



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA E BIOLOGIA MOLECULAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOQUÍMICA

RENALISON FARIAS PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE
GENÓTIPOS ELITE DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]**

FORTALEZA
2013

RENALISON FARIAS PEREIRA

CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GENÓTIPOS
ELITE DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Bioquímica. Área de concentração: Bioquímica vegetal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana de Fátima Fontenele Urano Carvalho

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

P495c Pereira, Renalison Farias.
Caracterização bioquímica, nutricional e funcional de genótipos elite de feijão-caupi [*Vigna unguiculata(L.) Walp*] / Renalison Farias Pereira. – 2013.
78 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação(mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Pós-Graduação em Bioquímica, Fortaleza, 2013.

Orientação: Profa. Dra. Ana de Fátima Fontenele Urano Carvalho.

Área de Concentração: Bioquímica vegetal.

1. Feijão-de-corda-Melhoramento genético. 3. Bioquímica vegetal.I. Título.

CDD 574.192

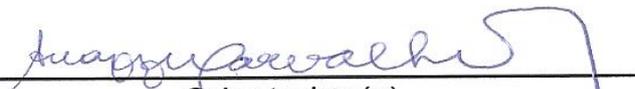
RENALISON FARIAS PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GENÓTIPOS
ELITE DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Bioquímica. Área de concentração: Bioquímica vegetal.

Aprovada em 13/09/2013

BANCA EXAMINADORA



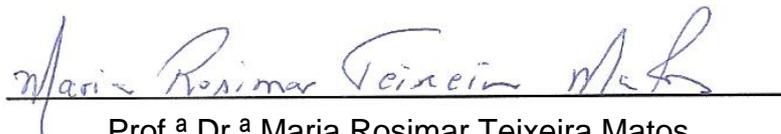
Orientador (a)

Prof.^a Dr.^a Ana de Fátima Fontenele Urano Carvalho
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva

Embrapa Meio-Norte



Prof.^a Dr.^a Maria Rosimar Teixeira Matos

Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Aos milhões de brasileiros que esperam que o conhecimento acadêmico se transforme em alimento para o corpo e mente.

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Ana de Fátima Fontenele Urano Carvalho pela orientação valiosa a este trabalho.

Ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte (CPAMN), Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-Pecuária (Embrapa) Meio-Norte, pela parceria no projeto “Desenvolvimento de cultivares para o agronegócio do feijão-caupi no Brasil”.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), por financiar o projeto “Inclusão de novos genótipos de feijão-caupi e de outras leguminosas de elevado valor nutricional e funcional na alimentação da população do semi-árido”.

Ao Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, pelo suporte técnico e acadêmico.

Ao Laboratório de Bioprospecção de Recursos Regionais (Bioprospec) do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará.

Ao Laboratório de Química Analítica do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, coordenado pela Dr.^a Gisele Simone Lopes.

Ao Centro de Ciência e Qualidade de Alimentos do Instituto de Tecnologia de Alimento (ITAL), que através da Dr.^a Maria Teresa Bertoldo Pacheco foi possível a parceria.

Aos professores participantes da Banca examinadora Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva e Dr.^a Maria Rosimar Teixeira Matos.

Aos colegas dos laboratórios: Alison, Berenice, Davi, Gabi, Igor, Jackeline, Katharine, Lady, Leonardo, Luan, Luiz, Martônio, Nathanna, Nayana, Pedro, Renata, Terezinha, Talita, Thiago Almeida, Tiago Gama e Wellington.

Aos meus familiares e amigos que me deram o suporte emocional para todos os momentos difíceis e de incertezas, saibam que o apoio de vocês foi fundamental.

Todos os participantes desse trabalho saibam que os agradecimentos aqui são simples, porém são sinceros, pois levo o aprendizado que vocês transmitiram em mim. Muito obrigado!

“Lembrar do Brasil sem pensar no sertão
É como negar o alicerce de uma
construção...

Esse gigante em movimento
Movido a tijolo e cimento
Precisa de arroz com feijão”. (Vander Lee)

RESUMO

O melhoramento genético convencional de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] tem como proposta aperfeiçoar suas propriedades agronômicas. Entretanto, a partir de uma preocupação mundial, considerando além das necessidades dos agricultores, empresários e exportadores, também se busca desenvolver cultivares com maior qualidade nutricional para os consumidores. O objetivo geral deste trabalho foi analisar o efeito do melhoramento genético convencional do feijão-caupi sobre os atributos nutricionais e propriedades funcionais de importância industrial. Os atributos nutricionais foram avaliados inicialmente por meio da determinação da composição proximal e de minerais. As médias (% base seca) dos valores de proteínas totais, lipídios, cinzas, fibra alimentar total e carboidratos digeríveis foram 22,95; 1,60; 3,84; 17,80 e 53,87, respectivamente. Já os teores de ferro e zinco foram em média 4,62 e 3,21 mg/100g de semente, respectivamente. Os genótipos com teor proteico acima de 25% apresentaram uma boa digestibilidade *in vitro* (cerca de 70%) e perfil de aminoácidos, inclusive os sulfurados, estando todos presentes em níveis acima do recomendado para crianças de 3 a 10 anos. Em comparação com a soja, foram encontrados níveis baixos ou moderados de fatores tóxicos e/ou antinutricionais nos genótipos com destaque em teor de proteína, ferro e zinco. Houve uma variação no teor dos ácidos fenólicos (11,18 a 94,60 mg/g de semente), taninos (1,33 a 3,05 mg/g de semente), inibidores de tripsina (30,15 a 40,47 UI/mg de proteína), inibidores de quimotripsina (14,21 a 26,43 UI/mg de proteína) e lectinas (20.000 a 80.000 UH/Kg de semente). Ao se construir índices de qualidade nutricional dos genótipos de feijão-caupi, verificou-se que os teores dos antinutrientes estudados podem modificar a classificação dos mesmos. No entanto, quando os genótipos de feijão-caupi são comparados com a soja, uma leguminosa amplamente consumida, percebe-se que esses fatores não são de grande relevância, pois há métodos de inativação e/ou remoção dos componentes indesejados. Propriedades funcionais promissoras foram encontradas para os genótipos avaliados, tais como capacidade de absorção de água e óleo, geleificação e espumabilidade, as quais apontam para uma possível aplicação da farinha de feijão-caupi na indústria alimentícia. Baseando-se nos índices de qualidade nutricional por meio das características nutricionais e bioquímicas, os três genótipos sugeridos para serem usados como parentais em programas de melhoramento

genético e produção de sementes são: G17 (MNC02-682F-2-6), G03 (BRS ARACÊ) e G01 (BRS- JURUÁ).

Palavras-chave: Valor nutricional. Melhoramento genético. Química de alimentos.

ABSTRACT

Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] conventional breeding aims to improve its agricultural characteristics. However, there is a global concern that besides considering the needs of farmers, entrepreneurs and exporters, it is also necessary to develop cultivars with higher nutritional quality for consumers. The aim of this study was to evaluate the effects of conventional breeding of cowpeas upon their nutritional attributes and functional properties of industrial significance. The nutritional attributes were initially evaluated by determination of proximate and minerals composition. The means (% dry basis) of total proteins, lipids, ashes, total dietary fiber and digestible carbohydrates content were 22.95; 1.60; 3.84; 17.80 and 53.87, respectively. Mean values for iron and zinc contents were 4.62 and 3.21 mg/100g of seeds, respectively. Genotypes with protein content over 25% showed good *in vitro* digestibility (ca. 70%) and amino acid profile, including sulfur amino acids, all being in higher levels than the requirements for 3-10 years old children. The levels of toxic and/or antinutritional factors in the genotypes with better contents of protein, iron and zinc were low to moderate compared to those of soybeans. There were reasonable variations in phenolic acid contents (11.18 to 94.60 mg/g of seeds), tannin (1.33 to 3.05 mg/g of seeds), trypsin inhibitor (30.15 to 40.47 UI/mg protein), chymotrypsin inhibitor (14.21 to 26.43 UI/mg protein) and lectin (20,000 to 80,000UH/kg seeds). By using nutritional quality indexes of cowpea genotypes it was observed that the contents of antinutrients may change the ranking position. Nevertheless, when cowpea genotypes are compared to soybeans, it is observed that these factors are not so relevant considering that this legume seed is safely consumed by animals and humans since there are methods to inactivate or remove them. Promising functional properties were detected in the analyzed genotypes, such as water and oil absorption capacity, gelation and foaming properties. These properties point to a possible utilization of cowpea flour in the food industry. Based upon the nutritional quality indexes, we conclude that the top three genotypes suggested to be used as parents in cowpea breeding programs are G17 (MNC02-682F-2-6), G03 (BRS-ARACÊ) and G01 (BRS-JURUÁ).

Keywords: Nutritional value. Cowpea breeding. Food chemistry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Dados agronômicos e mapa da produção de grãos de feijão-caupi em diferentes regiões brasileiras no ano de 2009: área cultivada (ha), produção (t), produtividade (kg/ha) 19
- Figura 2 – Ilustrações fotográficas das subclasses comerciais de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional 32
- Quadro 1 – Esquema de metodologia utilizada para análise das farinhas de sementes de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] 33
- Gráfico 1 – Médias (base seca), desvios-padrão (DP) e coeficiente de variação (C.V.) de teor proteico total (A), ferro (B) e zinco (C) de trinta e dois genótipos elite de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Identificação dos trinta e dois genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	31
Tabela 2 –	Programa usado para digestão das farinhas de sementes no forno de micro-ondas	37
Tabela 3 –	Comprimentos de ondas dos minerais monitorados e a posição de visualização do aparelho	37
Tabela 4 –	Composição proximal (% base seca) de trinta e dois genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	44
Tabela 5 –	Composição mineral (mg/100 g farinha de semente) de trinta e dois genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	47
Tabela 6 –	Valores de nutrientes dos nove genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] com destaque em proteína, ferro e zinco obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	49
Tabela 7 –	Composição de aminoácidos e escore químico (AAS) dos genótipos superior em teor proteico (G01, G03 e G17) de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	52
Tabela 8 –	Fatores da qualidade proteica dos genótipos (G01, G03 e G17) de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	54
Tabela 9 –	Teor de fenóis totais e taninos dos genótipos de feijão-caupi	55

	[<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	
Tabela 10 –	Inibidores de proteases e atividade hemaglutinante dos genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	56
Tabela 11 –	Proteínas solúveis dos genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	57
Tabela 12 –	Capacidade de absorção de água e óleo dos genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	59
Tabela 13 –	Capacidade de formação de gel das farinhas de sementes de genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	61
Tabela 14 –	Capacidade de formação de espuma (FE) e estabilidade da espuma em tempos diferentes dos genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	61
Tabela 15 –	Índices de qualidade nutricional (IQN) dos genótipos de feijão-caupi [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Escore químico
AOAC	AOAC International
C.V.	Coeficiente de variação
CRSP	Collaborative Research Support Program
DP	Desvio padrão
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FE	Formação de espuma
G	Genótipo
HU	Atividade hemaglutinante
ICP-OES	Espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado
IG	Índice glicêmico
IITA	International Institute of Tropical Agriculture
IQN	Índice de Qualidade de Nutricional
L.	Lineu
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
P100G	Peso de 100 grãos
PDCAAS	Escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica
PG	Produtividade de grãos
PITC	Fenilisotiocianato
ptn	Proteína
RNC	Registro Nacional de Cultivares
S	Semente
Tris	Tris (hidroximetil) aminometano
UI	Unidade inibitória
UNU	United Nations University
UV	Ultra-violeta
WHO	World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

pH	Potencial hidrogeniônico
t	Tonelada(s)
ha	Hectare(s)
mm	Milímetro(s)
R\$	Reais
kg	Quilograma(s)
kcal	Quilocaloria(s)
g	Gramas(s)
%	Porcentagem
®	Marca registrada
mesh	Aberturas por polegadas
°C	Grau(s) Celsius
h	Hora(s)
m	Massa
v	Volume
min	Minuto(s)
mL	Mililitro(s)
µL	Microlitro(s)
mg	Miligrama(s)
≥	Maior ou igual à
N	Normal
Å	Ångström
µm	Micrometro(s)
nm	Nanometro(s)
M	Molar
g	Força centrífuga
Nt	Teor de nitrogênio depois da digestão enzimática
No	Teor de nitrogênio antes da digestão enzimática
Ntot	Nitrogênio total da amostra
bar	Unidade de pressão
MHz	Megahertz

kW	Quilowatt(s)
L	Litro(s)
W	Watt(s)
μM	Micromolar
cm	Centímetro(s)
μg	Micrograma(s)
mM	Milimolar
±	Mais ou menos
Hz	Hertz
s	Segundo(s)
V₂	Volume após a homogeneização e formação de espuma
V₁	Volume antes da homogeneização
V_t	Volume da espuma no tempo 30, 60, 90 ou 120 min
V₀	Volume medido após a mistura ter sido transferido à proveta
p	Significância estatística

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Feijão-caupi	17
1.1.1	<i>Melhoramento genético</i>	20
1.1.2	<i>Importância nutricional</i>	22
1.1.3	<i>Avanços na indústria alimentícia</i>	27
2	OBJETIVOS	29
2.1	Objetivo geral	29
2.2	Objetivos específicos	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Reagentes químicos	30
3.2	Genótipos	30
3.3	Processamento das sementes	30
3.4	Composição proximal	33
3.5	Qualidade nutricional das proteínas	34
3.5.1	<i>Perfil aminoacídico</i>	35
3.5.2	<i>Digestibilidade proteica in vitro</i>	36
3.6	Composição mineral	36
3.7	Análises químicas	38
3.7.1	<i>Fenóis totais</i>	38
3.7.2	<i>Taninos</i>	38
3.8	Análises bioquímicas	39
3.8.1	<i>Preparação do extrato bruto</i>	39
3.8.2	<i>Proteínas solúveis</i>	39
3.8.3	<i>Inibidores de tripsina/quimotripsina</i>	39
3.8.4	<i>Lectinas</i>	40
3.9	Propriedades funcionais de importância tecnológica	40
3.9.1	<i>Capacidade de absorção de água/óleo</i>	40
3.9.2	<i>Geleificação</i>	40
3.9.3	<i>Espumabilidade</i>	41
3.10	Rankings de qualidade nutricional	41
3.11	Análise estatística	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43

4.1	Composição proximal e minerais	43
4.2	Qualidade proteica	51
4.3	Fatores tóxicos e/ou antinutricionais	54
4.4	Propriedades funcionais de importância tecnológica	58
4.5	Rankings de qualidade nutricional	62
5	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS.....	66
	APÊNDICE A – FÓRMULAS DOS ÍNDICES DE QUALIDADE NUTRICIONAL UTILIZADOS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) WALP] OBTIDOS DA EMBRAPA MEIO-NORTE POR MELHORAMENTO GENÉTICO CONVENCIONAL	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 Feijão-caupi

A espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp é uma leguminosa amplamente adaptada, versátil, e uma leguminosa nutritiva. Comumente esta espécie cresce em regiões equatoriais e subtropicais (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Além disso, mesmo em condições adversas, como temperaturas elevadas (HALL, 2004), pH do solo inadequado (FERY, 1990 *apud* TIMKO; EHLERS; ROBERTS, 2007) e baixa fertilidade do solo (ELOWAD; HALL, 1987), essa lavoura pode ter uma boa produtividade (EHLERS; HALL, 1997).

O feijão-caupi é classificado como pertencente à classe das dicotiledôneas (Magnolipsida), ordem Fabales, família Fabaceae e subfamília Faboideae. É membro da tribo Phaseoleae, que também inclui outras leguminosas importantes como soja (*Glycine max*) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*), subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* e subespécie *unguiculata*, que pode ser subdividida em quatro cultigrupos: *unguiculata*, *sesquipedalis*, *biflora* e *textilis* (NG; MARECHAL, 1985 *apud* SARIAH, 2010), cujo cultigrupo *unguiculata* é objeto deste estudo.

Estudos evidenciam que esse feijão tem origem africana, onde se localiza os ancestrais selvagens e onde houve sua domesticação (BA; PASQUET; GEPTS, 2004). Atualmente, essa leguminosa está disseminada pelos cinco continentes, sendo que os países com maiores produções são Níger, Nigéria e Brasil (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Segunda estatística da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO (2013), em 2011, a produção mundial de feijão-caupi atingiu 4,9 milhões de toneladas (t) em 10,4 milhões de hectares (ha) em 34 países, porém há países que não registram a cultura de feijão-caupi ou não enviam para a FAO, como o Brasil, que tem a produção de feijão-caupi calculada junto com a de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*).

No Brasil, segundo Freire Filho *et al.* (2011), o *V. unguiculata* foi introduzido pelos colonizadores portugueses a partir da Bahia, estado da região Nordeste, e se disseminou pelo país. E entre a população brasileira é conhecido por diversos nomes, o que muitas vezes dificulta sua identificação, entre eles: feijão-

caupi, feijão-de-corda, feijão-macassa, feijão-fradinho, feijão-de-praia, feijão-da-colônia, feijão-de-estrada, feijão-miúdo, manteiguinha, feijão-gurutuba e feijão-catador. E ainda hoje a área de cultivo dessa leguminosa ainda é maior na região Nordeste, seguida pela região Norte e Centro-Oeste brasileiro.

O cultivo de feijão-caupi no Brasil é realizado por diferentes técnicas de manejo, onde os empresários e agricultores familiares utilizam técnicas de manejo clássicas, enquanto que grandes empresários tendem a possuir uma lavoura mais tecnológica (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Além de técnicas diferenciadas entre essas regiões, há características bióticas e abióticas, como o solo, clima, umidade, índice pluviométrico e simbioses com micro-organismos que influenciam no cultivo (FIGUEREIDO *et al.*, 2008).

O feijão-caupi por sua grande variabilidade genética e adaptabilidade, pode ser cultivado em quase todos os solos que possuem concentração de matéria orgânica regular e com média a alta fertilidade. E também, as condições climáticas são importantes para cultivo, pois esse feijão é influenciado por fotoperíodo, vento, radiação solar e, principalmente, precipitação, onde ele se adapta melhor às regiões com cotas pluviométricas entre 250 a 500 mm anuais (EMBRAPA, 2003).

O feijão-caupi é uma leguminosa cultivada basicamente para produção de grãos e vagens para a alimentação humana. Porém sua importância econômica vai além, por gerar em média mais de um milhão de empregos no Brasil, suprir a demanda alimentar de 26.486.755 pessoas, e com valor de produção de R\$ 643,09 milhões (FREIRE FILHO, 2009), levando em consideração que cada hectare do cultivo gera 0,8 emprego/ano, o consumo de 18,21 kg/pessoa/ano, e o preço mínimo da saca de 60 kg de R\$80,00 (HETZEL, 2009 *apud* FREIRE FILHO, 2009).

