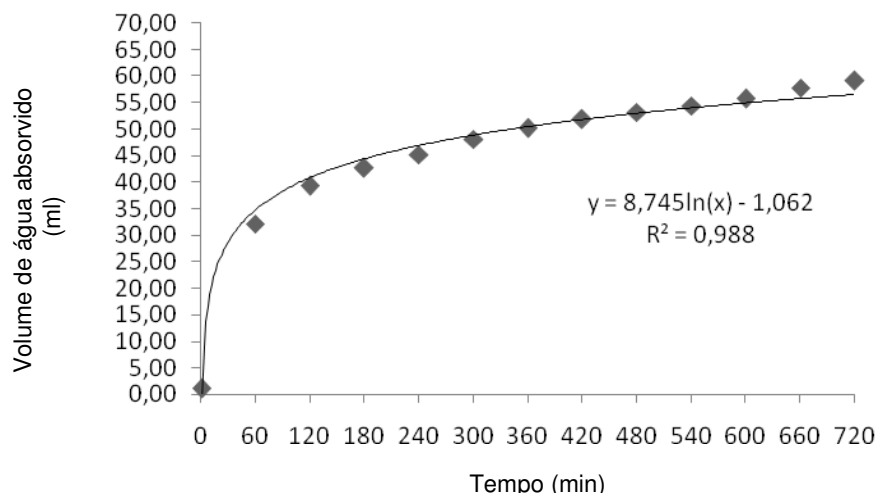
G6SR



G6BJ

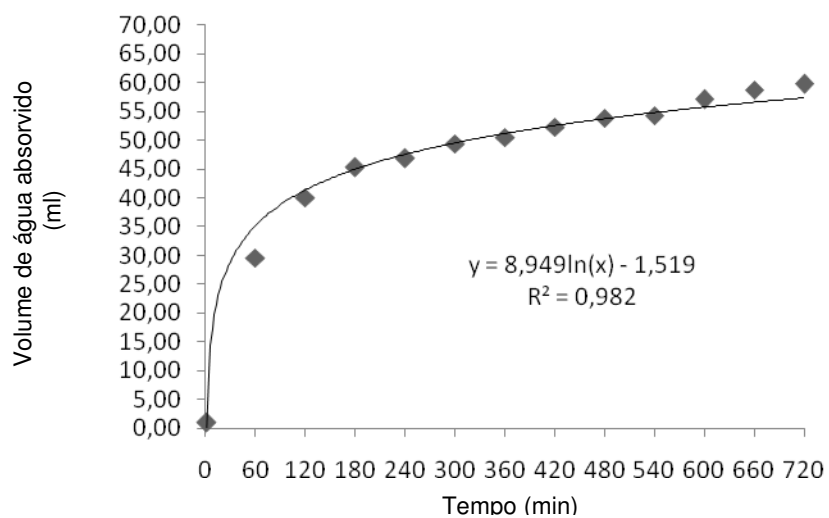


G6BA

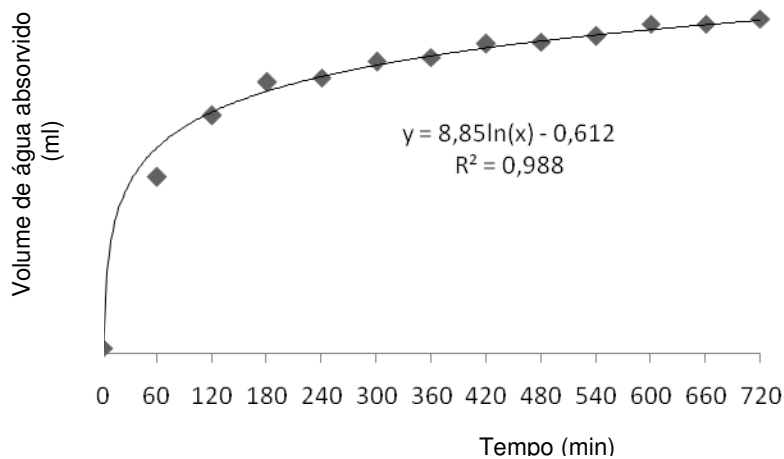
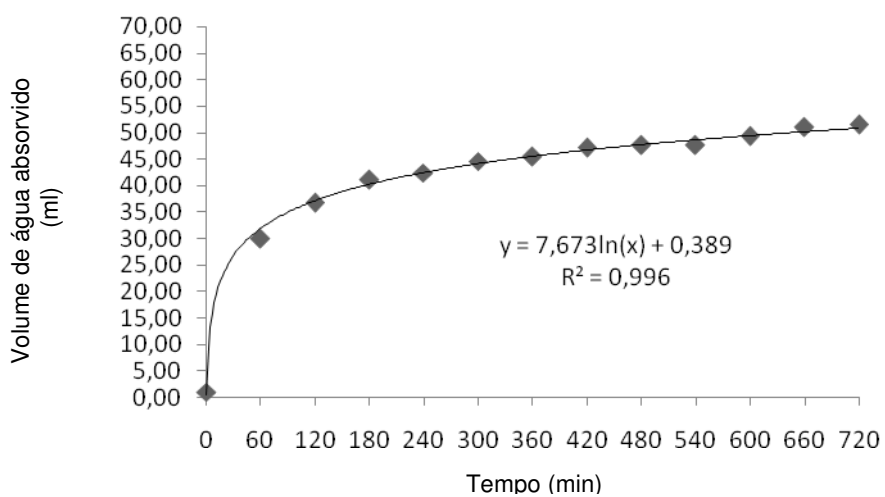


