

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO



**FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FARMACÊUTICAS**

Elenilda de Jesus Pereira

**ESTUDO DA COMPOSIÇÃO EM MACRONUTRIENTES, RETENÇÃO
E BIOACESSIBILIDADE DE FERRO E ZINCO EM CULTIVARES DE
FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* L WAP) EM GRÃOS CRUS E
APÓS O COZIMENTO.**

Rio de Janeiro
2014

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO EM MACRONUTRIENTES, RETENÇÃO E
BIOACESSIBILIDADE DE FERRO E ZINCO EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI
(*VIGNA UNGUICULATA* L WAP) EM GRÃOS CRUS E APÓS O COZIMENTO.

Elenilda de Jesus Pereira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, da Faculdade de Farmácia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências Farmacêuticas.

Orientadora: Profa. Dra. Lucia Maria Jaeger de Carvalho

Co-orientadora: Profa. Dra. Gisela Maria Dellamora-Ortiz

Rio de Janeiro
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

PEREIRA, Elenilda de Jesus.

Estudo da Composição em macronutrientes, Retenção e Bioacessibilidade de Ferro e Zinco em Cultivares de Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* L Wap) em grãos crus e após o cozimento. Rio de Janeiro, UFRJ, Faculdade de Farmácia, CCS, 2014.

Orientadoras: Profas. Lucia Maria Jaeger de Carvalho e Gisela Maria Dellamora-Ortiz – UFRJ/ Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2014.

xxv, 115 f.: il.8; 30 cm

Tese- Doutor em Ciências Farmacêuticas

1. Feijão-Caupi. 2. Ferro. 3. Zinco. 4. Bioacessibilidade

I. Universidade Federal do Rio de Janeiro

II. Estudo da Composição em macronutrientes, Retenção e Bioacessibilidade de Ferro e Zinco em Cultivares de Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* L Wap) em grãos crus e após o cozimento.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Elenilda de Jesus Pereira

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO EM MACRONUTRIENTES, RETENÇÃO E BIOACCESSIBILIDADE DE FERRO E ZINCO EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* L WAP) EM GRÃOS CRUS E APÓS O COZIMENTO.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências Farmacêuticas.

Aprovada em: 15/07/2014

Orientadoras:

Profa. Dra. Lucia Maria Jaeger de Carvalho (Presidente)
Faculdade de Farmácia/UFRJ

Profa. Dra. Gisela Maria Dellamora-Ortiz
Faculdade de Farmácia/UFRJ

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Luisa Palhares de Miranda
Faculdade de Farmácia/UFRJ

Profa. Dra. Elizabeth Accioly
Instituto de Nutrição Josué de Castro-
INJC/UFRJ

Prof. Dr. Anderson Junger Teodoro
Centro de Ciências Biológicas e da
Saúde/UNIRIO

Profa. Dra. Ana Cláudia Macêdo Vieira
(Revisora)
Faculdade de Farmácia/UFRJ



Este trabalho foi realizado no **Laboratório de Tecnologia e Análise Instrumental de Alimentos (LATAIA)**, do Departamento Produtos Naturais e Alimentos, Faculdade de Farmácia, CCS/UFRJ, no **Laboratório de Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos**, Rio de Janeiro e no **Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio de Janeiro**, sob a orientação das Professoras **Lucia Maria Jaeger de Carvalho** e **Gisela Maria Dellamora-Ortiz**. O projeto obteve apoio financeiro concedido pelo **Fundo de Pesquisa Embrapa/Monsanto- BioFORT**, **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** e **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ)** no período de Agosto de 2010 a Julho de 2014.