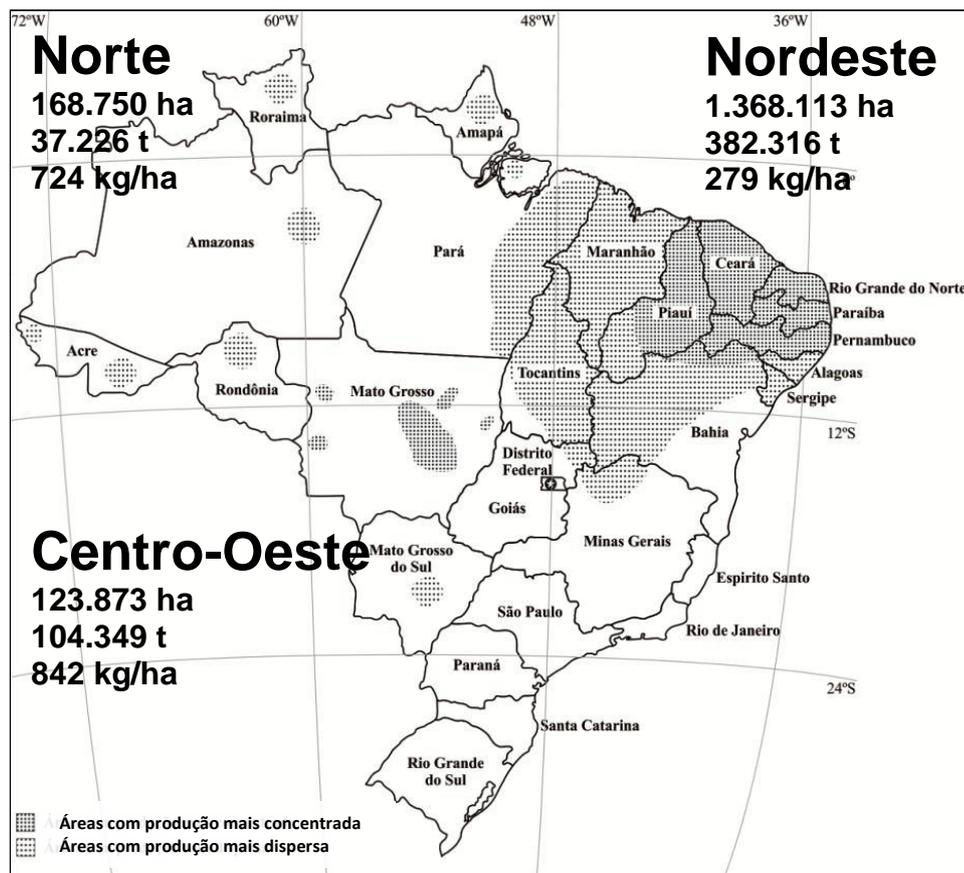
Os dados levantados por Freire Filho *et al.* (2011) mostram que a produtividade média do feijão-caupi, de 366 kg/ha, é baixa. Vários fatores podem contribuir para este fato: o cultivo é realizado em condições desfavoráveis, baixa utilização de tecnologias, o uso de cultivares tradicionais, que apesar de boas fontes de genes para adaptação e culinária, geralmente, são altamente susceptíveis a estresses bióticos (pragas e doenças) e possuem sementes de baixa qualidade (ROCHA *et al.*, 2008).

A figura 1 mostra as áreas cultivadas nas regiões brasileiras, donde se pode concluir, que mesmo no Nordeste o *V. unguiculata* sendo amplamente cultivado, ainda assim sua produtividade de grãos é a menor. Então, nesta região,

“particularmente, os parâmetros da cultura não são satisfatórios. Contudo, constitui uma situação de oportunidade, porque para aumentar a produção não é necessário abrir mais áreas, basta o investimento em tecnologia” (FREIRE FILHO *et al.*, 2011, p. 27).

Deste modo, esses dados evidenciam a necessidade de pesquisa com o feijão-caupi, com o objetivo de desenvolver novas cultivares através do melhoramento genético, e assim suprir esta demanda socioeconômica, de produtores e comerciantes, e mais atualmente, a demanda nutricional, de consumidores.

Figura 1 – Dados agrônômicos^a e mapa da produção de grãos de feijão-caupi em diferentes regiões brasileiras no ano de 2009: área cultivada (ha), produção (t), produtividade (kg/ha).



^a Dados e mapa de Freire Filho *et al.* (2011).

1.1.1 Melhoramento genético

O potencial genético do feijão-caupi ainda é pouco explorado, por isso o melhoramento genético pode ser utilizado para desenvolver cultivares com diferentes atributos para atender às necessidades específicas de diferentes regiões e sistemas de cultivo (SINGH, 1977; DIOUF, 2011). Para essa leguminosa, o melhoramento genético é realizado com técnicas clássicas, como o método de retrocruzamentos, por isso chamado de convencional.

O melhoramento genético convencional do *V. unguiculata* tem como objetivo principal o desenvolvimento de novas cultivares que se adequem a diferentes perfis de agricultores e consumidores. Deste modo, busca em curto prazo, desenvolver cultivares de arquitetura diversificada, aumentar a produção de grãos, resistência às pragas, doenças, às altas temperaturas e estresses hídricos. Além disso, também há uma preocupação em aumentar os níveis de nutrientes importantes para a população da atualidade, como proteína, ferro, zinco e fibra alimentar, sem esquecer sua qualidade visual e culinária (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

O melhoramento de feijão-caupi é realizado em diferentes regiões no mundo (SINGH; CAMBLISS; SHARMA, 1997; HALL; SINGH; EHLERS, 1997; SINGH, 2002). O *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) é o centro de referência mundial em pesquisas com essa leguminosa, e se localiza no leste da África, Nigéria. O *Collaborative Research Support Program* (CRSP), sediado em Michigan nos Estados Unidos da América, também realiza trabalhos de melhoramento. O IITA tem como objetivo desenvolver muitas linhagens aprimoradas com variabilidade para maturidade, tipo de planta e tipo de grão, conjuntamente com resistência às principais doenças, insetos, pragas, ervas daninhas e ampla adaptabilidade (SINGH *et al.*, 2006). O IITA possui a maior coleção de acessos desse feijão, mais de 14.000 acessos, que foram coletadas em mais de 100 países, e, além disso, possui 560 acessos de germoplasma silvestre, que estão sendo utilizados nos programas de melhoramento (SINGH, 2002; TIMKO; EHLERS; ROBERTS, 2007).

Portanto, muitos atributos de genótipos de *V. unguiculata* estão sendo avaliados e estudos genéticos têm identificado genes desejáveis com controle genético para pigmentação da planta, porte, altura, hábito de crescimento,

maturidade, fotossensibilidade, tolerância ao calor e a seca, tipo de folha, qualidade para forragem, fixação de nitrogênio, arquitetura da raiz, caracteres da vagem e dos grãos, qualidade dos grãos, resistência às principais doenças bacterianas, fúngicas e virais, resistência a nematóides das galhas, pulgões, carunchos e tripes, e resistência a uma erva parasítica (*Striga* spp.). (SINGH, 2002).

No Brasil, a Embrapa Meio-Norte é o centro de referência em pesquisas com feijão-caupi, localizada no nordeste do país (Teresina, Piauí), que é onde se localiza o seu Banco Ativo de Germoplasma, com um total de 1.075 acessos. A coleção de base possui 4.153 acessos e são mantidos na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Brasília, Distrito Federal). Em mais de 15 anos, a Embrapa Meio-Norte, em parceria com outras, já lançou 32 cultivares dessa leguminosa (MAPA/RNC, 2013).

A maioria das cultivares lançadas atendem à demanda da agricultura familiar, em especial do Norte e Nordeste, pois, normalmente, apresentam ciclo médio precoce a médio tardio, porte prostado a semi-prostado. Porém, com o avanço da agricultura empresarial do feijão-caupi no Centro-Oeste, com colheita mecanizada, cultivares com arquitetura moderna (porte ereto, hábito de crescimento determinado, inserção das vagens acima da folhagem) e de ciclo curto (superprecoce a precoce) foram lançadas (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). A adoção de novas cultivares, segundo estudos de impacto socioeconômico de Frota, Freire Filho e Corrêa (2000), proporciona aumentos significativos na produção e na geração de renda, bem como redução de custos/ha para o produtor desse feijão.

Atualmente, além dos objetivos de suprir a demanda da cadeia produtiva do cultivo de feijão-caupi, o melhoramento genético visa atender às necessidades nutricionais e sensoriais dos consumidores. Estudos realizados anteriormente mostram que a composição química dos grãos apresenta significativa variabilidade no teor de proteínas, carboidratos, fibras, minerais e vitaminas (CARVALHO *et al.*, 2012). Portanto, a biofortificação de cultivares do feijão-caupi, principalmente objetivando teores elevados de proteína, ferro e zinco, tem como alvo a melhora da defesa imunológica e o combate à anemia ferropriva e desnutrição. Como resultado do programa de melhoramento genético da Embrapa Meio-Norte, de 2005 a 2009, foram avaliados mais de 160 genótipos com o lançamento de três cultivares ricas em ferro e zinco (FREIRE FILHO *et al.*, 2009a).

O desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi com elevados teores de nutrientes e características inovadoras pode contribuir para a expansão do agronegócio e agroindústria de alimentos. Porém espera-se, com o avanço dos estudos, que o feijão-caupi alcance prestígio entre seus consumidores e que o consumo seja expandido tanto na forma de grãos secos e verdes, como também em enlatados, processados, farinhas e sopas pré-cozidas (FREIRE FILHO *et al.*, 2005). No Brasil, apenas uma empresa conhecida nacionalmente, Camil®, possui em seu catálogo de produtos o feijão-caupi processado já pronto para o consumo (CAMIL, 2013).

1.1.2 Importância nutricional

Os alimentos podem ser definidos como “produtos de composição complexa que, em estado natural, processados ou cozidos, são consumidos pelo homem para satisfazer suas necessidades nutritivas e saciar as sensoriais” (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). Deste modo, o grão do feijão-caupi é um alimento que possui nutrientes, e esses são

[...] certas substâncias contidas nos alimentos que o organismo utiliza, transforma e incorpora a seus próprios tecidos para cumprir três finalidades básicas: proporcionar energia necessária para que se mantenham a integridade e o perfeito funcionamento das estruturas corporais, prover materiais necessários para a formação dessas estruturas e, por último, suprir as substâncias necessárias para regular o metabolismo (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005, p. 16).

Os grãos do feijão-caupi possuem alto valor nutritivo, pois são encontradas quantidades relevantes de proteínas, carboidratos, incluindo fibra alimentar e minerais, como ferro e zinco (CARVALHO *et al.*, 2012).

A proteína é o nutriente mais caro em uma dieta, uma das causas de uma parcela populacional sofrer com sua deficiência. Porém, comparado à proteína animal, a proteína vegetal é mais barata, se tornando uma maneira mais acessível de inclusão no plano alimentar. Desta forma, o feijão-caupi, por possuir em média 22% de proteína, é uma maneira em que populações, principalmente na África, Ásia, América do Sul e Central, podem suprir suas necessidades de proteína (PHILLIPS *et al.*, 2003).

As proteínas são necessárias em uma dieta saudável por permitir o crescimento e manutenção das proteínas codificadas pelo genoma, assim como os

compostos nitrogenados, que também fazem da estrutura de um indivíduo (WHO; FAO; UNU, 2007). A ingestão de proteína inferior ao recomendado pode provocar diversas alterações fisiológicas no organismo, incluindo deficiência no metabolismo mineral, por exemplo a absorção gastrointestinal de cálcio, e retardo no crescimento corporal (ORWOLL *et al.*, 1992). Portanto, os indivíduos deverão consumir proteína suficiente para suprir sua demanda metabólica, que depende de vários fatores, como: idade, sexo, composição corporal, estilo de vida, entre outros (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010).

Estruturalmente, as proteínas são moléculas formadas a partir da desidratação de aminoácidos. A classificação desses aminoácidos, bioquimicamente, se refere à estrutura química da cadeia lateral (NELSON; COX, 2010). Porém, nutricionalmente, os aminoácidos são divididos em essenciais, que são aqueles em que o indivíduo necessita incluir em seu plano alimentar e não essenciais, que são aqueles que o próprio organismo através do metabolismo disponibiliza ao organismo (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010). Segundo WHO, FAO e UNU (2007), para humanos, de idade de 3 a 10 anos, os aminoácidos essenciais são: treonina (Thr), valina (Val), leucina (Leu), isoleucina (Ile), lisina (Lys), tirosina (Tyr), fenilalanina (Phe), metionina (Met), cisteína (Cys), triptofano (Trp) e histidina (His).

Deste modo, é importante salientar que além da quantidade ideal de proteína, a presença de aminoácidos essenciais é importante em um alimento. Esses aminoácidos devem estar disponíveis no local da síntese de proteína antes que qualquer um deles seja requisitado pelo código genético para a síntese de proteínas estruturais. Portanto, se alguns deles não estiverem presentes o processo de tradução será impedido (NELSON; COX, 2010).

O feijão-caupi se caracteriza por possuir todos os aminoácidos essenciais, porém alguns em teores abaixo do recomendado pela WHO, FAO e UNU (2007). Sua combinação com cereais pode oferecer ao indivíduo todos os aminoácidos requeridos, pois os aminoácidos Met, Cys e Trp que, geralmente estão em menor quantidade no feijão-caupi, são suplementados por aqueles presentes nos cereais (TIMKO; EHLERS; ROBERTS, 2007).

Fatores associados com a digestão da proteína e absorção de aminoácidos também tem sua relevância, tal como a digestibilidade proteica. Desta forma, é necessário que a proteína seja digerida pelo organismo para que os

aminoácidos sejam absorvidos e assimilados. Os métodos de preparo do alimento influenciam diretamente nessa característica, devido que modifica a estrutura tridimensional da proteína, podendo assim desnaturar a proteína deixando-a mais disponível. A fonte de proteína também é importante, uma vez que a proteína vegetal é menos digerida que a proteína animal, pois além de possuir parede vegetal pode também conter enzimas que inibem a digestão de proteínas (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010).

Os carboidratos são a principal fonte de energia na dieta. Eles são produzidos por organismos fotossintetizantes e estão presentes abundantemente na natureza. Para os animais heterotróficos, a ingestão de carboidratos digeríveis, como açúcar e amido, é importante para a produção de energia e os não-digeríveis mostram ter funções fisiológicas benéficas e redução de risco de certas doenças (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Os carboidratos são classificados em monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos, que todos estão presentes na composição do feijão-caupi. Essa leguminosa possui os seguintes carboidratos digeríveis: polissacarídeos (amido, em maior quantidade), oligossacarídeos (verbascose, rafinose e estaquiose), dissacarídeos (sacarose), e monossacarídeos (glicose e frutose). A composição dos carboidratos não-digeríveis, também é diversa, contendo celulose e hemiceluloses (LONGE, 1980).

Cada grama de carboidratos “disponíveis” há uma produção de 4 kcal, segundo os fatores de Atwater (BUCHHOLZ; SCHOELLER, 2004), para tanto são necessários sucessivas etapas até sua oxidação em gás carbônico e água (NELSON; COX, 2010).

Um conceito muito difundido, atualmente, devido à epidemia de diabetes do tipo 2, é o índice glicêmico dos alimentos. Sabe-se que a ingestão de carboidratos está correlacionada com o nível de glicose no sangue e como a diabetes mellitus é uma doença que torna o indivíduo debilitado na captação da glicose, é importante levarmos em consideração os índices glicêmicos dos alimentos. O índice glicêmico (IG), definido para classificar os diferentes carboidratos quanto à capacidade de elevar a glicemia quando comparados a um alimento de referência (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010). O tempo de digestão dos carboidratos e teor de fibras alimentares influencia o IG, e àqueles alimentos com menor tempo de digestão e/ou maior teor de fibras possuem o IG baixo. O feijão-caupi mostrou

possuir baixo índice glicêmico em estudos com essa leguminosa processada (OBOH; AGU, 2010).

A fibra alimentar é composta de substâncias não-digeríveis que compreendem um conjunto composto por amido resistente, polissacarídeos não amiloides, oligossacarídeos e lignina que possuem um papel fisiológico importante (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010). O feijão-caupi é uma boa fonte de fibra alimentar e devido a isto complementa a requisição diária de ingestão de fibras (25 g) das populações (FDA, 2010; BENITÉZ *et al.*, 2013). As fibras alimentares não são digeridas pelo intestino delgado, e suas funções dependem da solubilidade. As fibras insolúveis, tais como a celulose, permite um aumento de absorção de água e diminui o tempo do trânsito intestinal. As fibras solúveis possuem a capacidade de formar géis, e assim diminuem o trânsito gastrointestinal e a absorção de nutrientes, como o colesterol e minerais. Além disso, alguns oligossacarídeos fermentáveis tem um papel prebiótico, ou seja, estimula a produção de bactérias desejáveis no cólon devido à produção de ácidos graxos de cadeia (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010). Além disso, Oboh e Agu (2010) mostram que a fibra alimentar pode auxiliar no tratamento de doenças cardiovasculares, hipercolesterolemia, diabetes mellitus e até mesmo controle de peso corporal.

Os minerais representam de 4% a 5% do peso de um indivíduo e a grande maioria encontramos no estado iônico. São classificados tradicionalmente entre macrominerais (Ex: cálcio, potássio e magnésio), que são aqueles com necessidade de ingestão igual ou superior a 100 mg/dia, e os microminerais (Ex: ferro, zinco e manganês), com necessidade menor que 15 mg/dia. E a maneira em que eles são absorvidos pelo corpo humano, a biodisponibilidade, está relacionado a algumas propriedades do mineral e sua interação com outros componentes da dieta . Portanto, devido suas importâncias fisiológicas é necessário que haja um cuidado com a quantidade e a biodisponibilidade dos minerais (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010).

A biofortificação busca aumentar o teor de micronutrientes nos alimentos para suprir as necessidades nutricionais dos seres humanos, como por exemplo, de parte da população que sofre anemia ferropriva (HARDLER; COLUGNATI; SIGULEM, 2004) que é a doença de deficiência nutricional mais comum do mundo (MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010). Esse é um objetivo e preocupação recente em programas de melhoramento genético (SANDS *et al.*, 2009; CARVALHO;

VASCONCELOS, 2012; SALTZMAN *et al.*, 2013) inclusive em feijão-caupi, onde programas de melhoramento têm como objetivo o aumento do teor de ferro e zinco já que tradicionalmente a população tem o conhecimento que essa leguminosa é uma boa fonte de minerais (FREIRE FILHO *et al.*, 2009a).

Mesmo com todas essas propriedades nutricionais do feijão-caupi há uma limitação ao seu uso, que deve-se à presença de antinutrientes. Eles são substâncias presentes em alimentos que afetam o metabolismo de espécies por diferentes mecanismos e, conseqüentemente, sua nutrição. Esses fatores podem, dependendo da sensibilidade do organismo, provocar morte, e, portanto, são também chamados fatores tóxicos (BENEVIDES *et al.*, 2011). Alguns desses fatores encontrados em feijão-caupi são: ácidos fenólicos, taninos, lectinas e inibidores de proteases (KALPANADEVÍ, MOHAN, 2013).

Os compostos fenólicos (ácidos fenólicos e taninos) são fatores limitantes à utilização do feijão-caupi na alimentação, pois eles diminuem a solubilidade, absorção de minerais e digestão de proteína, ao formar complexos (REED, 1995). Entretanto, esses compostos possuem benefícios, pois atuam como antioxidantes e podem auxiliar na prevenção às doenças cardiovasculares e câncer (HACHIBAMBA, 2013). São resistentes à ação do calor, como a cocção, porém alguns processamentos, tais como extrusão, remoção da casca e germinação, são capazes de diminuir o teor desses (KALPANADEVÍ; MOHAN, 2013).

As lectinas são uma classe de proteínas ou glicoproteínas que possuem a característica de se ligar à resíduos de açúcares, que podem estar presentes em glicoproteínas, glicolipídeos, polissacarídeos ou glicosídeos (PEUMANS; VAN DAMME, 1995). Essas glicoproteínas são capazes de aglutinar células sanguíneas, eritrócitos, de animais e/ou humanos, e estimular a mitose em linfócitos (POWER 1991). Além disso, as lectinas podem diminuir a digestão e absorção de nutrientes por se ligarem à mucosa intestinal (GUPTA; SANDHU, 1997), bem como reduzir a digestibilidade pela inibição de enzimas (THOMPSON; 1993).