APÊNDICE C7

G7SR



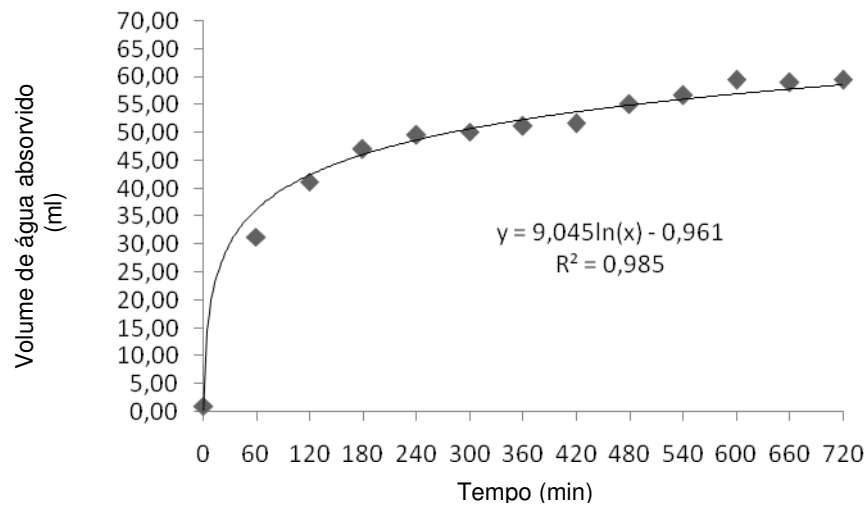
G7BJ



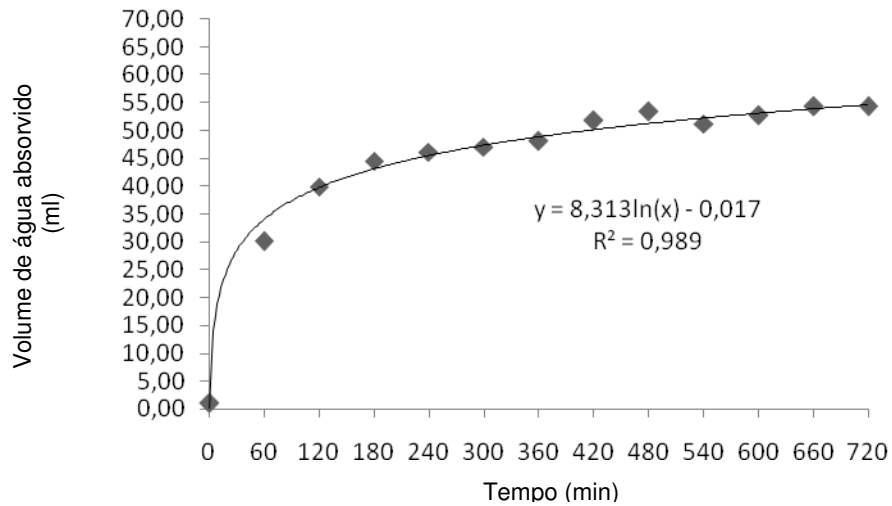
G7BA

APÊNDICE C8

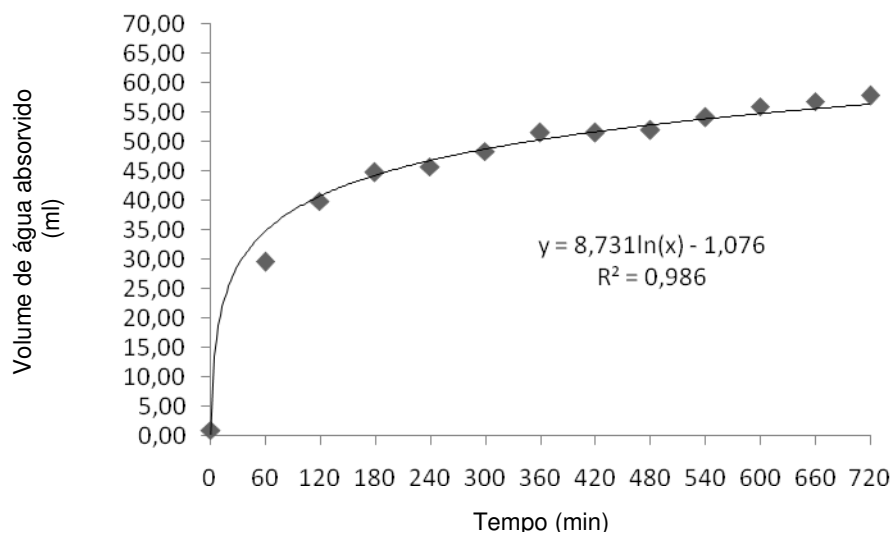
G8SR



G8BJ

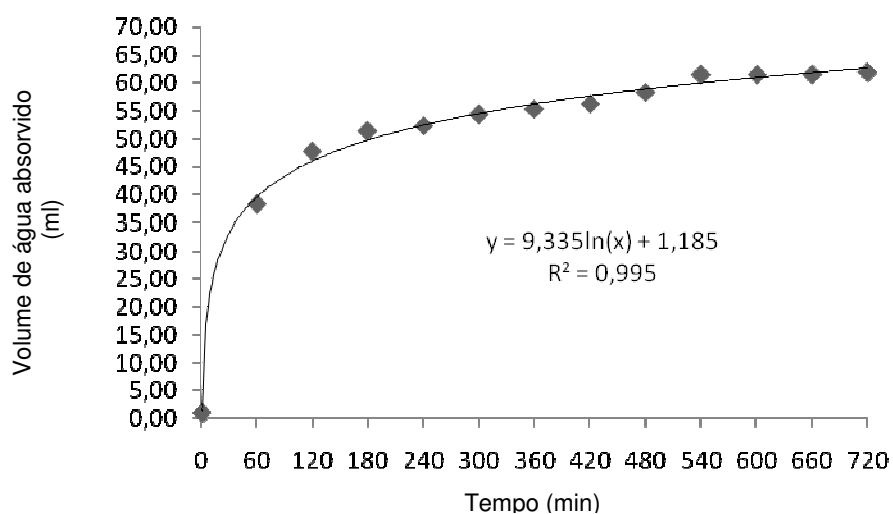


G8BA