AGRADECIMENTOS

- ❖ A Deus, o dono da minha vida, o meu amigo fiel, o refúgio em tempos de angústia e o arrimo da minha sorte. Sou grata por todas as circunstâncias por que passei, pois sei que cooperaram para o meu bem. Tudo o que tenho, tudo que sou e o que vier a ser vem de Ti, Senhor.
- ❖ Aos meus pais, Manuel e Maria, meus referenciais de vida, de luta, de cuidado e sacrifício. As palavras sempre serão insuficientes diante de tudo que continuam a fazer por mim. Amo vocês.
- ❖ Aos meus irmãos, Evanilza e Gilson, os presentes que Deus enviou para que eu pudesse compartilhar esta vitória em minha vida. Em especial, a Evanilza, por ser a intercessora fiel em todos os momentos. Amo cada um de vocês.
- ❖ Ao meu Pastor Jorge Duarte e sua esposa Rosalia Duarte, pelo incentivo, pela generosidade de seus corações sempre abertos para acolher, compreender e ajudar.
- ❖ A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Lucia Jaeger, que acreditou e apostou que eu seria capaz de desenvolver esta tese, me dando suporte e orientação nos momentos cruciais. As cobranças me fizeram crescer durante todo este período e seguir em frente. Obrigada por tudo que me ensinaste.
- ❖ A minha co-orientadora, Prof^a. Dr^a Gisela Dellamora, pela orientação nos ensaios de bioacessibilidade, pela contribuição nos artigos e pelas palavras de incentivo que guardarei com muito carinho no meu coração.
- ❖ Ao pesquisador, José Luiz Viana de Carvalho, por ser esse patrocinador amigo e muito gente boa. Obrigada por sempre me atender de forma prestativa.
- ❖ Ao meu eterno médico, Dr^o Newton Salles, por olhar e ouvir com o coração, compreendendo que o melhor tratamento é acompanhado de atenção.
- ❖ Aos meus colegas de laboratório: Flávio Neves, Lara Smirdele, Daniele Osório, Patrícia Barros, Pedro do Monte, Roberto Figueiredo, Daniele Leite, Claudia Baganha, Nicolas Tebaldi, Juliana Alves, Deborah, Verônica Figueiredo, Joyce Tavares, Ediane Ribeiro, Daniela Soares, Isabela Nogueira e a todos que pude conhecer durante este tempo que passei no laboratório.
- ❖ A Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Prof^a. Dr^a. Ana Luisa Palhares de Miranda que uniu esforços para elevar o conceito desse programa.

- ❖ A revisora desta tese, Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia Macêdo Vieira, por suas contribuições, correções, sugestões e a forma carinhosa como recebeu o convite para avaliar esta tese.
- ❖ A Dra. Sidinéa Cordeiro Freitas, responsável pela análise de minerais das amostras de feijão-caupi.
- ❖ Ao pesquisador Maurisrael de Moura, por ceder gentilmente as cultivares de feijão-caupi.
- ❖ Aos técnicos Juliana Oliveira e Simas Epaminondas pelas análises dos dialisados de minerais de bioacessibilidade.
- ❖ À amiga, Ceíça, por me ajudar com suas orações e pelos momentos que compartilhamos juntas as nossas esperanças.
- ❖ À amiga, Lucilene Magalhães, por estar com seus ouvidos abertos para escutar meus anseios, inquietações e por me compreender. Obrigada pelas orações.
- ❖ A todos os membros desta banca examinadora por aceitarem o convite e por compartilharem seus conhecimentos para o enriquecimento desta tese.
- ❖ Ao Fundo de Pesquisa Embrapa Monsanto/BioFORT pelo total financiamento da presente tese.
- ❖ A CAPES e a FAPERJ pelo suporte financeiro.

*“E sabemos que todas as coisas contribuem juntamente para o bem
daqueles que amam a Deus.”*

Romanos 8.28

RESUMO

PEREIRA, Elenilda de Jesus. **Estudo da Composição em macronutrientes, Retenção e Bioacessibilidade de Ferro e Zinco em Cultivares de Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* L Wap) em grãos crus e após o cozimento.** Rio de Janeiro. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é considerado uma excelente fonte de ferro e zinco e a deficiência destes micronutrientes afeta diversos grupos populacionais, principalmente, crianças e mulheres. Este estudo teve como objetivo analisar a composição nutricional de cultivares de feijão-caupi submetidos ao cozimento doméstico e experimental, os teores de retenção e bioacessibilidade de Ferro e Zinco nos grãos crus e cozidos com e sem imersão prévia em água. A determinação da composição proximal foi realizada segundo AOAC, 2005 e normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). A determinação dos teores de ferro e zinco, nas amostras dos grãos crus moídos e cozidos foi realizada por ICP. A bioacessibilidade de ferro e zinco foi realizada através do método descrito por Luten *et al.*(1996). Os grãos de feijão-caupi após os cozimentos em panela comum e de pressão, com e sem imersão apresentaram teor de umidade mais elevados quando realizado em panela de pressão com imersão. O teor de proteínas foi mais elevado no cozimento em panela de pressão sem imersão. O conteúdo de cinzas foi reduzido após o cozimento com imersão, tanto em panela comum quanto em panela de pressão. O conteúdo de lipídios foi menor no cozimento com imersão. Os tempos de cozimento experimental e doméstico foram similares. A retenção de ferro no feijão-caupi mostrou que o cozimento em panela comum com imersão apresentou percentuais mais elevados que aqueles sem imersão para as cultivares BRS Xiquexique (98,22%), BRS Tumucumaque (94,58%) e BRS Aracê (99,80%). A retenção de zinco foi mais elevada após o cozimento em panela comum com imersão para todas as cultivares. A cultivar BR-17 Gurguéia apresentou bioacessibilidade de ferro mais elevada no cozimento em panela comum com e sem imersão. O cozimento influenciou na bioacessibilidade de ferro e de zinco, uma vez que houve incremento de aproximadamente 40% em zinco e 15% em ferro, principalmente nas cultivares BRS Xiquexique e BRS Guariba. A cultivar BRS Xiquexique cozida em panela de pressão sem imersão, apresentou bioacessibilidade de ferro e de zinco mais elevada, que o cozimento em panela de pressão com imersão. A bioacessibilidade de zinco foi superior a do ferro em todas as cultivares e cozimentos tendo a BRS Xiquexique o maior percentual.