Os inibidores de proteases (tripsina/quimotripsina) são de ocorrência comum em leguminosas e possuem efeitos antinutricionais pela diminuição da atividade enzimática (MULIMANI; PARAMJYOTHI, 1994). Como consequência, há alterações fisiológicas naqueles que os consomem como retardo no crescimento corporal, e mudanças nos órgãos (TASHIRO; MAKI, 1990). Esses fatores, assim

como lectinas, são reduzidos nos alimentos após processamento térmico, como por exemplo, o cozimento (KALPANADEVII; MOHAN, 2013).

1.1.3 Avanços na indústria alimentícia

O feijão-caupi ainda é uma leguminosa subutilizada na indústria alimentícia, assim sua inclusão na formulação de produtos e/ou alimentos seria uma alternativa na suplementação alimentar da população, pelo seu alto valor nutricional. Para isso, devem-se estudar melhor as características físico-químicas (propriedades funcionais) do feijão-caupi e sua interação com outros alimentos. As propriedades funcionais dos alimentos de importância tecnológica, tais como capacidade de absorção de água e óleo, geleificação e espumabilidade, são características que influenciam na aceitação e utilização desses na indústria alimentícia (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

A hidrofiliabilidade e hidrofobicidade (absorção de água e óleo) são propriedades relacionadas à retenção de sabor, palatabilidade, textura dos alimentos e tempo de armazenamento. Além disso, para a inclusão de ingredientes em alimentos viscosos, tais como sopas, molhos, massas e produtos de panificação e produtos cárneos, como salsichas e análogos de carne. (MIZUBUTI *et al.*, 2000; AVANZA *et al.*, 2012).

A geleificação é importante para a inclusão de determinados tipos de alimentos, tais como produtos lácteos, produtos de carne cozidos, gelatinas, massa de pão, queijos etc. Adicionalmente é capaz de melhorar a absorção de água, viscosidade, adesão entre partículas e estabilizar emulsões e espumas, que são características observadas ao incluir um novo ingrediente em um alimento (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

A capacidade de formação de espuma e sua estabilidade são importantes para muitos alimentos processados, como cremes batidos, sorvetes, merengues, bolos, pães, suflês, mousses, *marshmallows* e biscoitos, pois para esses alimentos as propriedades texturiais ocorrem em função das minúsculas bolhas de ar dispersas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; DAMODORAN, 2010).

Portanto, para obter novas maneiras de consumo do feijão-caupi, como por exemplo, em forma de farinha em lanches e pães, é necessário que suas

propriedades funcionais associadas ao valor nutricional sejam observadas para uma adequada inclusão dessa leguminosa em novos alimentos.

.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Analisar o efeito do melhoramento genético convencional do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] sobre os atributos nutricionais e propriedades funcionais (físico-químicas) de importância industrial.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os atributos nutricionais por meio de determinação da composição proximal e de minerais da farinha integral de grãos de feijão-caupi;
- Analisar a qualidade proteica de genótipos com teores de proteína acima de 25% por meio de determinação do PDCAAS (escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica);
- Analisar os fatores tóxicos e/ou antinutricionais e propriedades funcionais, de importância tecnológica, da farinha das sementes dos genótipos com teores mais elevados de proteína, ferro e zinco;
- Apontar quais genótipos, dentre os analisados, reúnem o maior número de atributos nutricionais desejáveis por meio, de ranking de qualidade nutricional, visando sugeri-los como possíveis parentais no desenvolvimento de novos genótipos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Reagentes químicos

Azocaseína, albumina sérica bovina (96 %), kit de fibra dietética total (TDF-100A), quimotripsina de pâncreas bovino (tipo I-S), reagente de Folin-Ciocalteu e tripsina de pâncreas bovino (tipo I) foram compradas da Sigma Aldrich®. Todos os outros reagentes químicos usados nos experimentos eram de pureza analítica.

3.2 Genótipos

Foram utilizados trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Meio-Norte (Teresina, Piauí), onde todas foram cultivadas sob as mesmas condições bióticas e abióticas. A tabela 1 apresenta o código da linhagem, o ano de cruzamento, a subclasse comercial, o peso de 100 grãos (g) e produtividade dos grãos (BARROS *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013). A figura 2 mostra a aparência das subclasses comerciais, de acordo com a classificação brasileira. Para comparação, foi utilizada soja orgânica da empresa Jasmine® por ser uma leguminosa amplamente difundida na alimentação humana.

3.3 Processamento das sementes

As sementes foram selecionadas para eliminar aquelas danificadas e infectadas/infestadas. As sementes saudáveis foram pulverizadas em moedor elétrico de café (CADENCE®, Modelo MDR301). Em seguida, a farinha triturada foi peneirada em malha de 40 mesh e posta em estufa a 45 °C por 24 h para obtenção de amostras homogêneas e sem umidade. Parte da farinha dos feijões-caupi obtida foi delipidada a frio com hexano, na proporção de 1:3 (m/v), sendo realizadas três trocas de solvente antes da evaporação do solvente, diferentemente da farinha da soja que sofreu quatro trocas de hexano. As farinhas integral e delipidada foram acondicionadas (22 ± 3 °C) em potes plásticos hermeticamente fechados até a realização das análises químicas, bioquímicas e físico-químicas (quadro 1).

Tabela 1 – Identificação dos trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	Ano de cruzamento	Subclasse comercial	P100G ^a (g)	PG ^b (kg/ha)	Porte
G01 (BRS-JURUÁ)	2000	Verde	17,67	684,91	3
G02 (BRS-ITAIM)	2004	Fradinho	23,06	1.122,38	1
G03 (BRS-ARACÊ)	2005	Verde	18,29	958,37	3
G04 (MNC01-649F-1-3)	2001	Rajado	19,39	1.045,74	3
G05 (MNC01-649F-2-1)	2001	Rajado	19,53	1.033,71	3
G06 (MNC01-649F-2-11)	2001	Rajado	19,30	980,00	3
G07 (MNC02-675F-4-10)	2002	Mulato	21,47	1.188,32	2
G08 (MNC02-675F-4-9)	2002	Mulato	21,95	1.149,65	3
G09 (MNC02-675F-9-2)	2002	Mulato	20,87	1.140,67	2
G10 (MNC02-675F-9-3)	2002	Mulato	20,73	1.182,31	2
G11 (MNC02-675F-9-5)	2002	Mulato	19,17	1.029,55	3
G12 (MNC02-676F-1)	2002	Mulato	17,40	1.060,45	3
G13 (MNC02-676F-3)	2002	Mulato	18,79	1.262,27	2
G14 (MNC02-677F-2)	2002	Sempre-verde	20,19	925,85	3
G15 (MNC02-677F-5)	2002	Mulato	20,37	992,25	3
G16 (MNC02-680F-1-2)	2002	Sempre-verde	17,29	939,39	3
G17 (MNC02-682F-2-6)	2002	Branco	19,66	1.131,33	2
G18 (MNC02-683F-1)	2002	Branco	18,86	1.154,68	2
G19 (MNC02-684F-5-6)	2002	Branco	19,03	1.171,26	2
G20 (MNC02-689F-2-8)	2002	Sempre-verde	19,84	968,13	3
G21 (MNC02-701F-2)	2002	Branco	19,61	1.167,54	3
G22 (MNC03-725F-3)	2003	Branco	19,99	1.058,46	2
G23 (MNC03-736F-2)	2003	Branco	18,51	986,36	3
G24 (MNC03-736F-6)	2003	Branco	21,45	985,23	3
G25 (MNC03-736F-7)	2003	Branco	21,04	1.072,99	2
G26 (MNC03-737F-11)	2003	Branco	20,66	1.162,60	2
G27 (MNC03-737F-5-1)	2003	Branco	18,66	1.068,09	2
G28 (MNC03-737F-5-10)	2003	Branco	18,53	1.075,30	2
G29 (MNC03-737F-5-11)	2003	Branco	19,17	1.188,32	2
G30 (MNC03-737F-5-4)	2003	Branco	19,65	1.184,29	2
G31 (MNC03-737F-5-9)	2003	Branco	18,19	1.200,95	2
G32 (MNC03-761F-1)	2003	Sempre-verde	18,72	985,50	3

^a P100G – Peso de 100 grãos (BARROS *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013);

^b PG – Produtividade de grãos (BARROS *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013);

1 – Porte ereto;

2 – Porte semiereto;

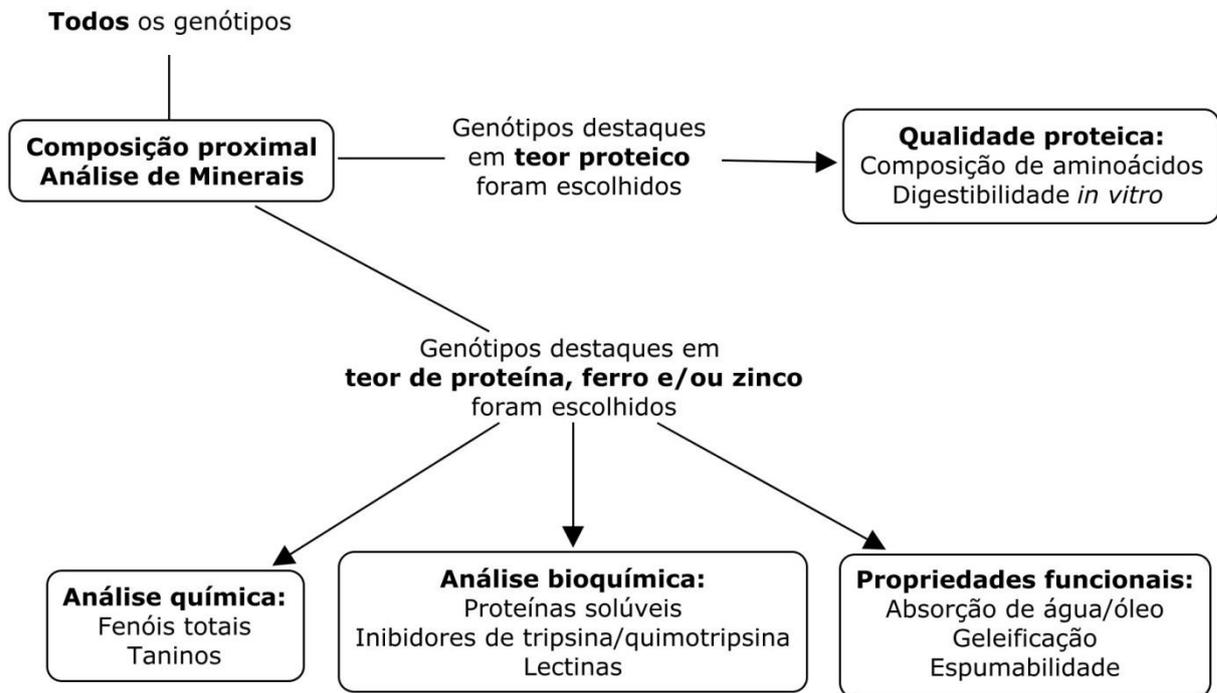
3 – Porte semiprostado.

Figura 2 – Ilustrações fotográficas das subclasses comerciais de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional



Fonte: O autor (2013).

Quadro 1 – Esquema de metodologia utilizada para análise das farinhas de sementes de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]



3.4 Composição proximal

O teor de cinzas, lipídios e fibra alimentar total das farinhas foram determinados de acordo com protocolos da AOAC (AOAC, 2002).

Para obter o teor de cinzas, amostras com massa de 1 g foram levadas em cadinhos de porcelana a forno mufla (QUIMIS®, Modelo Q318M24) e calcinadas à temperatura de 550 °C por 4 h. O valor de matéria mineral foi determinado pela diferença entre massa inicial e final dos cadinhos.

Para determinação de lipídios totais (%), 5 g de sementes desidratadas embaladas em papel filtro, foram submetidas à extração a quente por hexano 1:5 (m/v) em um sistema de Soxhlet por 8 h. Os lipídios foram coletados em um béquer e deixado em capela de exaustão. Após a dissipação do hexano, os béqueres foram colocados em estufa de secagem por aproximadamente 30 min e depois o material lipídico extraído foi quantificado, e o cálculo do percentual em relação à amostra seca inicial foi obtido.

O teor proteico das sementes foi obtido pelo método Microkjeldahl (AOAC, 2002) combinado com método fotocolorimétrico descrito por Baethgen e

Alley (1989) e calculado pela multiplicação do nitrogênio mensurado e o fator de conversão para proteína 6,25. Amostras das farinhas de sementes (0,05 g) foram colocadas em contato com catalisador (0,5 g, sulfato de potássio, sulfato cúprico, e selênio metálico na proporção 100:10:1, respectivamente) e ácido sulfúrico (2,5 mL, P.A.), e levados a um microdigestor de kjeldahl processado (QUIMIS®, Modelo Q327M242) onde ficaram à temperatura de 400 °C de 45 min à 1 h. A quantidade total de nitrogênio foi determinada utilizando curva padrão obtida com concentrações crescentes de sulfato de amônio.

Para fibra alimentar total, foi utilizado o método enzimático-gravimétrico utilizando um kit comercial para análise de fibras. Farinhas de sementes desidratadas foram submetidas à digestão enzimática por alfa-amilase, protease e amiloglucosidase, consecutivamente. Primeiramente, as amostras foram misturadas com tampão fosfato (pH 6,0), adicionado alfa-amilase e postas em banho-maria à 95 °C por 15 min com agitação em intervalos de 5 min. Após esfriarem, o pH foi aferido com hidróxido de sódio para $7,5 \pm 0,2$, adicionado 100 µL da solução de protease (50 mg/mL, em tampão fosfato) e colocadas em um banho-maria à 60 °C sob constante agitação por 30 min. Após resfriarem, o pH foi aferido com ácido clorídrico para $4,4 \pm 0,2$, adicionado amiloglucosidase e colocadas em um banho-maria à 60 °C sob constante agitação por 30 min. Em seguida, etanol (95%) foi adicionado para precipitar a fibra alimentar solúvel permanecendo em contato com as amostras por pelo menos 12 h e depois foram filtrados em cadinhos de vidro sinterizado com sucessivas lavagens com álcool e acetona. Depois de secos em estufa, a massa dos resíduos foi quantificada. O teor de proteínas (macrokjeldahl seguido de ensaio fotocolorimétrico) e cinzas (5 h à 525 °C em forno mufla) remanescente nos resíduos de fibra dietética foi obtido para posterior subtração do total. O percentual de fibra dietética total foi obtido em relação à amostra seca inicial.

O teor de carboidratos digeríveis foi quantificado pela diferença percentual de todos os outros constituintes, onde 100 % foi subtraído da soma de cinzas, lipídios, proteínas e fibra dietética.

3.5 Qualidade nutricional das proteínas

Os genótipos de feijão-caupi que se destacaram apresentando os maiores teores de proteínas total ($\geq 25\%$) foram submetidos às análises de composição de aminoácidos e digestibilidade proteica *in vitro*.

3.5.1 Perfil aminoacídico

Para a análise de aminoácidos totais foi utilizado o método de derivatização com fenilisotiocianato (PITC) (HAGEN; FROST; AUGUSTIN, 1989). Primeiramente, foi misturado, a 110 °C, 6 M de ácido clorídrico com fenol às amostras permanecendo por 24 h. O ácido foi evaporado a vácuo, e depois foi realizada uma re-evaporação com solução de acetato de sódio, metanol e trietilamina. Posteriormente, foi realizada a derivatização do hidrolisado com solução de metanol, água ultrapura, trietilamina e PITC. Os aminoácidos, então, foram dissolvidos em diluente e introduzidos em cromatógrafo líquido de alta eficiência em fase reversa utilizando coluna LUNA® C18 (100 Å, 5 µm 250x4,6 mm; código 00G-4252-EQ), e quantificados por detector UV em 254 nm. Como padrão interno, ácido α -aminobutírico foi adicionado aos aminoácidos liberados na hidrólise ácida. As áreas dos picos, obtidos a partir das amostras, foram quantificadas em comparação com as de uma mistura padrão de aminoácidos e padrão interno.

Para os aminoácidos livres foram realizadas as etapas de extração e desproteinização em ácido clorídrico 0,1 M e metanol 99 % respectivamente. Os processos de secagem e derivatização são os mesmos utilizados para os aminoácidos totais.

O aminoácido triptofano foi determinado de acordo com o método descrito por Spies (1967). O método fotolorimétrico foi realizado após as amostras passarem uma hidrólise enzimática com pronase à 40 °C durante 22-24 h e seguida reação com 4-dimetilaminobenzaldeído em ácido sulfúrico (21,1 N). Foi feita a leitura em espectrômetro a 590 nm e a quantificação do teor de triptofano realizada a partir de uma curva padrão.

O escore químico de aminoácido (AAS, *Amino Acid Score*) foi calculado como proposto pela WHO, FAO e UNU (2007) em comparação com requerimento para crianças de 3 a 10 anos de idade, veja a seguir:

$$AAS = \frac{(mg \text{ de aminoácido em } 1 \text{ g de proteína teste})}{(mg \text{ de aminoácido em padrão normal})}$$

3.5.2 Digestibilidade proteica *in vitro*

Para obter o valor da digestibilidade proteica *in vitro*, o método utilizando digestão sequencial por pepsina e tripsina foi utilizado assim como descrito por Tang, Chen e Ma (2009). As farinhas de sementes foram misturadas em 0,1 N de ácido clorídrico (pH 1,5) (1 %, m/v) em um banho-maria à 37 °C por 3 – 5 min. Depois, uma alíquota de pepsina (enzima:amostra = 1:100, m/m) foi adicionada e a suspensão foi incubada à 37 °C por 120 min sob agitação contínua. Após a digestão com a pepsina, o pH da mistura foi ajustado para 7,0 com hidróxido de sódio para parar a reação e adicionar a tripsina (enzima:amostra = 1:100, m/m), que foi mantida em contato com a suspensão por 120 min. Logo após, um volume igual de 10% de ácido tricloroacético foi adicionado lentamente, sob agitação, à suspensão da digestão enzimática, que foi submetida, em seguida, à centrifugação (10.000 g; 20 min) para obter o precipitado. O teor de nitrogênio do precipitado foi mensurado pelo mesmo método já descrito para proteínas totais. Digestibilidade proteica *in vitro* (%) foi definida pela seguinte fórmula:

$$\text{Digestibilidade proteica (\%)} = 100 \times \frac{(N_o - N_t)}{N_{tot}}$$

onde N_t representa o teor de nitrogênio do precipitado depois da digestão enzimática; N_o , o teor de nitrogênio antes da digestão; N_{tot} , o teor de nitrogênio total da amostra teste.

O valor da digestibilidade proteica *in vitro* foi utilizado para o cálculo do escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS, *protein digestibility corrected amino acid score*) como descrito por WHO, FAO e UNU (2007):

$$PDCAAS = O \text{ menor AAS} \times \text{Digestibilidade proteica}$$

3.6 Composição mineral

A composição mineral (ferro, zinco, potássio, cálcio, magnésio e manganês) foi determinada de acordo com Dantas *et al.* (2013). Amostras (200 mg) formaram uma suspensão com 3 mL de ácido nítrico/ 2 mL de 30% de peróxido de

hidrogênio e deixadas em um forno micro-ondas (Multi-waves, Anton Paar, Graz, Austria) equipado com 6 vasos fechados de quartzo de 50 mL (máxima temperatura e pressão: 300 °C e 75 bar) e um sensor de temperatura. O programa do forno micro-ondas está descrito na tabela 2.