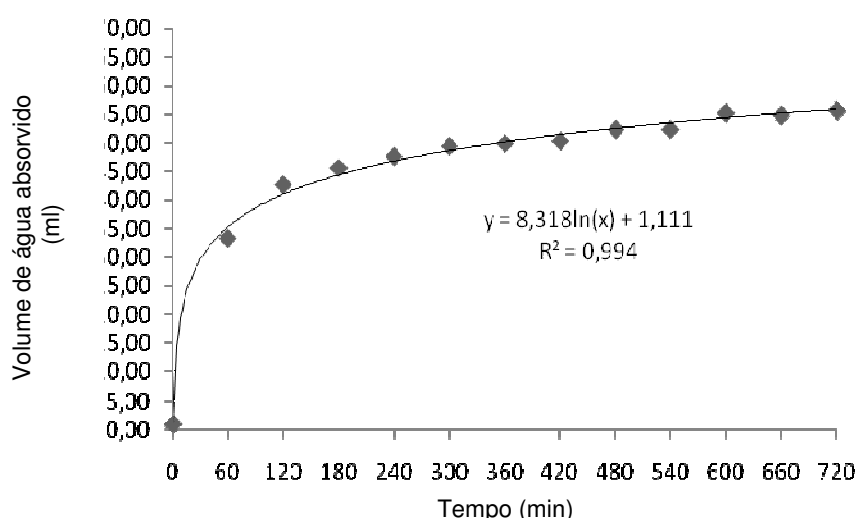


APÊNDICE C9

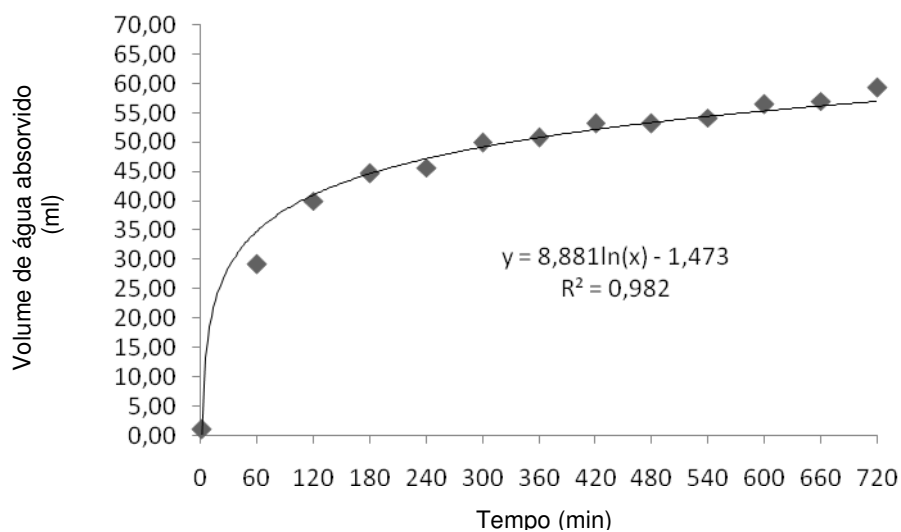
G9 SR



G9 BJ

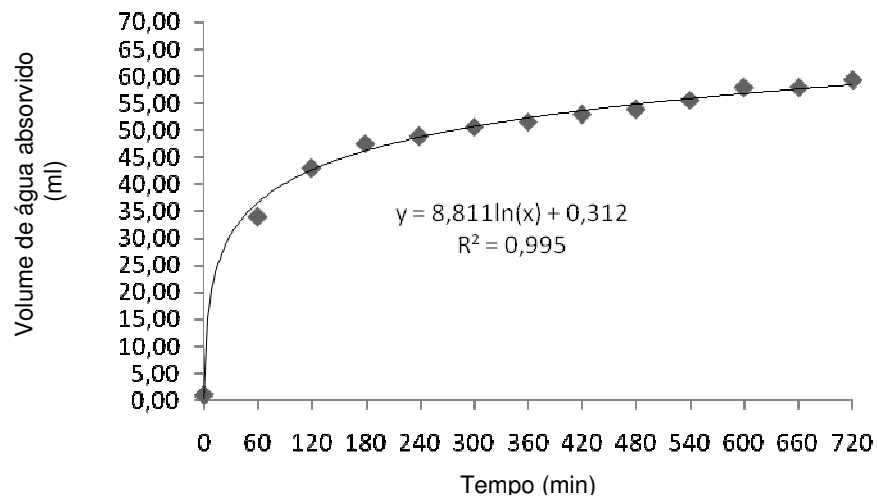


G9BA

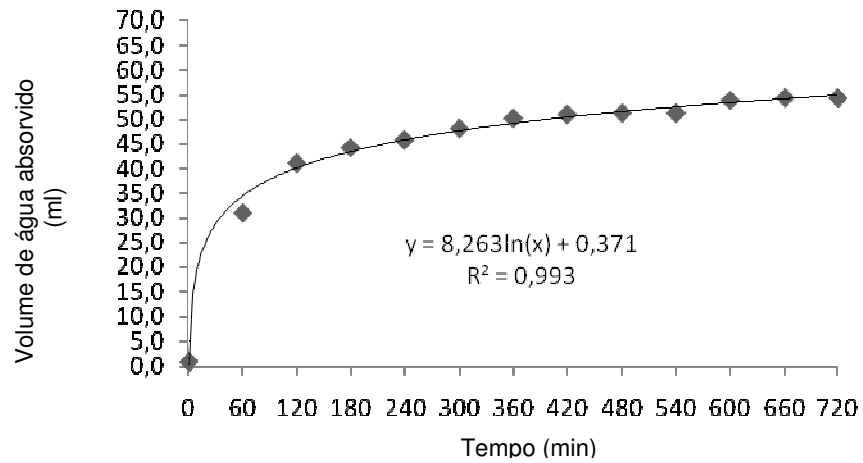


APÊNDICE C10

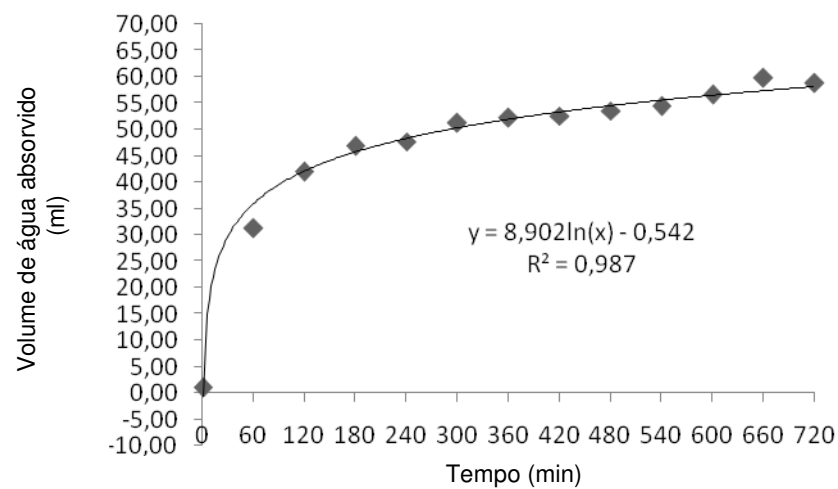
G10SR