Depois da digestão total, o volume foi aferido para 30 mL com água ultrapura, obtido do sistema de purificação de água Milli-Q (Millipore, Bedford, MA, EUA). Um aparelho de espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (Optima 4300 DV, Perkin Elmer, ICP-OES) foi utilizado para leituras das amostras da mesma forma como soluções de calibração. Os parâmetros do ICP-OES são: frequência do gerador 40 MHz; potência de radiofrequência 1,1 kW; taxa de fluxo do plasma de argônio 15 L/min; taxa de fluxo do argônio auxiliar de 0,5 L/min; taxa de fluxo do nebulizador de 0,8 L/min; e taxa de fluxo da amostra de 1,4 mL/min. Os comprimentos de ondas dos elementos e a posição de visualização da tocha no ICP-OES estão apresentados na tabela 3.

Tabela 2 – Programa usado para digestão das farinhas de sementes no forno de micro-ondas.

Etapa	Potência (W)	Tempo (min)
1	100-500	5,0
2	800-800	15,0
3	0	15,0

Tabela 3 – Comprimentos de ondas dos minerais monitorados e a posição de visualização do aparelho.

Mineral	Comprimento de onda (nm)	Posição da visualização
Fe	259.939	Axial
Zn	213.857	Axial
K	766.490	Radial
Ca	317.933	Axial
Mg	285.213	Axial
Mn	257.610	Axial

3.7 Análises químicas

3.7.1 Fenóis totais

A preparação do extrato fenólico foi realizada de acordo com Mokgope (2007) com algumas modificações, onde a amostra foi misturada à acetona 70% (1:10, m/v) permanecendo sob agitação constante por 2 h à 5 ± 2 °C. Após a extração, a suspensão foi centrifugada a 4500 g por 5 min.

O ensaio fotolorimétrico descrito por Singleton e Rossi (1965) para a estimativa de fenóis totais foi realizada nos extratos. Uma alíquota de 100 µL do extrato fenólico foi agitado com 500 µL do reagente de Folin-Ciocalteu e 6 mL de água destilada, e depois ficaram em repouso de 3 a 8 min. Após esse procedimento, foram adicionados 2 mL de carbonato de sódio (4%), agitados e colocados no escuro por 2 h. O teor de fenóis totais foi determinado, após a leitura da absorbância a 750 nm, por interpolação de dados contra o padrão de ácido tânico (1 – 10 mg/mL).

3.7.2 Taninos

A estimação da presença de taninos foi determinada pelo método de difusão radial em gel descrito por Hagerman (1987) com modificações. Agarose 1% (m/v) foi dissolvida após o aquecimento do tampão (pH 5,0) contendo 60 µM de ácido acético, 0,05 M de ácido ascórbico, e 0,04% (m/v) de azida sódica à 100 °C. Após ser esfriado, em um banho-maria a 45 °C foi adicionado 0,1% de albumina sérica bovina (m/v). Dessa solução 15 mL foram rapidamente transferidos para placas de petri de nove cm de diâmetro e, então, armazenadas em um ambiente refrigerado (5 ± 2 °C) para solidificação. Os extratos das amostras (10 repetições de um volume de 12 µL), obtido da mesma forma que os extratos fenólicos, foram aplicados em poços de 3,0 mm no gel, assim como o padrão (ácido tânico; 84 a 1680 µg/poço). Essas placas ficaram por 96 h a uma temperatura de 30 ± 2 °C. O teor de taninos foi quantificado, após medição do halo da precipitação de proteínas, e comparado com o padrão.

3.8 Análises bioquímicas

3.8.1 Preparação do extrato bruto

Para as análises químicas e bioquímicas, primeiramente, foi obtido o extrato bruto das farinhas de sementes de acordo com os melhores resultados encontrado por Maia (1996). As amostras foram misturadas em 0,05 M de tampão fosfato, pH 7,0 contendo 0,15 M de cloreto de sódio em uma proporção de 1:10 (m/v) e submetidos à agitação constante durante 4 h e temperatura controlada (5 ± 2 °C). Após a preparação do extrato, o mesmo foi centrifugado a 10.000 g por 30 min (4 °C) para a coleta do sobrenadante.

3.8.2 Proteínas solúveis

Para a quantificação de proteínas totais, o método fotolorimétrico de Bradford (1976) foi utilizado. O extrato bruto foi diluído no mesmo tampão de extração (1:100, v/v) e uma alíquota foi misturada com reagente de Bradford (Coomassie Brilliant Blue G-250, álcool etílico 95% e ácido fosfórico). Após 10 min, a absorbância da mistura foi lida em espectrômetro no comprimento de onda de 550 nm, e o resultado obtido foi comparado à curva de calibração de albumina sérica bovina.

3.8.3 Inibidores de tripsina/quimotripsina

A atividade inibitória de tripsina/quimotripsina foi analisada pelo método descrito por Erlanger, Kokowsky e Cohen (1961) usando azocaseína com substrato. Uma alíquota de uma solução de tripsina/quimotripsina (0,02 mg/mL) em 2,5 mM de ácido clorídrico foi pré-incubada com tampão Tris-HCl 50 mM com cloreto de cálcio 20 mM, pH 7,5 e extrato bruto (100 µL) por 15 min à 37 °C. Após esse período, 200 µL da solução de azocaseína 1% (m/v, em com tampão Tris-HCl 50 mM) foram adicionados ao teste. A reação enzima-substrato foi parada com 300 µL de ácido tricloroacético 20% e depois centrifugada a 10.000 g por 10 min. O sobrenadante foi coletado e misturado com hidróxido de sódio a 2 N (1:2, v/v) A atividade foi expressa

como unidade inibitória (UI) por mg de proteínas, onde UI foi definido como um decréscimo na absorvância em 0,01 à 440 nm.

3.8.4 Lectinas

A presença de lectinas foi mensurada de acordo com Vasconcelos *et al.* (2010). Sangue de coelho foi obtido pela punção da veia marginal da orelha de animal saudável. Os extratos preparados anteriormente foram duplamente diluídos em 0,15 M de cloreto de sódio e adicionados em eritrócitos de Coelho (20 mg/mL em 0,15 M de NaCl) tratados com tripsina (1 mg/mL) e deixados em um banho-maria (37 °C) por 30 min e mais 30 min em uma temperatura de 22 ± 3 °C. Os resultados foram descritos como atividade hemaglutinante (HU), que é a maior diluição capaz de ocasionar uma visível aglutinação.

3.9 Propriedades funcionais de importância tecnológica

3.9.1 Capacidade de absorção de água/óleo

A capacidade de absorção de água/óleo foi realizada segundo Beuchat (1977), com modificações. Farinhas de sementes integrais foram homogeneizadas com água/óleo (1:10, m/v), onde permaneceram por 30 min em repouso e depois centrifugados a 3000 g por 30 min. O volume do sobrenadante foi mensurado e o volume de água/óleo retido por grama de amostra foi calculado. Densidade do óleo de 0,87 g/mL foi utilizada para correção.

3.9.2 Geleificação

A capacidade de formar géis, geleificação, foi determinada de acordo com Darfour (2012). Suspensões aquosas das farinhas de sementes integrais em diferentes concentrações foram aquecidas por 1 h à temperatura de 80 °C, resfriados rapidamente em um banho de gelo e mantidos por 2 h em um ambiente a 5 ± 2 °C. A geleificação foi detectada onde, ao inverter os tubos de ensaio, as amostras não caíram ou deslizaram pela parede.

3.9.3 Espumabilidade

As propriedades espumantes (capacidade e estabilidade) foram determinadas de acordo com Darfour (2012), com modificações, em que farinhas de sementes integrais (2 g) suspensas em 50 mL água destilada foram misturadas em um liquidificador (Black & Decker®, 700 W, 60 Hz) durante 1 min. A mistura foi imediatamente transferida para uma proveta graduada de 100 mL e, após 30 s, o volume da espuma foi registrado. O volume da espuma também foi medido após decorrido 30, 60, 90 e 120 min. A capacidade de formar espuma e estabilidade foram quantificadas em porcentagem, como as fórmulas abaixo:

$$\text{Capacidade de formar espuma (\%)} = 100 \times \frac{(V_2 - V_1)}{(V_1)}$$

Onde: V_1 é o volume antes da homogeneização, e V_2 , após a homogeneização e formação de espuma.

$$\text{Estabilidade da espuma (\%)} = 100 \times \frac{V_{t(30-120)}}{V_0}$$

Onde: V_t é o volume da espuma no tempo 30, 60, 90 ou 120 min, e V_0 , é o volume medido após a mistura ter sido transferido à proveta.

3.10 Rankings de qualidade nutricional

Em posse das características nutricionais, os genótipos de feijão-caupi foram classificados em um ranking utilizando índices de qualidade nutricional, como Sousa (2010), porém com algumas modificações. As fórmulas desses índices estão apresentadas no apêndice. No primeiro índice (IQN1) foram considerados somente os atributos desejáveis: proteína, fibra, ferro e zinco. Os dois primeiros pelo fato de que os feijões são, em geral, a principal fonte desses nutrientes. Já esses micronutrientes foram escolhidos pela razão de que certa parte da população apresenta quadros de deficiência dos mesmos e o feijão faz parte da alimentação básica brasileira. No IQN2 foram ponderados as propriedades desejadas e fatores tóxicos e/ou antinutricionais quantificados neste estudo, que foram: inibidores de tripsina e quimotripsina, lectinas, fenóis e taninos. No terceiro índice (IQN3), além de todos os, anteriormente citados, foram incluídos os valores do escore químico de aminoácidos, corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS).

3.11 Análise estatística

Os dados obtidos em triplicatas estão representados como média \pm desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (C.V.). Análise de variância (ANOVA) seguido de teste Scott-Knott a 1% de probabilidade ou Tukey ($p \leq 0,05$) foram utilizados para determinar diferença estatística.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição proximal e minerais

Os resultados da composição proximal (tabela 4) das sementes dos trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos por melhoramento genético convencional da Embrapa Meio-Norte revelam que a média (% base seca) das proteínas totais, lipídios, cinzas, fibra alimentar total e carboidratos digeríveis foram $22,95 \pm 1,84$; $1,60 \pm 0,16$; $3,84 \pm 0,25$; $17,80 \pm 1,80$ e $53,87 \pm 2,41$, respectivamente.

Quanto ao teor de proteínas totais, o genótipo com o teor proteico menor obteve o valor de $19,58 \pm 0,50$ (G11) e o maior, $27,34 \pm 0,43$ (G1). Os resultados apresentados na tabela 4 mostram que os genótipos com maior percentual proteico foram G01 ($27,34 \pm 0,43$) e G03 ($26,18 \pm 0,44$). O coeficiente de variação entre todos os genótipos foi de 8,01%. Esses resultados são semelhantes aos dados obtidos por Carvalho *et al.* (2012), que também estudaram genótipos brasileiros obtidos por melhoramento genético convencional, com variação proteica de 17,4 a 28,3%. Esses valores proteicos corroboram com o fato de que o feijão-caupi é uma boa fonte proteica, tendo cerca de duas vezes o teor de proteínas dos cereais e comparável às outras leguminosas, como o grão-de-bico (*Cicer arietinum*), ervilha (*Pisum sativum*) e lentilha (*Lens esculenta*) (JULIANO, 1999) e inferior à soja (*Glycine max*), que no presente trabalho mostrou teor de $45,41 \pm 0,33\%$.

Os genótipos elite de feijão-caupi mostraram ser um alimento saudável para a maioria da população. A média dos teores de lipídios ($1,60 \pm 0,16$), cinzas ($3,84 \pm 0,25$), fibra alimentar ($17,80 \pm 1,80$) e carboidratos ($53,87 \pm 2,41$) estão de acordo com outros genótipos de feijão-caupi (BAKER *et al.*, 1989; CASTELLON, 1996; MATOS, 1997; MEDEIROS, 2013). Além disso, comparado às recomendações de ingestão diária (FDA, 2010), o teor de lipídios médio do feijão-caupi é bem inferior ao recomendado de 65 g, e numa refeição com 100 g de feijão-caupi supre uma quantidade considerável da recomendação diária de ingestão de fibra alimentar. Portanto, o teor de fibra alimentar elevado (aproximadamente 18%) mostra a importância do consumo de feijão-caupi, pois este supre grande parte da recomendação diária da população (25 g) e com baixa concentração de gordura.

Tabela 4 (continua) – Composição proximal (% base seca)¹ de trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos ²	Proteínas ³	Lipídios	Cinzas	Fibra alimentar	Carboidratos digeríveis ⁴
G01	27,34 ± 0,43 ^a	1,84 ± 0,07 ^b	3,94 ± 0,05 ^c	19,28 ± 0,52 ^a	47,47 ± 0,69 ^d
G02	21,60 ± 0,39 ^d	1,89 ± 0,08 ^b	3,52 ± 0,02 ^e	15,26 ± 0,16 ^d	57,69 ± 0,28 ^a
G03	26,18 ± 0,44 ^a	1,88 ± 0,07 ^b	3,60 ± 0,05 ^e	17,97 ± 0,77 ^b	50,54 ± 0,35 ^c
G04	22,61 ± 0,35 ^d	1,72 ± 0,04 ^c	4,31 ± 0,07 ^a	18,36 ± 0,41 ^b	53,09 ± 0,40 ^b
G05	24,25 ± 0,15 ^c	1,70 ± 0,03 ^c	4,08 ± 0,06 ^b	18,25 ± 0,32 ^b	51,64 ± 0,45 ^c
G06	22,92 ± 0,35 ^c	1,64 ± 0,04 ^d	4,32 ± 0,06 ^a	19,48 ± 0,96 ^a	51,42 ± 1,60 ^c
G07	23,44 ± 0,27 ^c	1,48 ± 0,03 ^e	3,55 ± 0,03 ^e	19,05 ± 0,52 ^b	52,28 ± 2,16 ^c
G08	24,07 ± 2,00 ^d	1,49 ± 0,02 ^d	3,63 ± 0,04 ^b	18,46 ± 0,28 ^a	53,53 ± 1,01 ^b
G09	21,23 ± 0,06 ^d	1,46 ± 0,04 ^e	4,01 ± 0,08 ^c	18,89 ± 0,50 ^b	54,53 ± 0,74 ^b
G10	20,38 ± 0,83 ^d	1,47 ± 0,08 ^e	3,90 ± 0,03 ^c	17,48 ± 0,56 ^c	56,95 ± 0,57 ^a
G11	19,58 ± 0,50 ^d	1,51 ± 0,03 ^d	3,86 ± 0,06 ^c	18,36 ± 0,13 ^b	56,65 ± 0,67 ^a
G12	20,61 ± 0,39 ^d	1,60 ± 0,02 ^d	4,06 ± 0,04 ^b	20,41 ± 0,33 ^a	53,40 ± 0,32 ^b
G13	23,39 ± 0,49 ^c	1,47 ± 0,03 ^e	4,06 ± 0,02 ^b	19,31 ± 0,45 ^a	51,67 ± 0,99 ^c
G14	20,80 ± 1,37 ^d	1,39 ± 0,09 ^f	3,53 ± 0,03 ^e	19,29 ± 0,28 ^a	54,92 ± 1,69 ^b
G15	20,89 ± 1,35 ^d	1,85 ± 0,03 ^b	3,75 ± 0,08 ^d	18,58 ± 0,41 ^b	54,82 ± 0,33 ^b
G16	21,68 ± 0,81 ^d	1,54 ± 0,02 ^d	3,81 ± 0,05 ^d	18,66 ± 0,81 ^b	54,50 ± 1,65 ^b
G17	25,26 ± 0,22 ^b	1,31 ± 0,05 ^f	4,14 ± 0,01 ^b	19,50 ± 0,83 ^a	49,98 ± 1,25 ^c
G18	24,62 ± 0,72 ^c	2,00 ± 0,01 ^a	3,87 ± 0,08 ^c	14,06 ± 0,33 ^d	55,37 ± 1,09 ^a
G19	22,87 ± 0,37 ^c	1,53 ± 0,03 ^d	3,72 ± 0,03 ^d	15,69 ± 0,23 ^d	56,24 ± 0,26 ^a
G20	24,90 ± 0,10 ^b	1,57 ± 0,03 ^d	3,89 ± 0,02 ^c	19,32 ± 0,46 ^a	50,43 ± 0,36 ^c
G21	21,43 ± 0,36 ^d	1,80 ± 0,02 ^c	3,94 ± 0,06 ^c	16,18 ± 0,87 ^c	56,86 ± 0,35 ^a
G22	24,94 ± 0,60 ^b	1,57 ± 0,08 ^d	4,01 ± 0,11 ^c	18,99 ± 0,96 ^b	50,72 ± 1,23 ^c
G23	23,02 ± 0,06 ^c	1,48 ± 0,02 ^e	4,02 ± 0,02 ^c	16,82 ± 0,62 ^c	54,81 ± 0,99 ^b
G24	23,18 ± 0,13 ^c	1,63 ± 0,11 ^d	4,07 ± 0,03 ^b	16,07 ± 0,75 ^c	54,87 ± 1,03 ^b
G25	23,84 ± 2,15 ^c	1,60 ± 0,04 ^d	3,77 ± 0,06 ^d	15,97 ± 0,09 ^c	54,79 ± 1,96 ^b

Tabela 4 (conclusão) – Composição proximal (% base seca)¹ de trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos ²	Proteínas ³	Lipídios	Cinzas	Fibra alimentar	Carboidratos Digeríveis ⁴
G26	24,48 ± 0,18 ^c	1,52 ± 0,00 ^d	3,55 ± 0,04 ^e	16,75 ± 0,07 ^c	53,68 ± 0,34 ^b
G27	24,31 ± 2,56 ^c	1,44 ± 0,09 ^e	3,41 ± 0,08 ^e	14,58 ± 0,12 ^d	56,22 ± 2,85 ^a
G28	22,34 ± 0,17 ^d	1,55 ± 0,03 ^d	3,87 ± 0,07 ^c	18,42 ± 0,73 ^b	53,99 ± 0,51 ^b
G29	24,41 ± 0,53 ^c	1,58 ± 0,00 ^d	3,50 ± 0,05 ^e	14,95 ± 0,52 ^d	55,67 ± 0,31 ^a
G30	23,22 ± 0,11 ^c	1,62 ± 0,02 ^d	3,36 ± 0,11 ^e	15,25 ± 0,41 ^d	56,24 ± 0,33 ^a
G31	22,10 ± 0,32 ^d	1,57 ± 0,06 ^d	3,61 ± 0,04 ^e	17,07 ± 0,08 ^c	55,66 ± 0,69 ^a
G32	20,55 ± 1,39 ^d	1,38 ± 0,03 ^f	3,93 ± 0,03 ^c	21,11 ± 0,22 ^a	53,08 ± 1,82 ^b
Média	22,95 ± 1,84	1,60 ± 0,16	3,84 ± 0,25	17,80 ± 1,80	53,87 ± 2,41
Soja	45,41 ± 0,33	18,07 ± 0,26	5,66 ± 0,04	13,05 ± 0,21	17,81 ± 0,35
RID ⁵	50	65		25	300

¹ Todos os valores em base seca são médias ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes, na mesma coluna, representam grupos estatisticamente diferentes realizados por análise de variância (ANOVA) seguido de teste Scott-Knott a 1% de probabilidade;

² Genótipos em negrito foram os escolhidos por seus atributos nutricionais para análises posteriores;

³ Nitrogênio x 6,25 (método de Kjeldahl);

⁴ O teor de carboidratos digeríveis foi determinado pela diferença percentual de todos os outros constituintes de acordo com a fórmula: [100 – (proteína + cinzas + lipídios + fibra alimentar)];

⁵ Referência de ingestão diária FDA (2010).