G10BJ

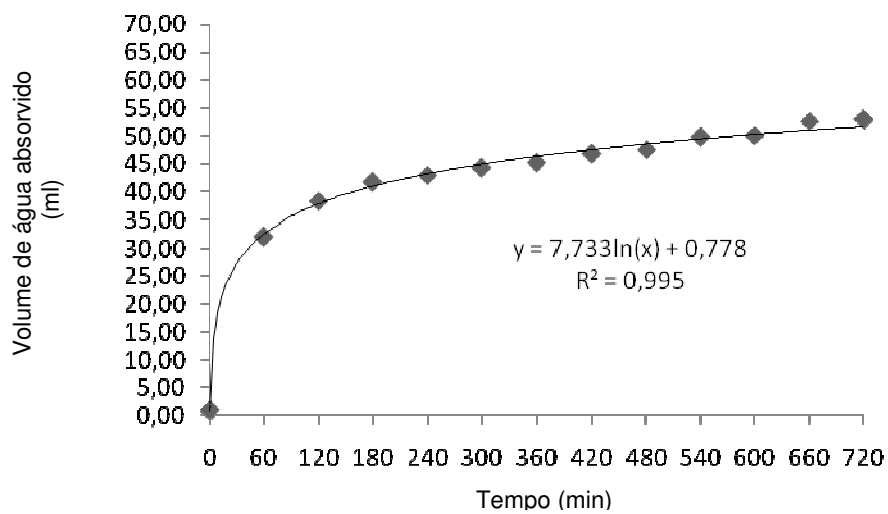


G10BA

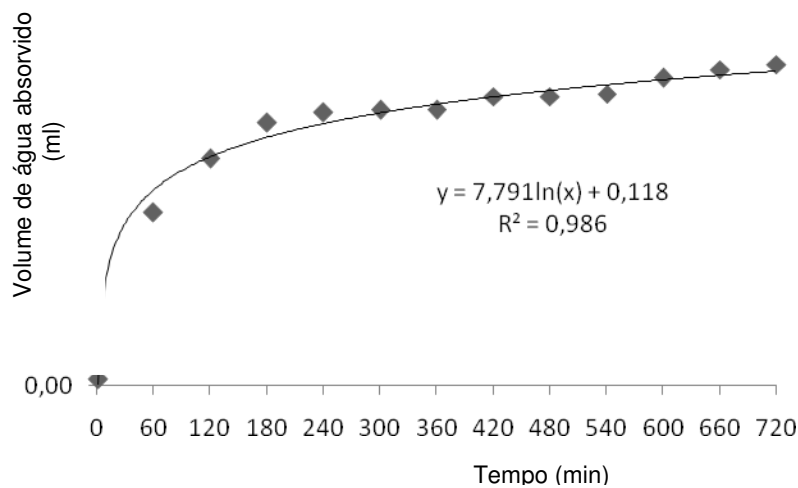
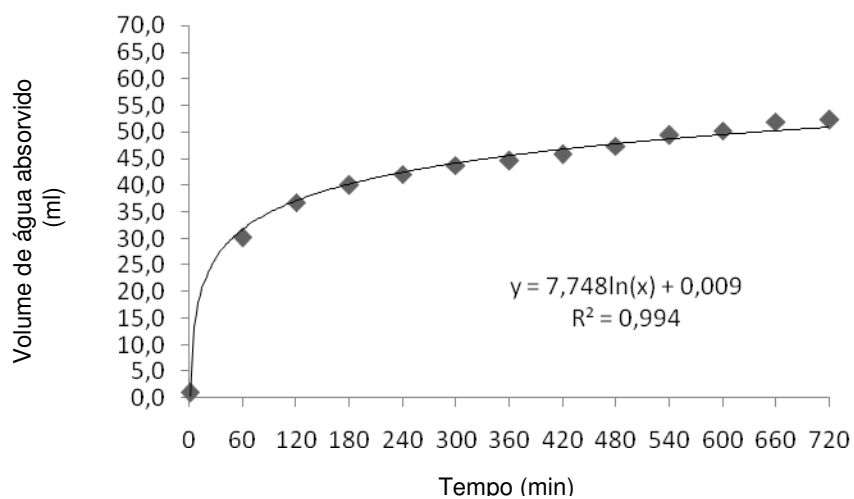


APÊNDICE C11

G11SR

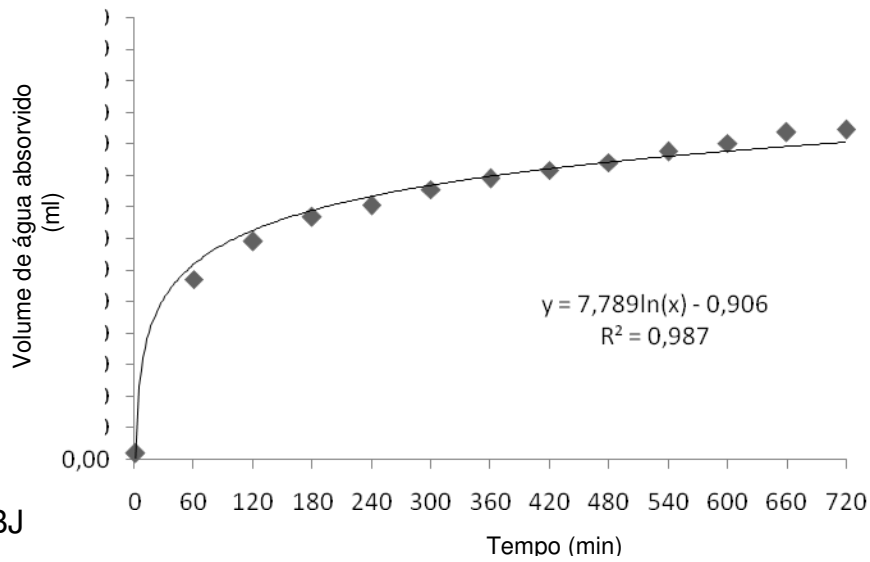
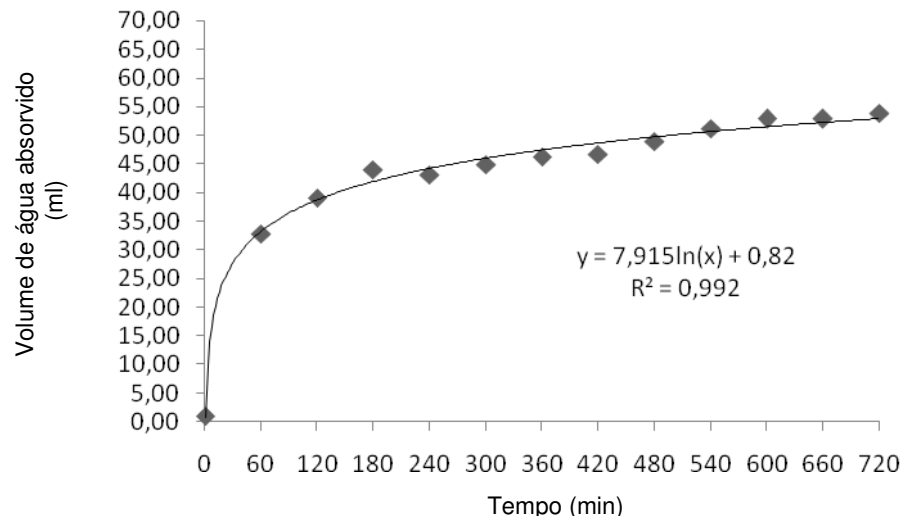


G11BJ

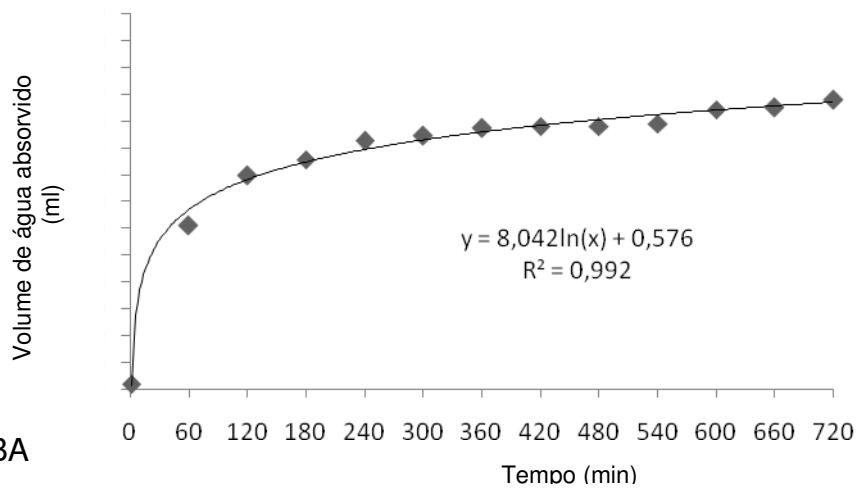


APÊNDICE C12

G12SR



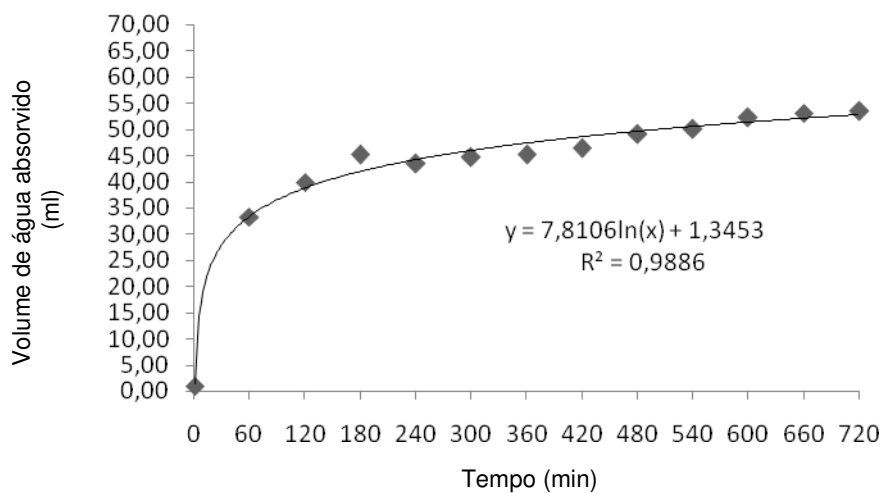
G12BJ



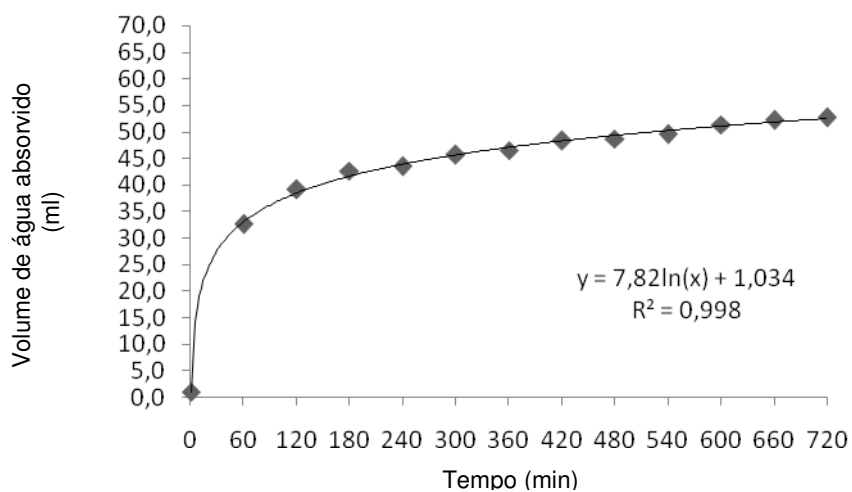
G12BA

APÊNDICE C13

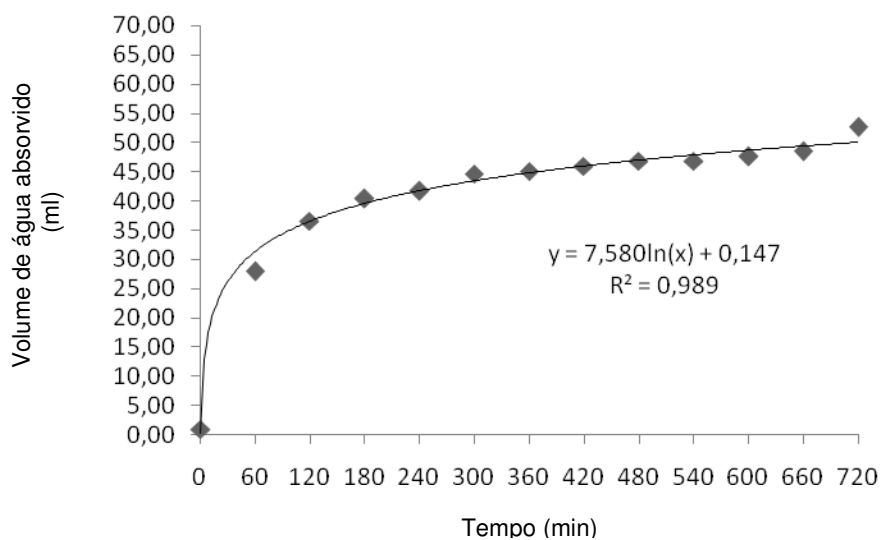
G13SR



G13BJ

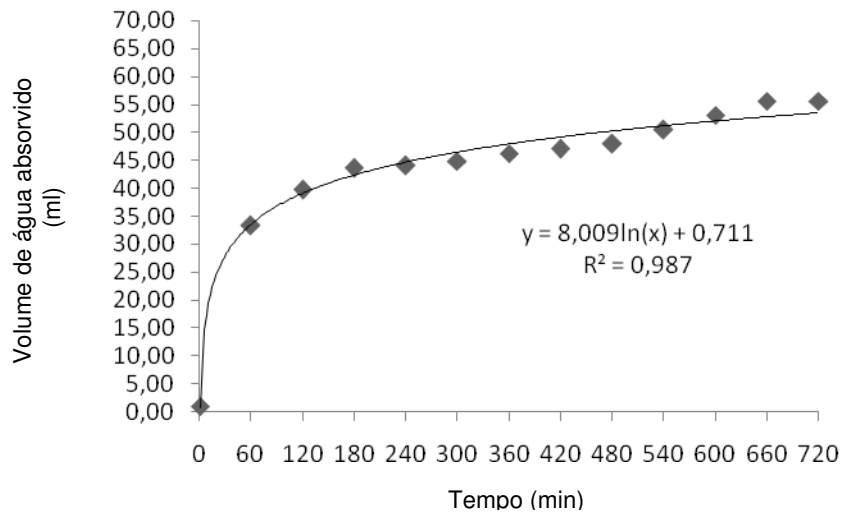


G13BA