Portanto, o feijão-caupi pode ser considerado um alimento funcional, do ponto de vista fisiológico, pois seus valores nutricionais são adequados para alimentação humana. Além disso, estudos de Frota (2007) com a semente de feijão-caupi e seu isolado proteico em hamsters hipercolesterolêmicos têm mostrado que há uma redução nos teores de colesterol plasmático, o que pode ser ocasionado pela presença da fibra alimentar na semente, e efeito fisiológico ainda não esclarecido, de suas proteínas.

Na análise de minerais, cujos resultados estão apresentados na tabela 5, a média (mg/100 g de semente) do teor de Fe, Zn, K, Ca, Mg, Mn para as sementes dos genótipos de feijão-caupi foi de $4,62 \pm 0,68$; $3,21 \pm 0,32$; $1217,29 \pm 91,58$; $68,79 \pm 10,30$; $190,21 \pm 13,63$; $1,05 \pm 0,28$, respectivamente. Esses valores são similares a estudos anteriores com outros genótipos oriundos da mesma região (CARVALHO *et al.*, 2012).

O genótipo com maior teor de ferro (mg/100 g de semente), estatisticamente diferente, foi G17 ($5,53 \pm 0,05$). O coeficiente de variação entre todos os genótipos foi de 14,71%, e a média variou de 3,85 a 5,53. Quanto ao zinco, o genótipo com maior teor desse mineral, em mg/100 g de semente, foi G04 ($4,24 \pm 0,02$). O coeficiente de variação entre todos os genótipos foi de 9,96%, e a média variou de 2,62 a 4,24.

Todos os genótipos tiveram valores superiores àqueles do estudo de Avanza *et al.* (2013), onde a variação do teor de ferro e zinco entre as sementes cruas dos quatro genótipos argentinos foi de 1,45 a 1,90 e 1,89 a 3,06 mg/100 g de semente, respectivamente. Já comparando com as sementes dos genótipos de Ghana, onde a variação para ferro foi 6,3 a 13,7 mg/100 g e zinco de 4,4 a 6,5 mg/100 g de semente (BELANE; DAKORA, 2011), os genótipos aqui estudados tiveram níveis inferiores de ferro e zinco. Essas diferenças do teor desses minerais, também observadas em outras lavouras, podem não ser apenas dependentes do genótipo *per se*, mas também de características do meio ambiente, como condições climáticas, tipo de solo, épocas de cultivo (RIBEIRO, 2010) e enriquecimento do solo através de adubos (FANG *et al.*, 2008). Respostas diferenciadas em diferentes locais de cultivo são consequências das interações entre os genótipos e ambiente (REYNOLDS *et al.*, 2005).

Tabela 5 (continua) - Composição mineral (mg/100 g farinha de semente)¹ de trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos ²	Fe	Zn	K	Ca	Mg	Mn
G01	4,78 ± 0,08 ^c	3,45 ± 0,17 ^c	1218,56 ± 0,00 ^b	86,44 ± 4,13 ^a	192,10 ± 2,59 ^d	2,02 ± 0,08 ^a
G02	3,85 ± 0,02 ^e	2,90 ± 0,03 ^e	1183,28 ± 0,88 ^b	73,50 ± 2,56 ^c	186,59 ± 2,37 ^e	0,57 ± 0,01 ^j
G03	3,98 ± 0,14 ^e	3,39 ± 0,05 ^c	1178,50 ± 96,35 ^b	81,25 ± 1,32 ^a	202,83 ± 4,61 ^c	1,35 ± 0,06 ^c
G04	4,89 ± 0,07 ^c	4,24 ± 0,02 ^a	1382,34 ± 28,72 ^a	64,14 ± 0,05 ^d	174,72 ± 1,70 ^f	0,87 ± 0,02 ^g
G05	4,44 ± 0,01 ^d	3,84 ± 0,04 ^b	1359,21 ± 59,44 ^a	63,16 ± 1,84 ^d	181,89 ± 3,95 ^e	1,10 ± 0,05 ^e
G06	4,50 ± 0,02 ^d	3,46 ± 0,13 ^c	1342,20 ± 72,52 ^a	61,14 ± 0,85 ^d	174,58 ± 0,40 ^f	1,03 ± 0,01 ^e
G07	4,25 ± 0,03 ^e	3,07 ± 0,03 ^e	1192,73 ± 15,56 ^b	50,97 ± 0,07 ^e	181,19 ± 0,61 ^e	0,80 ± 0,05 ^h
G08	4,12 ± 0,05 ^e	2,88 ± 0,03 ^e	1211,09 ± 44,96 ^a	53,23 ± 0,53 ^d	182,25 ± 2,73 ^f	0,81 ± 0,04 ^g
G09	4,20 ± 0,09 ^e	3,33 ± 0,01 ^c	1221,36 ± 8,34 ^b	63,24 ± 2,25 ^d	179,05 ± 2,33 ^e	0,76 ± 0,07 ^h
G10	4,12 ± 0,16 ^e	3,30 ± 0,14 ^c	1056,54 ± 0,00 ^d	72,38 ± 5,89 ^c	178,41 ± 4,55 ^e	0,80 ± 0,04 ^h
G11	4,34 ± 0,09 ^d	3,59 ± 0,07 ^c	1183,75 ± 13,95 ^b	75,38 ± 2,03 ^b	186,81 ± 2,51 ^e	0,96 ± 0,03 ^f
G12	4,40 ± 0,07 ^d	3,05 ± 0,02 ^d	1309,60 ± 67,89 ^a	55,33 ± 0,66 ^e	173,72 ± 1,06 ^f	0,93 ± 0,01 ^f
G13	4,81 ± 0,54 ^c	2,96 ± 0,04 ^e	1335,71 ± 27,14 ^a	52,43 ± 0,22 ^e	177,30 ± 1,83 ^f	0,88 ± 0,01 ^g
G14	4,10 ± 0,01 ^e	2,94 ± 0,09 ^e	1352,79 ± 13,54 ^a	59,80 ± 2,72 ^d	167,09 ± 2,38 ^f	1,13 ± 0,02 ^d
G15	4,17 ± 0,06 ^e	3,01 ± 0,02 ^d	1289,58 ± 29,02 ^a	56,31 ± 0,82 ^e	173,45 ± 3,40 ^f	0,78 ± 0,02 ^h
G16	4,43 ± 0,04 ^d	2,91 ± 0,02 ^e	1340,33 ± 68,91 ^a	60,78 ± 0,82 ^d	173,19 ± 1,06 ^f	0,67 ± 0,03 ⁱ
G17	5,53 ± 0,05 ^a	3,39 ± 0,12 ^c	1115,56 ± 87,66 ^c	58,30 ± 0,29 ^e	199,95 ± 0,49 ^c	1,11 ± 0,01 ^e
G18	3,95 ± 0,04 ^e	2,62 ± 0,11 ^f	1103,54 ± 50,28 ^c	76,78 ± 0,49 ^b	203,93 ± 7,15 ^c	1,19 ± 0,00 ^d
G19	4,83 ± 0,02 ^c	3,13 ± 0,03 ^d	1145,23 ± 28,79 ^b	70,82 ± 2,29 ^c	191,81 ± 1,75 ^d	0,95 ± 0,02 ^f
G20	4,39 ± 0,11 ^d	3,22 ± 0,01 ^d	1246,33 ± 25,12 ^a	64,14 ± 1,25 ^d	199,85 ± 4,48 ^c	1,50 ± 0,04 ^b
G21	4,68 ± 0,05 ^c	3,27 ± 0,09 ^d	1203,27 ± 58,70 ^b	76,87 ± 1,07 ^b	199,37 ± 3,56 ^c	0,82 ± 0,02 ^h
G22	5,10 ± 0,07 ^b	3,39 ± 0,11 ^c	1188,53 ± 3,49 ^b	83,69 ± 1,19 ^a	223,16 ± 1,04 ^a	1,46 ± 0,01 ^b
G23	5,02 ± 0,04 ^b	3,24 ± 0,16 ^d	1273,70 ± 58,52 ^a	74,24 ± 0,32 ^b	204,09 ± 1,42 ^c	1,07 ± 0,03 ^e
G24	5,15 ± 0,00 ^b	3,35 ± 0,00 ^d	1228,52 ± 0,00 ^b	69,69 ± 0,00 ^c	198,08 ± 0,00 ^c	1,15 ± 0,00 ^d
G25	5,06 ± 0,16 ^b	3,59 ± 0,03 ^c	1143,93 ± 25,09 ^b	76,86 ± 2,44 ^b	194,24 ± 2,21 ^d	1,28 ± 0,06 ^d
G26	4,68 ± 0,06 ^c	3,09 ± 0,04 ^d	1010,55 ± 44,88 ^d	81,15 ± 1,74 ^a	201,71 ± 2,35 ^c	1,18 ± 0,08 ^d

Tabela 5 (conclusão) - Composição mineral (mg/100 g farinha de semente)¹ de trinta e dois genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos ²	Fe	Zn	K	Ca	Mg	Mn
G27	4,78 ± 0,02 ^c	3,04 ± 0,05 ^d	1157,93 ± 32,92 ^b	77,67 ± 0,12 ^b	214,39 ± 0,89 ^b	1,32 ± 0,05 ^c
G28	4,61 ± 0,15 ^c	3,07 ± 0,08 ^d	1190,64 ± 0,00 ^b	83,28 ± 1,48 ^a	202,86 ± 1,41 ^c	0,97 ± 0,00 ^f
G29	4,92 ± 0,09 ^c	3,01 ± 0,12 ^d	1130,03 ± 63,34 ^c	77,56 ± 0,71 ^b	201,56 ± 3,72 ^c	1,22 ± 0,05 ^d
G30	4,54 ± 0,03 ^d	2,86 ± 0,05 ^e	1162,59 ± 6,60 ^b	68,68 ± 0,30 ^c	196,35 ± 0,60 ^d	1,06 ± 0,03 ^e
G31	4,48 ± 0,12 ^d	3,07 ± 0,01 ^d	1155,96 ± 19,50 ^b	80,57 ± 3,42 ^a	202,10 ± 4,67 ^c	0,97 ± 0,00 ^f
G32	4,50 ± 0,09 ^d	3,20 ± 0,00 ^d	1223,61 ± 8,77 ^b	57,97 ± 2,12 ^e	180,56 ± 7,47 ^e	1,00 ± 0,01 ^f
Média	4,62 ± 0,68	3,21 ± 0,32	1217,29 ± 91,58	68,79 ± 10,30	190,21 ± 13,63	1,05 ± 0,28
Soja	7,81 ± 0,23	4,86 ± 0,14	16454,01 ± 339,03	275,40 ± 7,54	283,86 ± 6,13	4,38 ± 0,16
RDA/AI³	0,3–27	2–13	400–5100	210–1300	30–420	0,003–2,6

¹ Todos os valores em base seca são médias ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes, na mesma coluna, representam grupos estatisticamente diferentes realizados por análise de variância (ANOVA) seguido de teste Scott-Knott a 1% de probabilidade;

² Genótipos em negrito foram os escolhidos por seus atributos nutricionais para análises posteriores;

³ Necessidades minerais (mg/dia) de grupos de idades e necessidades diferentes (OTTEN; HELLWIG; MEYERS, 2006). Ingestão Dietética Recomendada (RDA, *Recommended Dietary Allowances*) (em negrito): o nível médio de ingestão de nutrientes diária que é suficiente para atender as exigências nutricionais de quase todos (97-98%) indivíduos saudáveis em uma etapa da vida particular e grupo de gênero. Ingestão Adequada (AI, *Adequate Intake*) (em itálico): o nível de consumo médio diário recomendado com base em aproximações ou estimativas de ingestão de nutrientes observados experimentalmente ou determinadas por um grupo (ou grupos) de pessoas aparentemente saudáveis que são assumidos como adequados; usado quando um RDA não pode ser determinado. Tanto as RDAs como as AIs podem ser utilizadas como metas para a ingestão individual.

Comparado às necessidades de ingestão diária (RDA ou AI) na tabela 5, os genótipos de feijão-caupi elites mostraram ter teores de microminerais e macrominerais no intervalo requerido para necessidades nutricionais, exceto para o macronutriente cálcio, onde a média ($68,79 \pm 10,30$ mg/100 g de semente) encontrada nos genótipos de feijão-caupi é três vezes menor do que o valor mínimo recomendado (210 mg/dia). Entretanto, devemos considerar que o feijão-caupi deve fazer parte de uma dieta variada e de acordo com as necessidades nutricionais individuais. Além disso, a biodisponibilidade dos elementos minerais é importante para uma ingestão adequada desses nutrientes e deve ser analisada conjuntamente com os teores nutricionais.

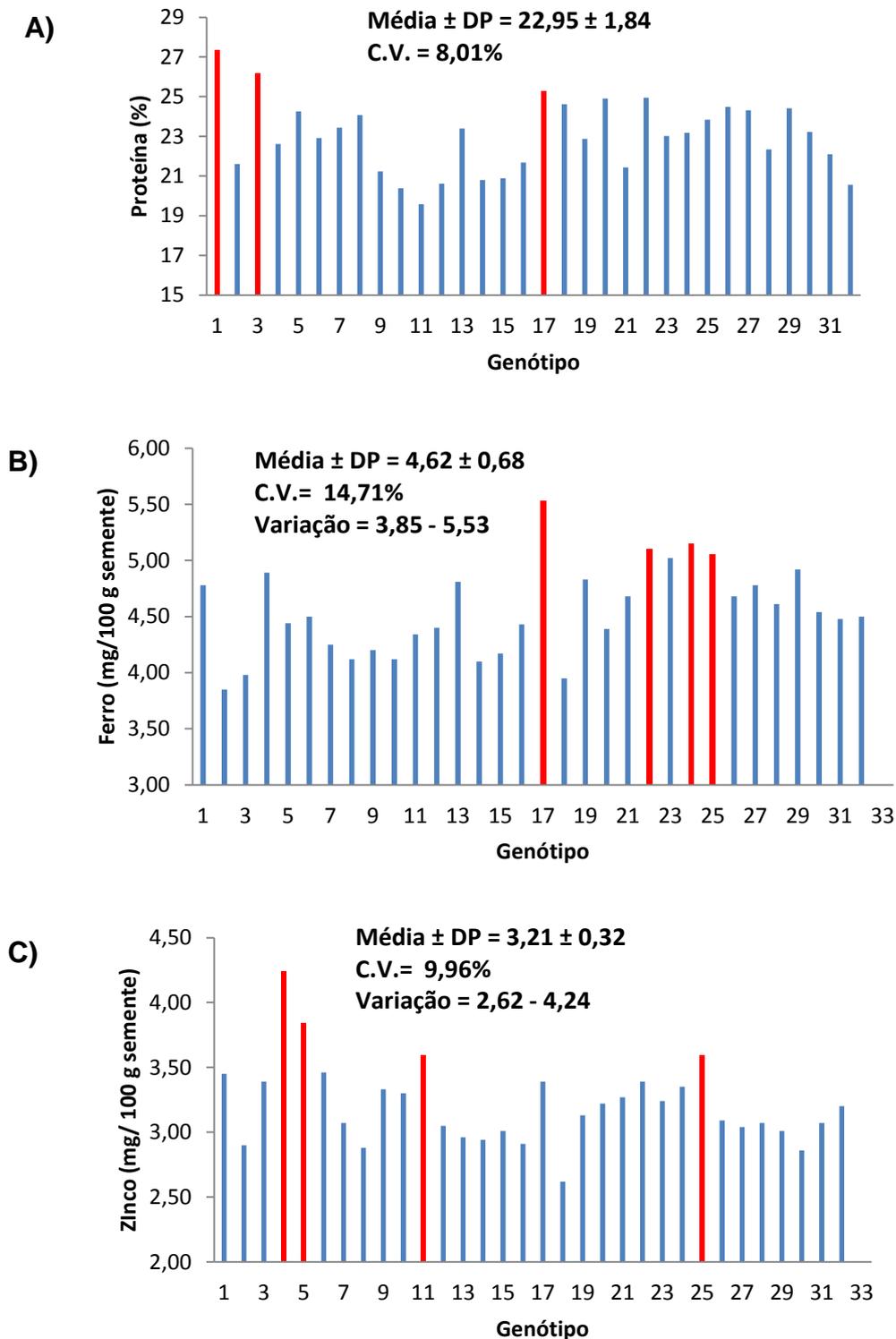
Para dar prosseguimento ao estudo, com a realização de outras análises químicas, bioquímicas e funcionais, foram escolhidos os genótipos de feijão-caupi com médias superiores no valor de teor de proteínas, ferro e zinco. Esses fatores são os principais objetivos com enfoque nutricional do programa de melhoramento genético da Embrapa Meio-Norte e por isso foram importantes para a seleção dos genótipos para as análises posteriores. Os valores nutricionais dos genótipos escolhidos estão apresentados na tabela 6 e destacados no gráfico 1.

Tabela 6 – Valores de nutrientes dos nove genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] com destaque em proteína, ferro e zinco obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Nutrientes	Média \pm DP ¹	Genótipos
Proteína (%)	22,95 \pm 1,84 Variação: 19,58 - 27,34	G01 (27,34 \pm 0,43) G03 (26,18 \pm 0,44) G17 (25,26 \pm 0,22)
Ferro (mg/100g semente)	4,62 \pm 0,68 Variação: 3,85 - 5,53	G17 (5,53 \pm 0,05) G24 (5,15 \pm 0,00) G22 (5,10 \pm 0,07) G25 (5,06 \pm 0,16)
Zinco (mg/100g semente)	3,21 \pm 0,32 Variação: 2,62 - 4,24	G04 (4,24 \pm 0,02) G05 (3,84 \pm 0,04) G11 (3,59 \pm 0,07) G25 (3,59 \pm 0,03)

¹ Todos os valores em base seca são médias \pm desvio padrão (n=3).

Gráfico 1 – Médias (base seca), desvios-padrão (DP) e coeficiente de variação (C.V.) de teor proteico total (A), ferro (B) e zinco (C) de trinta e dois genótipos elite¹ de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional



¹ Em vermelho, os genótipos que se destacaram quanto aos maiores teores e foram escolhidos para as análises subsequentes.

4.2 Qualidade proteica

O conteúdo de aminoácidos essenciais e a digestibilidade das proteínas são fatores para predizer a qualidade proteica de um alimento. Deste modo, as sementes dos genótipos que se destacaram quanto ao teor de proteínas (G01, G03 e G17) foram analisadas quanto a sua composição aminoacídica e digestibilidade *in vitro*.

A tabela 7 apresenta a composição aminoacídica das farinhas cruas de feijão-caupi desses genótipos. Em relação aos aminoácidos essenciais, o escore químico (AAS) mostra que todos os requeridos para crianças de 3 a 10 anos (WHO; FAO; UNU, 2007) estavam presentes nas sementes cruas dos genótipos em quantidades superiores ao recomendado, tendo como primeiros aminoácidos limitantes, os sulfurados.

Estudos anteriores com sementes de feijão-caupi revelam que essa leguminosa é deficiente nos aminoácidos metionina e cisteína. Devido a isso é recomendado uma combinação do feijão-caupi com cereais, como o arroz, para que se obtenha uma refeição com teores de aminoácidos essenciais mais próximos do requerido para a alimentação dos seres humanos (RIBEIRO *et al.*, 2007; SOUSA, 2010). Contudo, os resultados do presente estudo mostram que as proteínas dos genótipos G01, G03 e G17 são de alta qualidade por possuírem os aminoácidos essenciais em níveis maiores que os de referência, inclusive para os sulfurados (WHO; FAO; UNU, 2007). Em estudos com outra leguminosa, *Phaseolus vulgaris*, geralmente deficiente nesses aminoácidos essenciais, também foram encontrados genótipos com alto teor de metionina e cisteína, sem comprometimento da disponibilidade dos outros aminoácidos (RIBEIRO *et al.*, 2010).

Tabela 7 – Composição de aminoácidos¹ e escore químico (AAS) dos genótipos superior em teor proteico (G01, G03 e G17) de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Aminoácidos	G01		G03		G17		Crianças (3-10 anos) ³
	mg/g ptn ²	AAS	mg/g ptn	AAS	mg/g ptn	AAS	
<i>Essenciais</i>							
Thr	36,94 ± 0,00 ^a	1,47	34,57 ± 0,27 ^c	1,38	35,23 ± 0,00 ^b	1,40	25
Val	52,67 ± 0,00 ^a	1,31	50,99 ± 0,81 ^a	1,27	51,86 ± 1,12 ^a	1,29	40
Leu	80,65 ± 0,26 ^a	1,32	76,97 ± 0,27 ^c	1,26	79,37 ± 0,28 ^b	1,30	61
Ile	46,45 ± 0,00 ^a	1,49	43,54 ± 0,00 ^c	1,40	45,13 ± 0,00 ^b	1,45	31
Lys	65,83 ± 0,00 ^{ab}	1,37	63,60 ± 0,81 ^c	1,32	64,92 ± 0,00 ^{bc}	1,35	48
Tyr+Phe	92,72 ± 0,26 ^a	2,26	87,47 ± 0,00 ^a	2,13	87,89 ± 3,36 ^a	2,14	41
Met+Cys	27,80 ± 0,52 ^a	1,15	26,36 ± 0,54 ^a	1,09	28,70 ± 0,84 ^a	1,19	24
Trp	12,25 ± 0,26 ^a	1,85	11,27 ± 0,27 ^a	1,70	12,67 ± 0,56 ^a	1,91	6,6
<i>Não-essenciais</i>							
Asx	111,56 ± 0,00 ^a		111,15 ± 1,08 ^a		113,42 ± 1,40 ^a		
Glx	177,40 ± 0,00 ^a		175,71 ± 2,16 ^a		176,17 ± 2,24 ^a		
Ser	48,10 ± 0,26 ^a		46,41 ± 0,27 ^b		47,70 ± 0,28 ^a		
Gly	41,88 ± 0,26 ^a		42,40 ± 2,16 ^a		44,54 ± 4,20 ^a		
Ala	41,88 ± 0,26 ^a		38,96 ± 1,08 ^a		39,98 ± 1,12 ^a		
His	31,64 ± 0,26 ^b	1,97	31,13 ± 0,27 ^b	1,94	35,43 ± 0,28 ^a	2,21	16
Arg	74,62 ± 0,00 ^c		77,16 ± 0,54 ^b		79,57 ± 0,00 ^a		
Pro	44,26 ± 0,00 ^a		43,93 ± 0,54 ^a		45,33 ± 0,84 ^a		

¹ Todos os valores em base seca são médias ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes, na mesma linha, representam grupos estatisticamente diferentes realizados por análise de variância (ANOVA) seguido de teste Tukey (p < 0,05);

² mg/g ptn = miligrama de aminoácido por grama de proteína;

³ Requerimento de aminoácidos para crianças (WHO; FAO; UNU, 2007).

A presença de todos os aminoácidos essenciais em quantidades adequadas aos requerimentos humanos não é suficiente para assegurar a qualidade proteica de um alimento. A digestibilidade das proteínas é outro fator importante, pois uma proteína para ser considerada de alto valor nutritivo deve ser digerível, não tóxica e aproveitável pelo organismo (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). As proteínas de origem vegetal apresentam menor digestibilidade do que as de origem animal, pois na maioria delas há fatores, como inibidores de tripsina, quimotripsina, lectinas, fenóis, taninos e fibras, que dificultam a hidrólise completa das proteínas pelas proteases pancreáticas (SGARBIERI, 1996; PHILLIPS *et al.*, 2003; ETTINGER, 2005; DAMADORAN, 2010). A tabela 8 expõe a digestibilidade *in vitro* dos genótipos crus analisados que variou de 65,85 a 76,55%, semelhante àquelas de estudos realizados por Tresina e Mohan (2011), os quais as sementes de feijão-caupi obtiveram um valor aproximado de 70%.

Segundo Schaafsma (2012), o escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS) é um teste de rotina utilizado para avaliação da qualidade da proteína de alimentos para indivíduos saudáveis. Usualmente, para este cálculo, se utiliza o escore químico do aminoácido com menor teor e a digestibilidade verdadeira, porém para a estimativa pode-se utilizar também a digestibilidade *in vitro*, como observado em estudos recentes (ZHU *et al.*, 2013; ANYANGO; KOCK; TAYLOR, 2011).

Os resultados apresentados na tabela 8 mostram que os valores de PDCAAS dos genótipos com destaque em teor de proteína variaram de 75,72 a 86,95, semelhantes ao encontrado por Anyango, Kock e Taylor (2011), que obteve um PDCAAS de 80 em feijão-caupi cru. Portanto, os genótipos G01, G03 e G17 de feijão-caupi obtido por melhoramento genético são ótimas fontes proteicas para indivíduos saudáveis, e, além disso, a qualidade proteica pode ser melhorada após o processamento adequado visando à redução ou eliminação dos fatores antinutricionais (SILVA *et al.*, 2010).

Tabela 8 - Fatores de qualidade proteica dos genótipos (G01, G03 e G17) de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	AAS limitante ¹	Digestibilidade <i>in vitro</i> (%) ²	PDCAAS ³
G01	1,15	65,85 ± 3,37 ^a	75,72
G03	1,09	76,55 ± 5,87 ^a	83,43
G17	1,19	73,07 ± 4,39 ^a	86,95
Média	1,14 ± 0,05	71,82 ± 5,46	82,03 ± 5,74
C.V. (%)	4,40	7,60	7,00

¹ O menor escore químico de aminoácido;

² Todos os valores em medias ± desvio padrão (n=3). Letras iguais representam grupos estatisticamente iguais realizados por análise de variância (ANOVA) (p= 0,075);

³ Escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS) = AAS limitante x digestibilidade *in vitro*.

4.3 Fatores tóxicos e/ou antinutricionais

Essas substâncias afetam o metabolismo de espécies por diferentes mecanismos e, conseqüentemente, sua nutrição, podendo provocar a morte (BENEVIDES *et al.*, 2011). Ácidos fenólicos e taninos, inibidores de tripsina e quimotripsina, e lectinas são alguns destes fatores avaliados no presente estudo.

Os compostos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos, antocianinas e procianidinas ou taninos) são fatores limitantes para a utilização do feijão-caupi na nutrição, pois eles são capazes de formar complexos com nutrientes, tais como minerais e proteína, e assim diminuir sua solubilidade, digestão e absorção (REED, 1995).

Os ácidos fenólicos são uma subclasse desses metabólitos secundários, que possuem, pelo menos, um fenol e um ácido carboxílico. Podemos citar como exemplos o ácido gálico, ácido ferúlico, vanilina e ácido cafeico (CLIFFORD, 1999 *apud* ROBBINS, 2003). A tabela 9 apresenta o teor de ácidos fenólicos totais dos genótipos, onde houve uma variação de 11,18 a 94,60 mg/g de semente. Os genótipos que obtiveram os maiores teores foram aqueles que são da subclasse comercial Rajado (G04, G05) e Mulato (G12), ou seja, os genótipos mais escuros, corroborando com o fato que a presença de ácidos fenólicos está relacionada com a cor da semente (ROBBINS, 2003).

Os taninos possuem três ou mais grupos fenólicos e subdivididos em hidrolisáveis e condensados, que são os mais abundantes em feijão-caupi e possuem efeito adverso na digestibilidade proteica (LAURENA; DEN; MENDOZA, 1984). Desse modo, o protocolo de difusão radial para quantificação de taninos através da precipitação de proteínas foi utilizado (HAGERMAN, 1987). As proteínas reagem com a forma não oxidada dos taninos através de pontes de hidrogênio e/ou ligações hidrofóbicas e quando oxidados, os taninos se transformam em quinonas, as quais formam ligações covalentes com alguns grupos funcionais das proteínas (BENEVIDES *et al.*, 2011). A tabela 9, mostra os resultados do teor de taninos, que revelam uma variação de 1,33 a 3,05 mg/g de semente, onde, assim como encontrado nos ácidos fenólicos totais, os maiores valores são dos genótipos do tipo Rajado e Mulato. Comparado á soja, a média do teor de taninos dos genótipos de feijão-caupi é significativamente diferente. Entretanto, esses compostos também possuem benefícios para quem os consuma.

Tabela 9 – Teor de fenóis totais e taninos¹ dos genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	Fenóis Totais (mg/g semente)	Taninos (mg/g semente)
G01	14,02 ± 2,08 ^b	2,00 ± 0,06 ^c
G03	11,18 ± 1,39 ^b	2,00 ± 0,06 ^c
G04	94,60 ± 6,79 ^a	2,89 ± 0,12 ^{ab}
G05	89,21 ± 7,76 ^a	3,05 ± 0,10 ^a
G11	91,17 ± 11,92 ^a	2,88 ± 0,12 ^{ab}
G17	14,61 ± 1,53 ^b	1,80 ± 0,09 ^c
G22	15,69 ± 0,28 ^b	1,84 ± 0,16 ^c
G24	13,14 ± 1,66 ^b	1,92 ± 0,17 ^c
G25	14,12 ± 1,66 ^b	1,33 ± 0,12 ^d
Média	39,75 ± 38,98	2,19 ± 0,60
C.V. (%)	98,07	27,32
Soja	33,63 ± 4,30	1,14 ± 0,09

¹ Todos os valores em médias ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes, na mesma coluna, representam grupos estatisticamente diferentes realizados por análise de variância (ANOVA) seguido de teste Tukey (p < 0,05);

Segundo Mokgope (2007), os ácidos fenólicos estão relacionados com a atividade antioxidante do feijão-caupi pelas suas propriedades de capturar radical livre. E também, outras atividades farmacológicas como cardioprotetor, antitumor,

bactericida, antiviral, anti-inflamatória e efeitos imune moduladores (KUMARI; JAIN, 2012).

A tabela 10 mostra os resultados da quantificação dos fatores proteicos antinutricionais: inibidores de proteases (tripsina/quimotripsina), expressos em unidade inibitória por mg de proteína solúvel (os valores de proteínas solúveis dos extratos estão na tabela 11), e lectinas, expresso em unidade hemaglutinante por quilo de semente. Os resultados mostram que a atividade inibitória de tripsina variou de 30,15 a 40,47 UI/mg de proteína, com um coeficiente de variação de apenas 8%. A média dos genótipos de feijão-caupi, foi bem inferior e significativamente diferente à soja ($457,08 \pm 2,88$). Os resultados mostram que atividade inibitória de quimotripsina variou de 14,21 a 26,43 UI/mg de proteína, sendo que a média foi de $21,27 \pm 3,98$, também inferior e significativamente diferente à soja ($30,68 \pm 5,91$). A presença de inibidores de proteases, bem como o seu efeito antinutricional causado por impedir a digestão proteolítica, levando a alterações fisiológicas como retardo no crescimento de ratos e crescimento de seus pâncreas, limita sua utilização e aceitação (CARDOSO *et al.*, 2007; TASHIRO; MAKI, 1990).

Tabela 10 – Inibidores de proteases e atividade hemaglutinante¹ dos genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	Inibidores de (UI/mg proteína ²)		Lectinas (UH/kg semente ³)
	Tripsina	Quimotripsina	
G01	33,71 ± 0,20 ^{bc}	14,21 ± 1,34 ^c	80.000 ^a
G03	34,07 ± 0,14 ^{bc}	19,22 ± 0,54 ^{bc}	20.000 ^c
G04	34,90 ± 0,07 ^{bc}	21,00 ± 1,41 ^{abc}	80.000 ^a
G05	34,73 ± 0,56 ^{bc}	22,99 ± 3,36 ^{abc}	80.000 ^a
G11	40,47 ± 0,48 ^a	20,07 ± 0,64 ^{abc}	40.000 ^b
G17	30,15 ± 0,18 ^d	17,84 ± 5,53 ^{bc}	80.000 ^a
G22	32,71 ± 0,26 ^{bcd}	26,43 ± 7,37 ^{ab}	40.000 ^b
G24	32,24 ± 0,00 ^c	23,40 ± 1,28 ^{abc}	40.000 ^b
G25	35,21 ± 0,28 ^b	26,27 ± 1,96 ^{ab}	40.000 ^b
Média	34,24 ± 2,82	21,27 ± 3,98	55.556 ± 24.037
C.V. (%)	8,23	18,71	43,26
Soja	457,08 ± 2,88	30,68 ± 5,91	5.120.000

¹ Todos os valores em médias ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes, na mesma coluna, representam grupos estatisticamente diferentes realizados por análise de variância (ANOVA) seguido de teste Tukey (p < 0,05);

² UI/mg proteína = Unidade de inibição por mg de proteína;

³ UH/kg semente = Unidade hemaglutinante por kg de semente.

Tabela 11 – Proteínas solúveis dos genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipo	mg/100 µL	mg/g semente
G01	1,05 ± 0,10	105,81 ± 10,15
G03	1,04 ± 0,02	104,25 ± 1,77
G04	0,99 ± 0,04	100,39 ± 3,98
G05	1,00 ± 0,10	101,53 ± 10,64
G11	0,87 ± 0,03	88,19 ± 2,65
G17	1,17 ± 0,06	117,98 ± 6,18
G22	1,07 ± 0,06	107,68 ± 5,74
G24	1,10 ± 0,01	111,26 ± 0,89
G25	1,01 ± 0,03	101,24 ± 3,08
Média	1,03 ± 0,08	104,26 ± 8,22
C.V. (%)	8,02	7,89
Soja	0,98 ± 0,04	196,25 ± 7,93

O efeito antinutricional dos inibidores de proteases, como relatado por Mulimani e Paramjyothi (1994), é diminuído por processamento térmico, como cozimento, imersão seguido de cozimento, e há uma total inativação dos inibidores de tripsina após o cozimento sob pressão à 121°C por 30 min precedida de imersão (KALPANADEVII; MOHAN, 2013).

Esses níveis baixos de inibidores de proteases nas sementes de feijão-caupi, apesar de serem positivos para a nutrição humana, não se pode dizer o mesmo para os interesses agrícolas, pois se sabe que esses inibidores são responsáveis, em parte, por resistência da lavoura a insetos pelo seu efeito antimetabólico (BOULTER; GATEHOUSE; HILDER, 1989).

Além disso, é importante salientar que estudos têm descrito um papel fisiológico dos inibidores de proteases, tal como o inibidor Bowman-Birk da soja, inibidor de tripsina e quimotripsina, que possui uma atividade anticarcinogênica. Ainda não há mecanismos de ação esclarecidos, mas há hipóteses de que esses inibidores atuam em proto-oncogenes, reações de radical livre, ou mesmo em rotas anti-inflamatórias (KENNEDY, 1998). Há um potencial ainda não totalmente esclarecido de encontrar novos fármacos a partir de inibidores de proteases, pois esses já mostram em experimentos *in vitro* e *in vivo* ações terapêuticas que ainda devem ser elucidadas.

As lectinas, também são um dos fatores tóxicos e/ou antinutricionais presentes no feijão-caupi. Essas glicoproteínas são capazes de se ligarem a carboidratos. Seus efeitos antinutricionais incluem sua interação com enzimas, diminuindo assim a digestibilidade proteica, sua ligação com células epiteliais intestinais, o que provoca a má absorção de nutrientes, a presença de aminoácidos não disponíveis, e mudanças em órgãos, como o fígado e pâncreas, alterando o metabolismo. Esses efeitos podem levar a sintomas de toxicidade, como vômitos, diarreia, náuseas, podendo ocasionar morte (VASCONCELOS; OLIVEIRA, 2004).

Portanto, no presente estudo, a presença de lectinas foi avaliada indiretamente pela capacidade do extrato da farinha das sementes de aglutinar eritrócitos de coelho, previamente tratados com tripsina, sendo expressa como título de hemaglutinação (UH) por kg de farinha de semente delipidada. A tabela 10 mostra que a atividade hemaglutinante dos genótipos de feijão-caupi, que variou de 20.000 a 80.000 UH/Kg de farinha, foram muito pequenas quando comparadas à da soja, 5.120.000. A maior atividade hemaglutinante contra eritrócitos de coelho tratados com tripsina foi encontrada no extrato bruto de G1, G4, G5 e G17, que foi 4 vezes maior que a atividade hemaglutinante do genótipo G3.

Essa variação do teor de lectinas presente em novos genótipos de feijão-caupi obtidos por melhoramento genético convencional, assim como em estudo por Carvalho *et al.* (2012), mostra que é relevante, mas não preocupante, uma vez que a soja, leguminosa amplamente consumida pelo homem e animais, possui maiores teores de lectinas. Isso devido a um processamento térmico adequado, que no caso de sementes de feijão-caupi compreenderia o cozimento a 98 °C por 30 min, abolindo completamente a atividade hemaglutinante (VASCONCELOS *et al.*, 2010).

4.4 Propriedades funcionais de importância tecnológica

A utilização de farinha de feijão em produtos alimentares é, em parte, atribuída à sua funcionalidade, em termos de hidratação, formação de espuma, e geleificação (PRINYAWIWATKUL *et al.*, 1997). Assim, no presente trabalho essas propriedades foram investigadas visando à inclusão de farinha de feijão-caupi em novos produtos alimentícios.

Os resultados da análise da capacidade de absorção de água e de óleo das farinhas de sementes (tabela 12) mostraram valores semelhantes àqueles da soja. Houve pequena diferença entre os genótipos de feijão-caupi, variando de 1,90 a 2,30 mL/ g de amostra, na capacidade de absorção de água, e de 2,08 a 2,77 mL/ g de amostra, na capacidade de absorção de óleo.