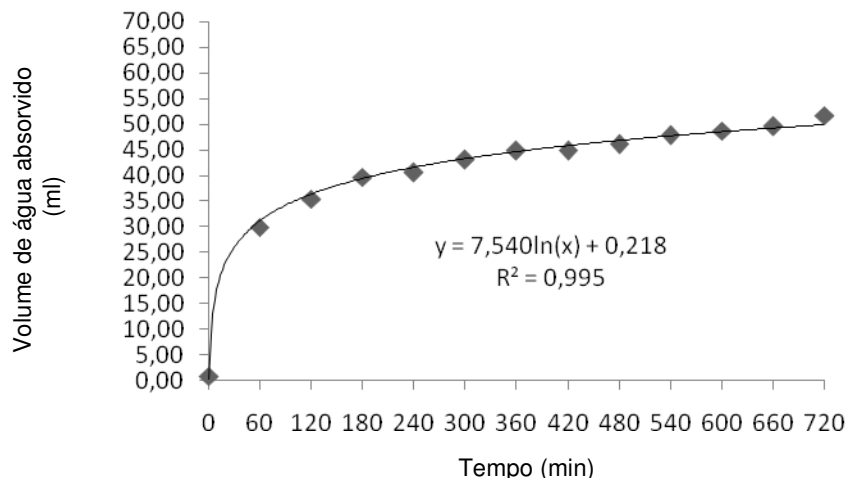


APÊNDICE C14

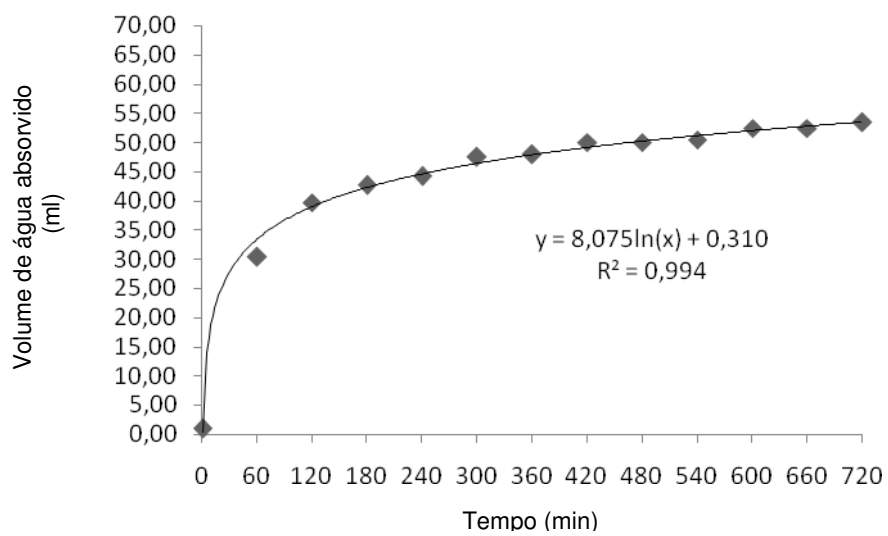
G14SR



G14BJ

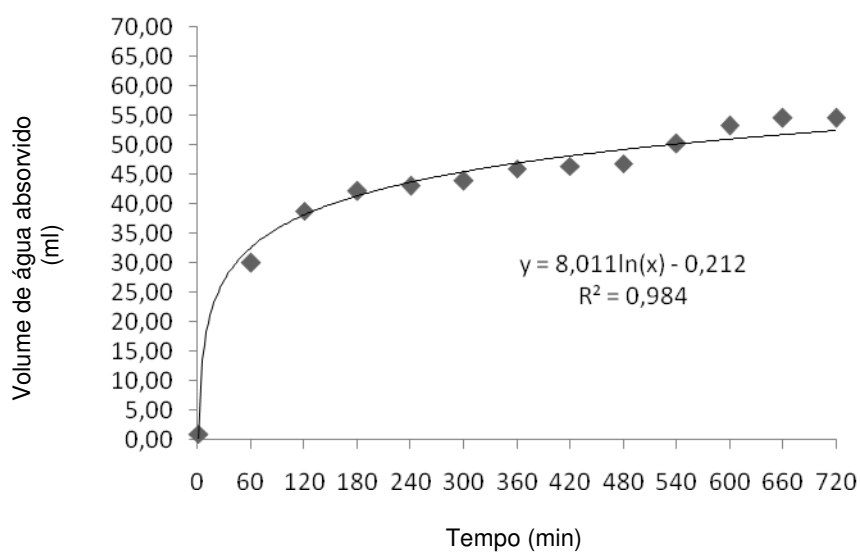


G14BA

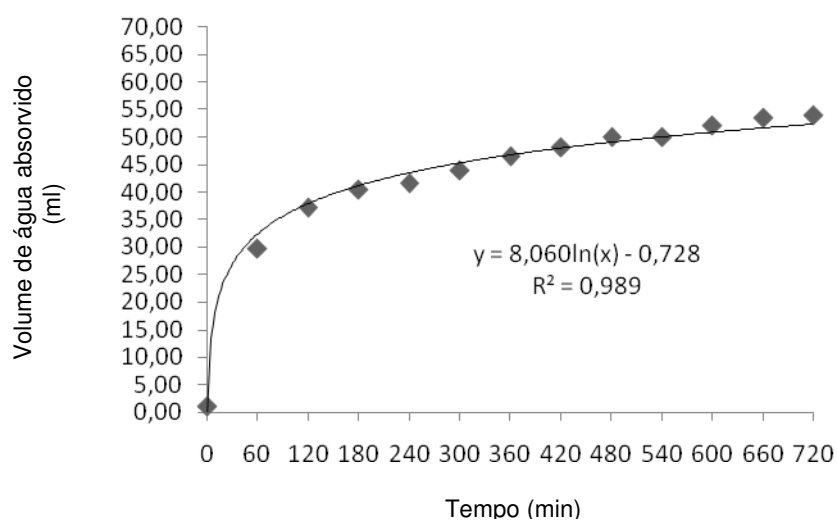


APÊNDICE C15

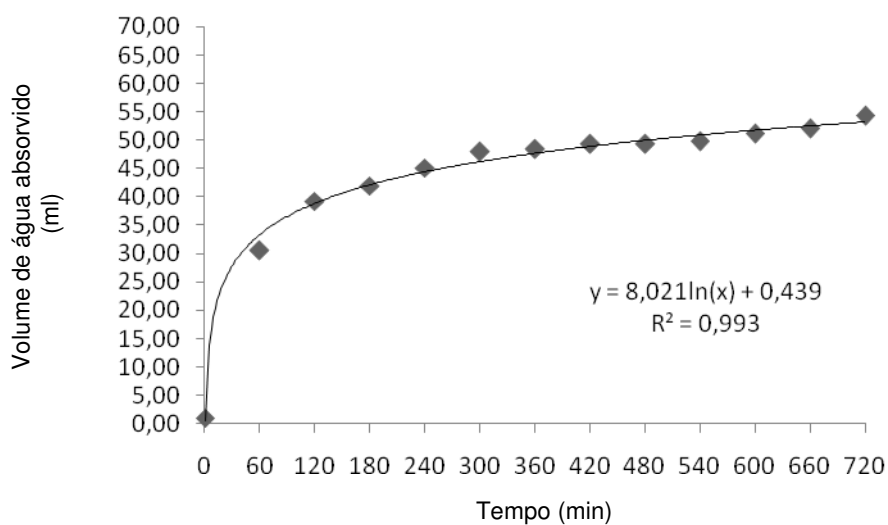
G15SR



G15BJ

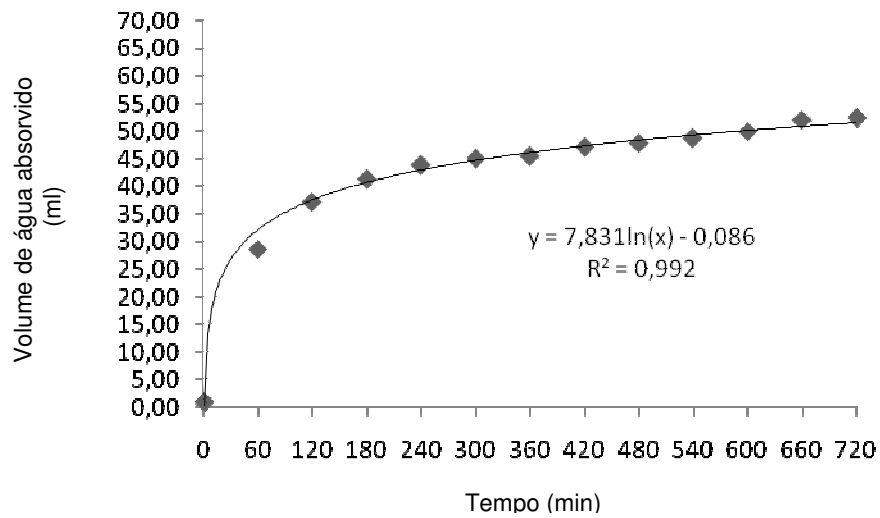