Tabela 12 – Capacidade de absorção de água e óleo dos genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	Capacidade de absorção (mL/g farinha)	
	Água	Óleo
G01	2,15 ± 0,07	2,26 ± 0,12
G03	1,90 ± 0,28	2,08 ± 0,12
G04	2,24 ± 0,21	2,60 ± 0,12
G05	2,30 ± 0,14	2,77 ± 0,13
G11	2,20 ± 0,28	2,43 ± 0,12
G17	1,95 ± 0,21	2,21 ± 0,18
G22	2,10 ± 0,14	2,26 ± 0,12
G24	2,07 ± 0,14	2,69 ± 0,25
G25	2,13 ± 0,14	2,26 ± 0,28
Média	2,12 ± 0,13	2,40 ± 0,24
C.V (%)	6,12	10,00
Soja	2,13 ± 0,26	2,21 ± 0,06

Estudos de outros autores com o feijão-caupi têm descrito uma variação de 1,25 a 2,15 mL/ g de amostra na absorção de água e 0,39 a 2,31 mL/g de amostra na absorção de óleo (CHINMA; ALEMEDE; EMELIFE, 2008; APPIAH; ASIBUO; KUMAH, 2011; DARFOUR *et al.*, 2012; KHALID; ELHARDALLOU; ELKHALIFA, 2012). Essas variações da capacidade de hidratação podem ser atribuídas à dependência do tipo ou composição química do material, tempo de contato com a água, força iônica do meio e de propriedades intrínsecas das proteínas e carboidratos, como estrutura e organização espacial (SANTOS, 2009). Especificamente, alguns fatores influenciam na variação da absorção de água: concentração de proteína, que é diretamente proporcional à capacidade de absorção de água; características conformacionais, que se relacionam com o período de armazenamento do feijão, que pode alterar a estrutura da proteína, expondo locais de ligação com água (RIBEIRO *et al.*, 2009). Já para a capacidade de absorção de óleo, o tempo de armazenamento também pode influenciar, pois ocorre

afrouxamento na estrutura das proteínas, que pode aumentar a exposição de sítios hidrofóbicos (DONADEL; PRUDENCIO-FERREIRA, 1999).

Essas propriedades funcionais são características importantes para a inclusão de ingredientes em alimentos viscosos, tais como sopas, molhos, massas e produtos de panificação e interferem na qualidade da textura do alimento, sendo importante também para produtos cárneos, como salsichas e análogos de carne. Além disso, esses atributos estão relacionados com retenção de sabor e palatabilidade dos alimentos (MIZUBUTI *et al.*, 2000; AVANZA *et al.*, 2012).

Em relação à propriedade de geleificação, segundo Ordóñez *et al.* (2005), há fatores intrínsecos às proteínas e carboidratos que permitem a formação de uma rede tridimensional que mantém retida em seu interior grande quantidade de líquido, denominado gel. Para que haja a formação de um gel proteico é necessário que haja a desnaturação das proteínas e agregação posterior de forma ordenada. Daí, a interação proteína-proteína será importante para a formação da rede. Já o papel dos carboidratos para o aparecimento do gel é dependente da interação da água-polissacarídeos, através das pontes de hidrogênio, e também polissacarídeos-polissacarídeos, formando um entrelaçamento por meio de ligações fracas.

A tabela 13 mostra quais as concentrações dos genótipos de feijão-caupi superior em teor de proteína, ferro e zinco foram capazes de formar gel. Não houve grandes diferenças entre os genótipos, porém aqueles com teores mais elevados de proteína (G01, G03 e G17) formaram gel em uma concentração (14%) menor que os demais (16%), incluindo a soja. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Darfour *et al.* (2012) e Medeiros (2013).

Segundo Ordóñez *et al.* (2005), a geleificação é importante para determinados tipos de alimentos, tais como produtos lácteos, produtos de carne cozidos, gelatinas, massa de pão, queijos etc. Além disso, tem uma importância para a Tecnologia de Alimentos por ser capaz de melhorar a absorção de água, viscosidade, adesão entre partículas e estabilizar emulsões e espumas. Porém, essa propriedade encontrada nas sementes de feijão-caupi é influenciada por condições da preparação do alimento, como pH, temperatura, características reológicas e interações com outros ingredientes.

Tabela 13 – Capacidade de formação de gel das farinhas de sementes de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	Concentração da amostra (%)					
	10	12	14	16	18	20
G01	-	-	+	+	+	+
G03	-	-	+	+	+	+
G04	-	-	-	+	+	+
G05	-	-	-	+	+	+
G11	-	-	-	+	+	+
G17	-	-	+	+	+	+
G22	-	-	-	+	+	+
G24	-	-	-	+	+	+
G25	-	-	-	+	+	+
Soja	-	-	-	+	+	+

Sinal negativo (-) = ausência de formação de gel;

Sinal positivo (+) = presença de formação de gel.

Tabela 14 – Capacidade de formação de espuma (FE) e estabilidade da espuma em tempos diferentes dos genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] superior em teor proteico, ferro e zinco, obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Genótipos	FE (%)	Estabilidade da espuma (%)			
		30 min	60 min	90 min	120 min
G01	60,4 ± 5,7	93,8 ± 1,8	90,0 ± 2,1	87,5 ± 2,5	81,3 ± 2,8
G03	66,6 ± 4,0	96,4 ± 1,7	92,8 ± 2,5	88,0 ± 2,9	81,9 ± 2,5
G04	76,5 ± 3,4	94,3 ± 0,3	93,2 ± 1,0	90,9 ± 1,3	85,2 ± 1,5
G05	74,3 ± 3,7	95,4 ± 3,3	93,1 ± 2,9	88,5 ± 3,1	86,2 ± 3,3
G11	72,7 ± 2,5	73,3 ± 1,3	69,8 ± 1,6	68,6 ± 1,9	68,6 ± 2,5
G17	74,9 ± 3,2	94,3 ± 0,8	89,7 ± 3,0	85,1 ± 3,7	83,9 ± 4,0
G22	92,1 ± 5,0	93,8 ± 1,9	88,5 ± 1,6	83,3 ± 2,8	82,3 ± 3,1
G24	70,0 ± 2,2	97,0 ± 1,3	96,5 ± 1,2	92,9 ± 2,2	90,6 ± 3,2
G25	88,5 ± 4,3	98,9 ± 1,1	91,5 ± 1,7	89,4 ± 1,9	87,2 ± 1,9
Média	75,1 ± 9,9	93,0 ± 7,6	89,5 ± 7,7	86,0 ± 7,1	83,0 ± 6,2
C.V.(%)	13,2	8,2	8,7	8,3	7,4
Soja	26,9 ± 2,4	93,7 ± 0,8	90,5 ± 1,0	85,7 ± 3,5	85,7 ± 3,6

A formação de espuma por batimento, agitação e aeração refere-se à expansão de volume da dispersão com a incorporação de ar. As proteínas podem agir como estabilizadoras desse sistema, acumulando-se na interface ar-água e

alterando as propriedades de superfície (SGARBIERI, 1996). Os valores encontrados para a espumabilidade da farinha das sementes dos genótipos de feijão-caupi (tabela 14) variaram de 60,4 a 92,1%, com uma média de $75,1 \pm 9,9\%$. O genótipo G22 foi o que mostrou ter uma maior capacidade de formação de espuma. Comparado à soja ($26,9 \pm 2,4\%$), o feijão-caupi mostrou ter uma capacidade maior, porém o teor lipídico da soja (18,07%) interfere diretamente nesta propriedade, pois os lipídios impedem a adsorção das proteínas durante a formação da espuma (LOMAKINA; MÍKOVÁ, 2006). Além da presença de óleo, outros fatores influenciam na formação de espuma, tais como o equipamento utilizado para a preparação, a presença de sais, açúcares, pH, flexibilidade e concentração das proteínas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; DAMODORAN, 2010).

No tempo de 2 h, os genótipos avaliados apresentaram em média $83,0 \pm 6,2\%$ de estabilidade da espuma, valor similar àquele da soja ($85,7 \pm 3,6\%$). A desestabilização de parte da espuma se deve à perda do líquido por gravidade, diferença de pressão ou evaporação, difusão do gás das bolhas menores para as maiores e perda de colisão entre a fase líquida e gasosa da espuma (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Essa propriedade é importante para muitos alimentos processados, como cremes batidos, sorvetes, merengues, bolos, pães, suflês, mousses, *marshmallows* e biscoitos, pois para esses alimentos as propriedades texturiais ocorrem em função das minúsculas bolhas de ar dispersas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; DAMODORAN, 2010).

4.5 Rankings de qualidade nutricional

Para comparação e classificação dos genótipos de feijão-caupi e de soja, foram criados índices de qualidade nutricional (apêndice), com base no trabalho de Sousa (2010). A tabela 15 apresenta diferentes índices, nomeados IQN1, IQN2 e IQN3. A classificação do IQN1, que considera valores de proteína, fibra alimentar, ferro e zinco, mostra que a soja apresenta valores superiores aos genótipos de feijão-caupi. E entre esses, os cinco primeiros com maior qualidade nutricional são G01, G17, G22, G03, e G20.

Os genótipos com destaque nos teores de proteína, ferro e zinco foram selecionados para compor o *ranking* do IQN2, que considera os componentes de

IQN1 acrescidos dos valores de fenóis, taninos, lectinas e inibidores de tripsina e de quimotripsina. A observação da ordem de qualidade dos genótipos revela que ao acrescentar os fatores tóxicos e/ou antinutricionais, a posição na ordem de alguns genótipos de feijão-caupi é alterada em relação à classificação anterior. Por exemplo, a soja, que no IQN1 estava na primeira posição passou a ficar em última no IQN2. Dentre os genótipos de feijão-caupi, se destacam o G01, G03 e G17, que são os que possuem maiores teores de proteínas. No entanto, a posição de G01 e G03 é modificada também quando se passa dos valores de IQN1 para IQN2.

Já na disposição dos genótipos, com destaque no teor de proteína, após o cálculo do IQN3, que considera os componentes de IQN2 acrescidos dos valores de PDCAAS mostra que também há uma alteração na classificação, em relação à classificação anterior (baseada no IQN2), mas a soja ainda continua na última posição. Nesse caso, o valor de PDCAAS utilizado para a soja foi um valor hipotético e máximo, 100. Essa alteração na classificação da soja é devido aos altos teores, em relação ao feijão-caupi, de lectinas e inibidores de tripsina. Entretanto, isso não implica dizer que a soja possui uma qualidade inferior aos feijões, pois o processamento do alimento, se realizado de maneira adequada, pode eliminar o risco e efeitos antinutricionais desses fatores negativos, mas também mostra que o melhoramento genético do feijão-caupi pode selecionar genótipos com maiores atributos positivos que negativos. Entre os três genótipos de feijão-caupi avaliados por esse índice, se destaca o G17, que é aquele que possui acima de 25% de proteína e o valor máximo encontrado para o teor de ferro, $5,53 \pm 0,05$ mg/100 g de semente.

Portanto, entre os genótipos elites estudados, que já podem ser lançados no mercado como novas cultivares, o genótipo G17 se afirma como destaque, observando os atributos nutricionais. Assim esse genótipo pode ser a melhor escolha para atender a requisição nutricional da maior parte da população brasileira sendo lançado como cultivar ou ser parental para a continuação do programa de melhoramento genético convencional da Embrapa Meio-Norte.

Tabela 15 – Índices de qualidade nutricional (IQN)¹ dos genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] obtidos pela Embrapa Meio-Norte por melhoramento genético convencional

Classificação	Genótipo (IQN1 ²)	Genótipo (IQN2 ³)	Genótipo (IQN3 ⁴)
1 ^o	Soja (33)	G01 (53) ↑	G17 (102) ↑
2 ^o	G01 (13)	G03 (46) ↑	G03 (31) =
3 ^o	G17 (12)	G17 (46) =	G01 (25) ↓
4 ^o	G22 (11)	G22 (34) =	Soja (-172) =
5 ^o	G03 (11)	G24 (28) ↑	
6 ^o	G20 (11)	G25 (24) ↑	
7 ^o	G05 (10)	G5 (-47) ↓	
8 ^o	G13 (9)	G04 (-54) =	
9 ^o	G26 (9)	G11 (-61) ↑	
10 ^o	G04 (9)	Soja (-831) ↓	
11 ^o	G06 (9)		
12 ^o	G08 (9)		
13 ^o	G07 (9)		
14 ^o	G25 (9)		
15 ^o	G29 (8)		
16 ^o	G23 (8)		
17 ^o	G24 (8)		
18 ^o	G27 (8)		
19 ^o	G28 (8)		
20 ^o	G32 (7)		
21 ^o	G19 (7)		
22 ^o	G18 (7)		
23 ^o	G16 (7)		
24 ^o	G12 (7)		
25 ^o	G30 (7)		
26 ^o	G09 (7)		
27 ^o	G31 (7)		
28 ^o	G14 (6)		
29 ^o	G15 (6)		
30 ^o	G21 (6)		
31 ^o	G11 (5)		
32 ^o	G10 (5)		
33 ^o	G02 (5)		

¹ As fórmulas dos índices estão apresentadas no apêndice A;

² IQN1 – Considera os componentes: valores de proteína, fibra alimentar, ferro e zinco;

³ IQN2 – Considera os componentes de IQN1 acrescidos dos valores de fenóis, taninos, lectinas e inibidores de tripsina e de quimotripsina;

⁴ IQN3 – Considera os componentes de IQN2 acrescidos dos valores de PDCAAS;

↑ Subiu de posição, em relação àquela dos genótipos da tabela anterior, considerando apenas aqueles que foram avaliados;

= Ficou na mesma posição, em relação à posição dos genótipos da tabela anterior, considerando apenas aqueles que foram avaliados;

↓ Caiu de posição, em relação à posição dos genótipos da tabela anterior, considerando apenas os que foram avaliados;

5 CONCLUSÃO

As conclusões deste trabalho são:

- em geral, os atributos nutricionais (composição proximal e mineral) dos trinta e dois genótipos de feijão-caupi analisados apresentam uma variação pequena entre si e valores semelhantes ao da literatura mundial, que caracterizam o alto valor nutricional do feijão caupi, com teor de proteínas aproximadamente 23%, fibra, 18%, teor de ferro, 5 mg/100 g de semente e zinco, 3 mg/100 g de semente.
- os genótipos com teor proteico acima de 25% apresentaram uma boa digestibilidade *in vitro* (cerca de 70%) e perfil de aminoácidos, inclusive os sulfurados, estando todos presentes em níveis acima do recomendado para crianças de 3 a 10 anos.
- os fatores tóxicos e/ou antinutricionais (lectinas, inibidores de tripsina e quimotripsina) quantificados nos genótipos superior em teor de proteína, ferro e zinco mostraram-se não preocupantes, pois seus teores estão abaixo do encontrado na soja. O processamento do feijão-caupi poderá reduzir ou eliminar esses compostos. Apenas para fenóis e taninos, os valores médios do feijão-caupi são ligeiramente maiores do que os da soja.
- os genótipos superior em teor de proteína, ferro e zinco apresentam promissoras propriedades funcionais de importância tecnológica (espumabilidade, geleificação e absorção de água e óleo), que podem ser utilizadas pela indústria alimentícia para incorporação do feijão-caupi em novos alimentos.
- baseando-se nos índices de qualidade nutricional obtidos utilizando as características nutricionais e bioquímicas, os três genótipos promissores sugeridos para serem usados como parentais em programas de melhoramento genético e produção de sementes são: G17 (MNC02-682F-2-6), G03 (BRS-ARACÊ) e G01 (BRS-JURUÁ).
- embora por muito tempo as preocupações do melhoramento genético era com aspectos agrônômicos a variação das propriedades nutricionais não foram perdidas.

REFERÊNCIAS

- ANYANGO, J. O.; KOCK, H. L.; TAYLOR, J. R. N. Impact of cowpea addition on the Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score and other protein quality parameters of traditional African foods made from non-tannin and tannin sorghum. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 124, n. 3, p. 775-780, Feb. 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610008162>>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- AOAC INTERNATIONAL (AOAC). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17. ed. 1. rev. Gaithersburg: Association of Analytical Communities, 2002.
- APPIAH, F.; ASIBUO, J. Y.; KUMAH, P. Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties in Ghana. **African Journal of Food Science**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 100-104, Feb. 2011. Disponível em <<http://www.academicjournals.org/ajfs/pdf/Pdf2011/Feb/Appiah%20et%20al.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- AVANZA, M. *et al.*, Nutritional and anti-nutritional componentes of four cowpea varieties under termal treatments: Principal componente analysis. **LWT – Food Science and Technology**, [s.l.], v. 51, n. 1, p. 148-157. 2013. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812003908>>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- BA, F. S.; PASQUET, R. S.; GEPTS, P. Genetic diversity in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] as revealed by RAPD markers. **Genetic Resources And Crop Evolution**, [s.l.], v. 51, n. 5, p. 539-550, Aug. 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AGRES.0000024158.83190.4e>>. Acesso em: 8 jul, 2013.
- BAETHGEN, W. E.; ALLEY, M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. [s.l.], v. 20, n. 9-10, p. 961–969, 1989. Disponível em <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103628909368129#.Uh6XFhukrmY>>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- BAKER, T. A. *et al.* Physical and chemical attributes of cowpea lines resistant and susceptible to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 1-8, Feb. 1989. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022474X89900027>>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- BARROS, M. A. *et al.* Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semiprostado na região Meio-Norte do Brasil, *In*: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 3., 2013, Recife, **Resumos ...** [s.l.]: [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.conac2012.org/resumos/pdf/124o.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2013.
- BELANE, A. K., DAKORA, F. D. Levels of nutritionally-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 nodulated cowpea (*Vigna unguiculata*

L. Walp.) genotypes grown in the Upper West of Ghana. *Food Chemistry*, [s.l.], v. 125, n. 1, p. 99-105. 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610010472>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BENEVIDES, C. M. J. *et al.* Antinutritional factors in foods: a review. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011. Disponível em <http://www.unicamp.br/nepa/san.php?pag=san_vol_18_2_artigo_6.php>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BENITÉZ, V. *et al.* Impact of germination on starch, dietary fiber and physicochemical properties in non-conventional legumes. **Food Research International**. v. 50, n. 1, p. 64-69, 2013. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912004036>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BEUCHAT, L. R. Functional and eletrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 258-261, 1977. Disponível em <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf60210a044>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BOULTER, D.; GATEHOUSE, A. M. R.; HILDER, V. Use of cowpea trypsin inhibitor (CpTI) to protect plants against insect predation. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 7, n. 4, p. 489-497, 1989. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0734975089907209>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. **Analytical Biochemistry**, [s.l.], v. 72, p. 248–254, 1976. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/942051>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES (RNC). **Vigna unguiculata**. 2013. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 14 out. 2013.

BUCHHOLZ, A. C.; SCHOELLER, D. A. Is calorie a calorie? **The American Journal of Clinical Nutrition**, [s.l.], v. 79, n 5, p. 899-906, May 2004. Disponível em <<http://ajcn.nutrition.org/content/79/5/899S.full>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

CAMIL. **Feijão-caupi processado**. 2013. Disponível em <http://www.camil.com.br/related_products/10/69>. Acesso em: 14 out. 2013.

CARDOSO, L. R. *et al.* Atividade de inibidores de proteases em linhagens de soja geneticamente melhoradas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 1, p. 19-26, 2007. Disponível em <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/127/135>>. Acesso em 28 ago. 2013.

CARVALHO, A. F. U. *et al.* Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s.l.], v. 26, n. 1-2, p. 81–88, 2013. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088915751200018X>>. Acesso em 28 ago. 2013.

CARVALHO, S. M. P.; VASCONCELOS, M. W. Producing more with less: Strategies and novel technologies for plant-based food biofortification, **Food Research International**, 2012. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.021>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

CASTELLON, R. E. R. **Caracterização bioquímica de sementes de 6 variedades de feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.** 1996. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996.

CHINMA, C. E.; ALEMEDE, I. C.; EMELIFE, I. G. Physicochemical and functional properties of some Nigerian cowpea varieties. **Pakistan Journal of Nutrition**. [s.l.], v. 7, n. 1, p. 186-190, 2008. Disponível em <<http://www.pjbs.org/pjnonline/fin667.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

DAMADORAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010, p. 180-260. 2010.