G15BA

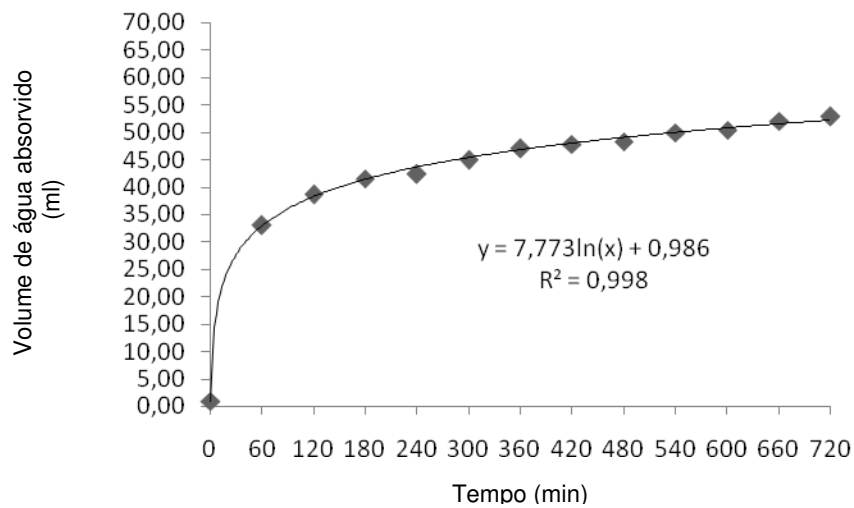


APÊNDICE C16

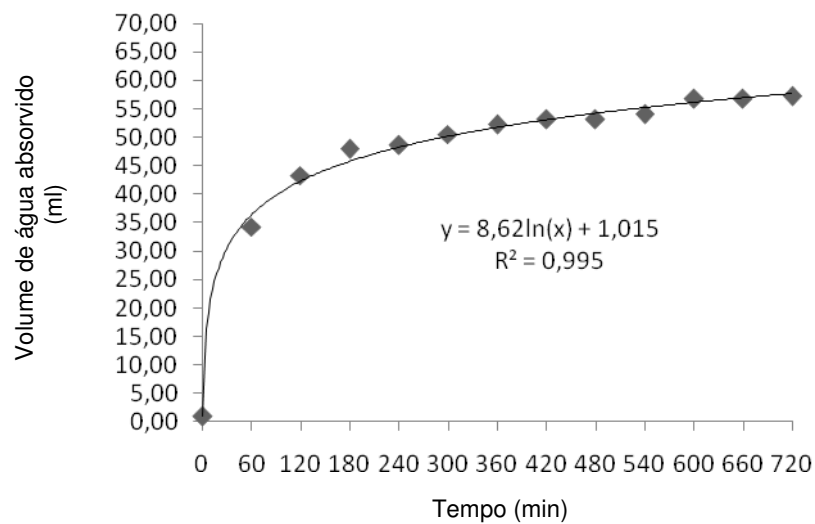
G16SR



G16BJ

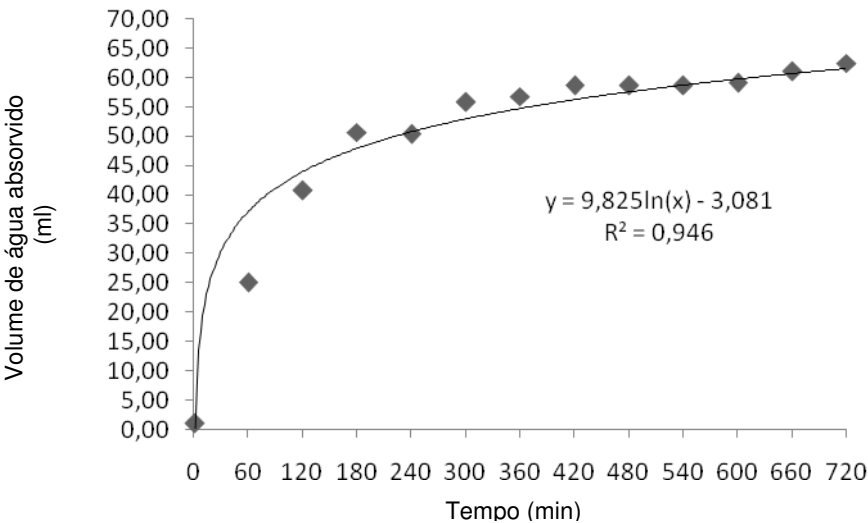


G16BA

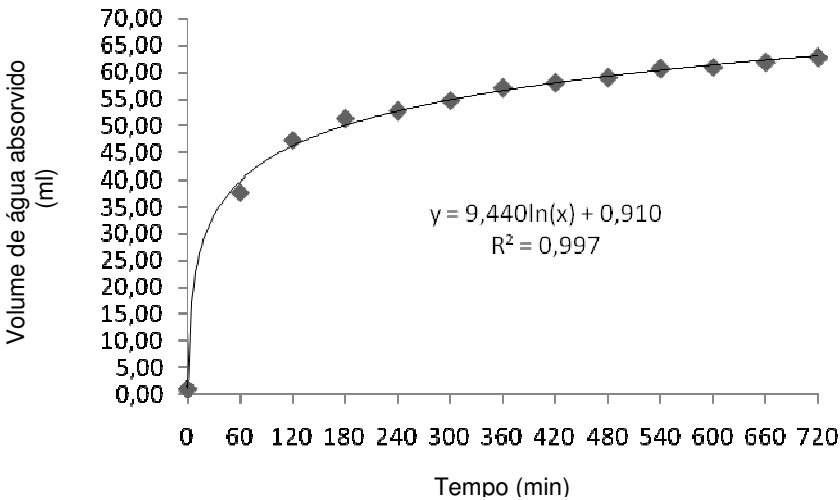


APÊNDICE C17

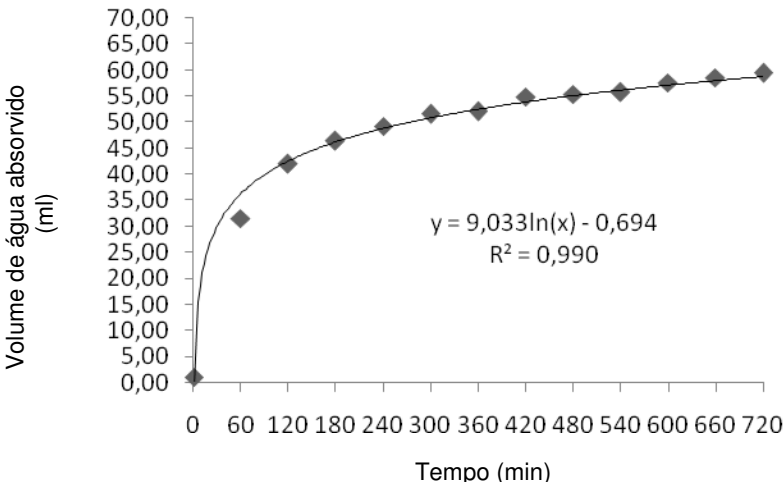
G17SR



G17BJ