DANTAS, A. N. S. *et al.* The combination of infrared and microwave radiation to quantify trace elements inorganic samples by ICP OES. **Talanta**, [s.l.], v. 107, p. 292-296, 2013. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23598225>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

DARFOUR, B. *et al.* Physical, proximate, functional and pasting properties of flour produced from gamma irradiated cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Radiation Physics and Chemistry**, [s.l.], v. 81, n. 4, p. 450-457, 2012. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X11004841>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

DIOUF, D. Recent advances in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] “omics” research for genetic improvement. **African Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 10, n. 15, p. 2803-2810, Apr. 2011. Disponível em <<http://www.academicjournals.org/ajb/PDF/pdf2011/11Apr/Diouf.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

DONADEL, M. E.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H. Propriedades funcionais de concentrado proteico de feijão envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas: v. 19, n. 3, p. 380-386, 1999. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20611999000300015&script=sci_arttext>. Acesso em: 28 ago. 2013.

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Field Crops Research**, [s.l.], v. 53, n. 1-3, p. 187-204, July 1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429097000312>>. Acesso em: 7 jul. 2013.

ELOWAD, H. O. A.; HALL, A. E. Influences of early and late nitrogen fertilization on yield and nitrogen fixation of cowpea under well-watered and dry field conditions. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 15, n. 3-4, p. 229-244, Feb. 1987. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378429087900128>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

EMBRAPA (Embrapa Meio-Norte). **Cultivo de Feijão-Caupi**. Sistemas de Produção. jan. 2003. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

ERLANGER, B. F.; KOKOWSKY, N.; COHEN, W. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 95, n. 2, p. 271–278, 1961. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000398616190145X>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

ETTINGER, S. Macronutrientes: carboidratos, proteínas e lipídeos. In: MAHAN, K. L.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. São Paulo: Roca, 2005, p. 35-71.

FANG, Y. *et al.* Effect of foliar applications of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrient concentration and yield of rice grain in China. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 6, p. 2079-2084, 2008. Disponível em <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=20192588>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

FIGUEIREDO, M. V. B. *et al.* Fatores bióticos e abióticos à fixação biológica de N₂. In: FIGUEIREDO, M. V. B. *et al.* (Ed.) **Microrganismos e Agrobiodiversidade: o Novo Desafio Para a Agricultura**, 1. ed. Guaíba: Agrolivros, 2008, Cap. 2, p. 43-68, Disponível em: <<http://www.bashanfoundation.org/marcia/marciafactores.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT**. 2013. Disponível em <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* BRS ARACÊ: Cowpea cultivar with olive green grains rich in iron and zinc. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009a, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578970/1/BRS.pdf>>. Acesso em 28 ago. 2013.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011, 84 p.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* Melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. *In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009b, Belém. Anais...* Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 120-135. CD-ROM.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* Melhoramento genético. *In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos.* Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 29-92.

FREIRE FILHO, F. R. Melhoramento do feijão-caupi para a região semi-árida. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 5., 2009, Guarapari. Anais...* Gurapari, ES: SBMP, 2009. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/congressos/cbmp/apresentacoes/mesas_redondas/MR_MelhoramentoPlantasCondicoesSemiArida/FranciscoFreire_PlantasSemiArido.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2013.

FROTA, A. B.; FREIRE FILHO, F. R.; CORRÊA, M. P. F. **Impactos socioeconômicos de cultivares de feijão caupi na região Meio-Norte do Brasil.** Teresina: Embrapa Meio-Norte. 2000. 26 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 52). Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36496/1/Doc52.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

FROTA, K. M. G. **Efeito do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) e da proteína isolada no metabolismo lipídico em hamsters hipercolesterolemizados.** 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana Aplicada) – Faculdade de Ciências farmacêuticas da USP. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP. Faculdade de Saúde Pública da USP. Curso Interunidades em Nutrição Humana Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/89/89131/tde-22062007-144911/pt-br.php>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

GUPTA, A.; SANDHU, R. S. In vivo binding of mannose specific lectin from garlic to intestinal epithelium. **Nutrition Research.** [s.l.], v. 17, n. 4, p. 703-711, Apr. 1997. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0271531797000407>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

HACHIBAMBA, T. *et al.* Effect of simulated gastrointestinal digestion on phenolic composition and antioxidant capacity of cooked cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. **International Journal of Food Science and Technology,** 2013. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.12260/abstract>>. Acesso em: 17 out. 2013.

HAGEN, S. R.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Precolumn phenylisothiocyanate derivatization and liquid chromatography of amino acids in food. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists,** v. 72, n. 6, p. 912-916, Nov.-Dec, 1989. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2592313>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

HAGERMAN, A. E. Radial diffusion method for determining tannin in plant extracts. **Journal of Chemical Ecology**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 437-449, Mar. 1987. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2F01880091>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

HALL, A. E. Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. **European Journal Of Agronomy**, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 447-454, Dec. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030104000620>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

HALL, A. E. E.; SINGH, B. B.; EHLERS, J. D. Cowpea breeding. **Plant Breeding Reviews**, v. 15, p. 215-274, 1997.

HARDLER, M. C.; COLUGNATI, F. A.; SIGULEM, D. M. Risks of anemia in infants according to dietary iron density and weight gain rate. **Preventive Medicine**, [s.l.], v. 39, n. 4, p. 713-721, 2004. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15351537>>. Acesso em 28 ago. 2013.

JULIANO, B. D. Comparative nutritive value of various staple foods. **Food Reviews International**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 339-434, 1999. Disponível em <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87559129909541197#preview>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

KALPANADEV, V.; MOHAN, V. R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *Unguiculata*. **LWT – Food Science and Technology**, [s.l.], v. 51, n. 2, p. 455-461. 2013. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812004100>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

KENNEDY, A. R. Chemopreventive agents: protease inhibitors. **Pharmacology & Therapeutics**, [s.l.], v. 78, n. 3, p. 167-209, 1998. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9690817>>. Acesso em 28 ago. 2013.

KHALID, I. I.; ELHARDALLOU, S. B.; ELKHALIFA, E. A. Composition and functional properties of Cowpea (*Vigna unguiculata* L Walp) flour and protein isolates. **American Journal Food Technology**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 113-122, 2012. Disponível em <<http://scialert.net/fulltext/?doi=ajft.2012.113.122>>. Acesso em 28 ago. 2013.

KUMARI, M.; JAIN, S. Tannins: an antinutrient with positive effect to manage diabetes. **Research Journal of Recent Sciences**, [s.l.] v. 1, n. 12, p. 70-73, Dec. 2012. Disponível em <<http://www.isca.in/rjrs/archive/v1i12/14.ISCA-RJRS-2012-113.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

LAURENA, A. C.; DEN, T. V., MENDOZA, E. M. T. Effects of Condensed Tannins on the in Vitro Protein Digestibility of Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, [s.l.], v. 32, p. 1045-1048. 1984. Disponível em <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00125a025>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

LOMAKINA, K.; MÍKOVÁ, K. A study of the factors affecting the foaming properties of egg white – a review. **Czech Journal of Food Sciences**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 110-118. 2006. Disponível em <<http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/50280.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

LONGE, O. G. Carbohydrate composition of different varieties of Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Food Chemistry**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 153-161. 1980. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030881468090031X>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

MAHAN, L. K., ESCOTT-STUMP, S. **Krause, alimentos, nutrição e dietoterapia**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 1355 p.

MAIA, F. M. M. **Composição e caracterização nutricional de três cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.: Epace-10, Olho de ovelha e IPA-206**. 1996. 87 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996.

MATOS, M. R. T. **Estudos bioquímicos e nutricionais de três cultivares de *Vigna unguiculata* (L) Walp.: EPACE-11, Pitiúba e TVu 1888**. 1997. 122 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.

MEDEIROS, J. L. **Caracterização bioquímica e funcional de isolados proteicos e genótipos de excelência de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em <http://www.teses.ufc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=9495>. Acesso em: 28 ago. 2013.

MIZUBUTI, I. Y. *et al.* Propriedades funcionais da farinha e concentrado proteico de feijão guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas: v. 50, n. 3, p. 274-280, 2000; Disponível em <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000300010&lang=pt>. Acesso em: 28 ago. 2013.

MOKGOPE, L. B. **Cowpea seed coats and their extracts: Phenolic composition and use as antioxidants in sunflower oil**. 2007. 111 f. Dissertação (Master of Food Production and Processing) – Department of Food Science, University of Pretoria, South Africa, 2007. Disponível em <<http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-07032007-100548/unrestricted/00dissertation.pdf>>. Acesso em 28 ago. 2013.

MULIMANI, V. H.; PARAMJYOTHI, S. Effect of heat treatments on trypsin/chymotrypsin inhibitor activity of red gram (*Cajanus cajan* L.). **Plant Foods for Human Nutrition**, Netherlands, v. 46, n. 2, p. 103-107, Sep. 1994. Disponível em <http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-94-007-0108-7_61>. Acesso em: 28 ago. 2013.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 1273 p.

OBOH, H. A., AGU, K. The effects of various traditional processing methods on the glycemic index and glycemic load of Cowpeas (*Vigna unguiculata*). **Journal of Food Biochemistry**, v. 34, n. 6, p. 1332-1342, 2010. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4514.2010.00423.x/abstract>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

ORDÓÑEZ (P.), J. A. *et al.* **Tecnología de Alimentos: Componentes dos alimentos e processos**. v. 1. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294 p.

ORWOLL, E. *et al.* Effects of dietary protein deficiency on mineral metabolism and bone mineral density. **The American Journal Of Clinical Nutrition**, [s.l.], v. 56, n. 2, p. 314-319, Aug. 1992. Disponível em: <<http://ajcn.nutrition.org/content/56/2/314.full.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2013.

OTTEN, J. J.; HELLWIG, J. P.; MEYERS, L. D. (Ed.). **Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements**. Washington, DC: National Academy Press, 2006. Disponível em <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11537>. Acesso em: 28 ago. 2013.

PEUMANS, W. J.; VAN DAMME, E. J. Lectins as plant defense proteins. **Plant Physiology**. [s.l.], v. 109, n. 2, p. 347-352, 1995. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC157596/>>. Acesso em 28 ago. 2013.

PHILLIPS, R. D. *et al.* Utilization of cowpeas for human food. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 82, n. 2-3, p. 193-213. May 2003. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429003000388>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

POWER, L. Dietary lectins: blod types and food allergies. **Townsend Letter for Doctors**. [s.l.], Jun. 1991. Disponível em <<http://www.biotype.net/diets/Lectin.pdf>>. Acesso em 28 ago. 2013.

PRINYAWIWATKUL, W. *et al.* Functional characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour and starch as affected by soaking, boiling, and fungal fermentation before milling. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 58, n. 4, p. 361-372, Apr. 1997. Disponível em< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814696002592>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

REED, J. D. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. **Journal of Animal Science**, [s.l.], v. 73, n. 5, p. 1516-1528, May 1995. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7665384>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

REYNOLDS, T. L. *et al.* Natural variability of metabolites in maize grain: differences due to genetic background. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 26, p. 10061-10067, 2005. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16366695>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

RIBEIRO, H. J. S. S. *et al.* Caracterização de concentrado proteico de feijão comum preto, cultivar lapar 44, novo e envelhecido. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Campinas: v. 29, n. 3, p. 571-580, 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612009000300019>. Acesso em: 28 ago. 2013.

RIBEIRO, N. D. *et al.* Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, 2007. Disponível em <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7710>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

RIBEIRO, N. D. *et al.* Composição de aminoácidos de gerações precoces de feijão obtidas a partir de cruzamentos com parental de alto teor de metionina. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 57-61, 2010. Nota. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n1/08.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 1367-1376, 2010. Suplemento 1. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2485/0>>. Acesso em 28 ago. 2013.

ROBBINS, R. J. Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 51, n. 10, p. 2866-2887, 2003. Disponível em <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf026182t>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

ROCHA, M. M. *et al.* **Purificação genética e seleção de genótipos de feijão-caupi para a região semi-árida piauiense**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 28p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 84). Disponível em <<http://www.cpamn.embrapa.br/publicacoes/boletim/2008/BOLP84.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SALTZMAN, A. *et al.* Biofortification: Progress toward a more nourishing future, **Global Food Security**, v. 2, n. 1, p. 9–17, 2013

SANDS, D. C.; MORRIS, C. E.; DRATZ, E. A.; PILGERAM, A. L. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods, **Plant Science**, v. 177, n. 5, p. 377–389, 2009.

SANTOS, C. T. **Farinha da semente de jaca: caracterização físico-química e propriedades funcionais**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009. Disponível em <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetaileObraForm.do?select_action=&c_o_obra=155082>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SARIAH, J. E. **Enhancing Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) production through insect pest resistant line in East Africa**. 2010. 99 f. Tese (Doutorado em Filosofia)

– Department Of Crop Science And Production, University Of Copenhagen, [s.l.], 2010. Disponível em: <http://curis.ku.dk/ws/files/32439416/John_E._Sariah_PhD_Thesis_LC_2728.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2013.

SCHAAFSMA, G. Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. **British Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 108, p. 333-336, Aug. 2012. Suplemento 2. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23107546>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em Alimentos Protéicos: Propriedades, Degradações, Modificações**. São Paulo: Varela, 1996, 520 p.

SILVA, C. O. *et al.* Influence of processing on the protein quality of new soybean cultivars intended for human food. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 3, May-June 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-52732010000300007&script=sci_arttext>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SINGH, B. B. Cowpea breeding at IITA: highlights of advances and impacts. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2006. Teresina: Embrapa Meio-Norte. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/Palestras/PalestraBBSINGH.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SINGH, B. B. Recent genetic studies in cowpea. *In*: FATOKUN, C. A. *et al.* **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Nigeria: IITA, 2002. p. 3-13. Disponível em <<http://old.iita.org/cms/articlefiles/737-Cowpea%20proceedings%202002.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SINGH, B. B.; CAMBLISS, O. I.; SHARMA, B. Recent advances in cowpea breeding. *In*: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. ; JACKAI, L. E. N. **Advances in cowpea research**. Ibadan: IITA, 1997. p.30-49.

SINGH, S. R. Cowpea cultivars resistant to insect pests in world germplasm collection. **Tropical Grain Legume Bulletin**. v. 9, p. 3-7, 1977. Disponível em <books.google.com/books?id=sCOs_tVYguwC>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JUNIOR, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 144-158. 1965. Disponível em <<http://ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

SOUSA, N. M. **Classificação de trinta genótipos de feijão-caupi [Vigna unguiculata (L.) Walp] por meio de caracterização bioquímica e nutricional**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SOUZA, C. L. C. *et al.* Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e semiereto na região Meio-Norte do Brasil. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE

FEIJÃO CAUPI, 3., 2013, Recife, **Resumos ...** [s.l.]: [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.conac2012.org/resumos/pdf/124p.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2013.

SPIES, J. R. Determination of tryptophan in proteins. **Analytical Chemistry**. [s.l.], v. 39, n. 12, p. 1412-1416, Oct. 1967. Disponível em <<http://wyndmoor.arserrc.gov/page/1967/2739.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

TANG, C.-H.; CHEN, L.; MA, C.-Y. Thermal aggregation, amino acid composition and in vitro digestibility of vicilin-rich protein isolates from three Phaseolus legumes: a comparative study. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 957–963, 2009. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608010030>>.

TASHIRO, M.; MAKI, Z. Effects of dietary rice bran trypsin inhibitor on the growth and pancreatic weights of rats. **Nutrition Research**, [s.l.], v. 10, n. 11, p. 1325-1330. 1990. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0271531705801691>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

THOMPSON, L. U. Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. **Food Research International**. [s.l.], v. 26, n. 2, p. 131-149, 1993. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096399699390069U>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

TIMKO, M. P.; EHLERS, J. D.; ROBERTS, P. A., Cowpea. In: KOLE, C (Ed.). **Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants: Pulses, Sugar and Tuber Crops**, [s.l.]: v. 3, Springer-verlag Berlin Heidelberg, 2007, p. 49-67, Disponível em: <[http://www.faculty.virginia.edu/timko/pdfs/Timko%20et%20al%20\(2007\)%20Chapter%203%20Cowpea.pdf](http://www.faculty.virginia.edu/timko/pdfs/Timko%20et%20al%20(2007)%20Chapter%203%20Cowpea.pdf)>. Acesso em: 8 jul. 2013.

TRESINA, P. S.; MOHAN, V. R. Effect of gamma irradiation on physicochemical properties, proximate composition, vitamins and antinutritional factors of the tribal pulse Vigna unguiculata subsp. Unguiculata. **Intenational Journal of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 46, n. 8, p. 1739-1746, Aug. 2011. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2011.02678.x/abstract>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Calculate the Percent Daily Value for the Appropriate Nutrients**. 2013. Disponível em <<http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/LabelingNutrition/ucm063113.htm>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

VASCONCELOS, I. M. *et al.* Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 54-60, Feb. 2010. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088915750900163X>>. Acesso em 28 ago. 2013.

VASCONCELOS, I. M.; OLIVEIRA, J. T. A. Antinutritional properties of plant lectins. **Toxicon**, v. 44, n. 4, p. 385-403. Sep. 2004. Disponível em

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041010104001916>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO); FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); UNITED NATIONS UNIVERSITY (UNU) (Switzerland). **Protein and amino acid requirements in human nutrition**: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Geneva, 2007, 265 p, (935), Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_935_eng.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2013.

ZHU, S. *et al.* Amino acid composition and in vitro digestibility of protein isolates from *Silybum marianum*. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 136-140, 2013. Disponível em < <http://world-food.net/amino-acid-composition-and-in-vitro-digestibility-of-protein-isolates-from-silybum-marianum/>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

APÊNDICE A – FÓRMULAS DOS ÍNDICES DE QUALIDADE NUTRICIONAL UTILIZADOS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) WALP] OBTIDOS PELA EMBRAPA MEIO-NORTE POR MELHORAMENTO GENÉTICO CONVENCIONAL

$$IQN(1) = \frac{[4(P - Xp)] + [2(F - Xf)] + [3(Fe - Xfe)] + [3(Zn - Xzn)]}{4 + 2 + 3 + 3}$$

$$IQN(2) = \frac{[4(P - Xp)] + [2(F - Xf)] + [3(Fe - Xfe)] + [3(Zn - Xzn)] + [-(T - Xt)] + [-(Q - Xq)] + \left[-\left(\frac{L}{10^4}\right) - Xl\right] + [-(Fn - Xfn)] + [-(Tn - Xtn)]}{4 + 2 + 3 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}$$

$$IQN(3) = \frac{[4(P - Xp)] + [2(F - Xf)] + [3(Fe - Xfe)] + [3(Zn - Xzn)] + [-(T - Xt)] + [-(Q - Xq)] + \left[-\left(\frac{L}{10^4}\right) - Xl\right] + [-(Fn - Xfn)] + [-(Tn - Xtn)] + [4(PD - Xpd)]}{4 + 2 + 3 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 4}$$

Legenda:

P – Teor de proteína;

F – Teor de fibra alimentar;

Fe – Teor de ferro;

Zn – Teor de zinco;

T – Valor de inibidores de tripsina;

Q – Valor de inibidores de quimotripsina;

L – Valor de atividade de lectinas;

Fn – Valor de fenóis;

Tn – Valor de taninos;

Xp – Média dos teores de proteína de todos os genótipos;

Xf – Média dos teores de fibra alimentar;

Xfe – Média dos teores de ferro;

Xzn – Média dos teores de zinco;

Xt – Média dos valores de inibidores de tripsina;

Xq – Média dos valores de inibidores de quimotripsina;

Xl – Média dos valores de lectinas;

Xfn – Média dos valores de fenóis;

Xtn – Média dos valores de taninos.