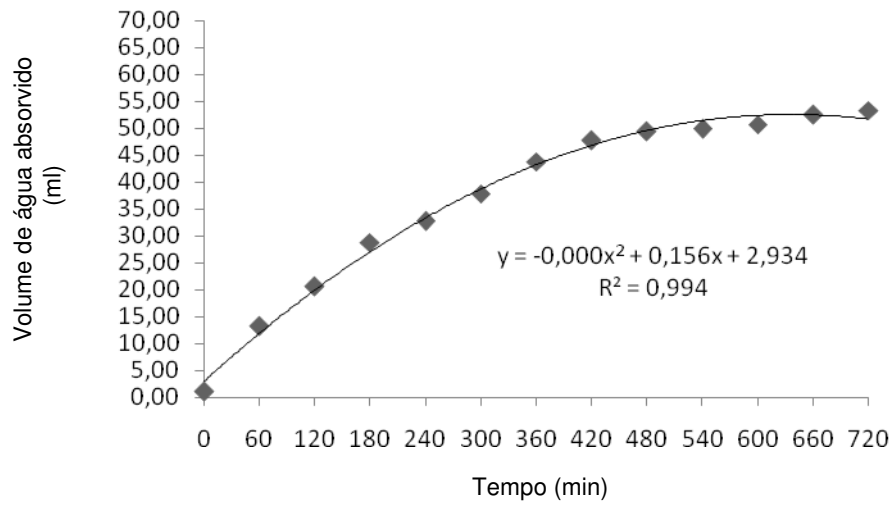


G17BA

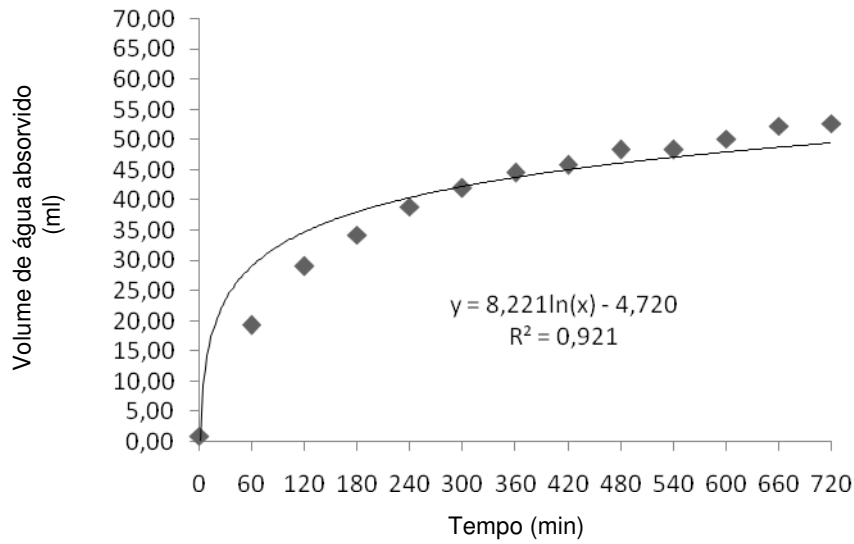


APÊNDICE C18

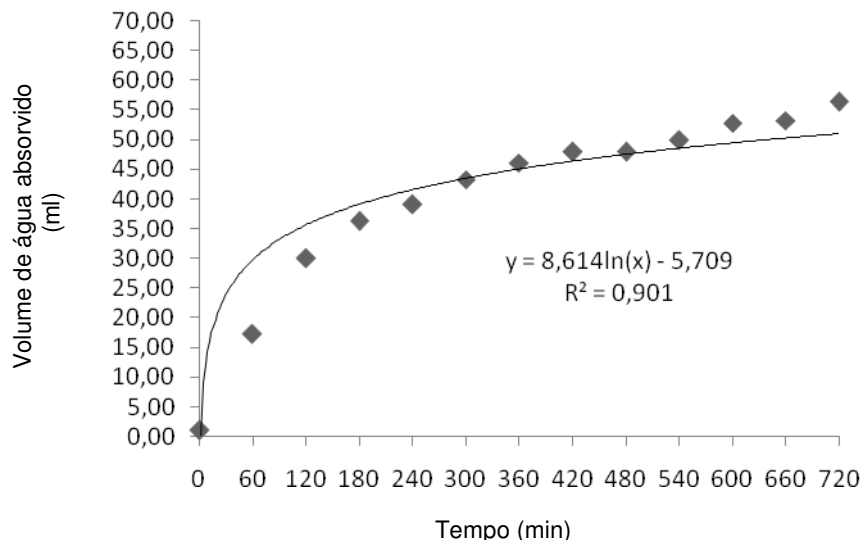
G18SR



G18BJ

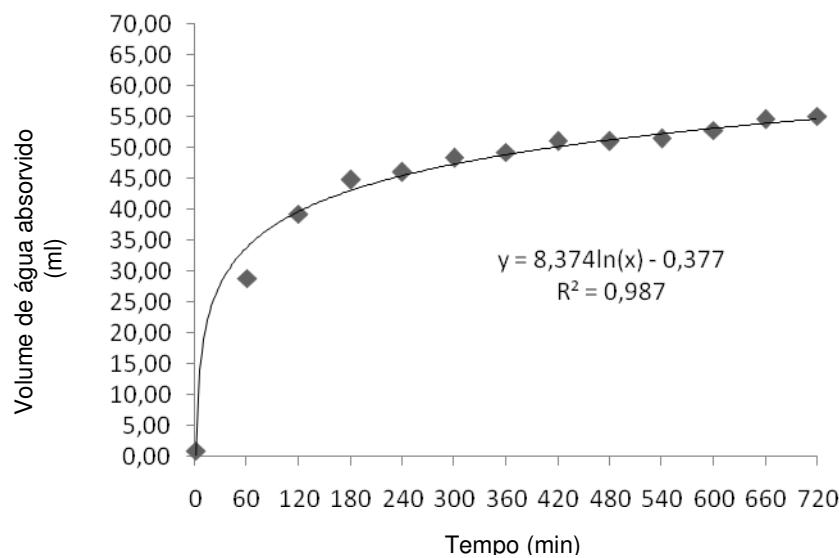


G18BA

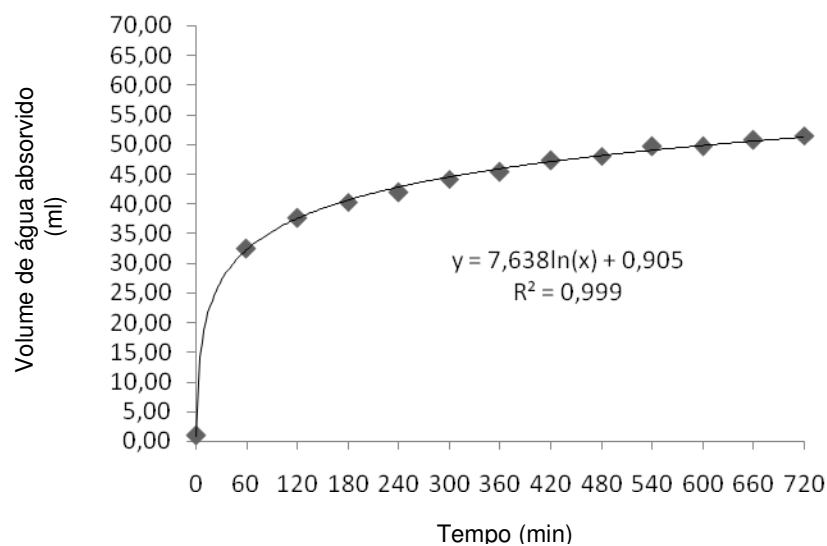


APÊNDICE C19

G19SR



G19BJ



G19BA