Palavras-chave: feijão-caupi, ferro, zinco, retenção, bioacessibilidade.

ABSTRACT

PEREIRA, Elenilda de Jesus. Study of macronutrient composition, retention and bioaccessibility of iron and zinc in cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* L Wap) in raw grains and after cooking. Rio de Janeiro. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is considered an excellent source of iron and zinc and a deficiency of these micronutrients affect different population groups, especially children and women. This study aimed to analyze the nutritional composition of cowpea cultivars subjected to domestic and experimental cooking, the levels of retention and bioaccessibility of iron and zinc in raw and cooked grains with and without immersion in water. The determination of proximate composition was performed according to AOAC, 2005 and analytical standards of the Instituto Adolfo Lutz (1985). The determination of the levels of iron and zinc in samples of raw and cooked milled grains was performed by ICP. The bioaccessibility iron and zinc was performed by the method described by Lutten et al. (1996). The grains of cowpea after the cooks in a regular pan and pressure, with and without immersion showed higher moisture content when performed in a pressure cooker with immersion. Protein content was highest in cooking in a pressure cooker without immersion. The ash content was reduced after cooking with immersion, both in regular pan as in a pressure cooker. The lipid content was lower in cooking with immersion. Cooking times were similar experimental and domestic. The retention of iron in cowpea showed that cooking in a regular pan with immersion showed higher percentages than those without immersion for BRS Xiquexique (98.22%), BRS Tumucumaque (94.58%) and BRS Arace (99.80%). The retention of zinc was higher after regular pan with immersion in common to all cultivars. The cultivar BR-17 Gurguéia showed higher bioaccessibility of iron in the cooking in a regular pan with and without immersion. Cooking influence the bioaccessibility of iron and zinc, since there was an increase of approximately 40% zinc and 15% iron, mainly in the BRS Xiquexique and BRS Guariba. BRS Xiquexique cooked in a pressure cooker without immersion, presented bioaccessibility of iron and zinc higher, that cooking in a pressure cooker with immersion. The bioaccessibility of zinc was higher than iron in all cultivars and cooks BRS Xiquexique having the highest percentage.

Keywords: cowpea, iron, zinc, retention, bioaccessibility.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
AAS	<i>Atomic Absorption Spectroscopy</i>
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DMT	<i>Divalent Metal Transporter</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
HTC	<i>Hard-to-cook</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-MS	<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>
IITA	Instituto Internacional de Agricultura Tropical
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Panamericana de Saúde
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Aspecto da planta do feijão-caupi	12
Figura 2:	Aspectos das sementes comestíveis de feijão-caupi	13
Figura 3:	Conteúdo de Ferro e Zinco em grãos de leguminosas	26
Figura 4:	Cultivares de feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp)	46
Figura 5:	Métodos de cozimento nos grãos de feijão-caupi	47
Figura 6:	Cozedor Experimental (JAB-77)	48
Figura 7:	Etapa de lavagem de membrana	53
Figura 8:	Esquema das etapas da digestão <i>in vitro</i>	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1:	Produção mundial de Feijão em toneladas (2007 a 2011)	05
Tabela 2:	Principais estados brasileiros produtores de Feijão entre 2010 a 2013	06
Tabela 3:	Consumo alimentar e percentual de consumo no Brasil no período 2008-2009	08
Tabela 4:	Produção mundial (toneladas) de Feijão-caupi nos anos de 2007 a 2011	10
Tabela 5:	Classificação das cultivares quanto a cor e tamanho dos grãos de Feijão	14
Tabela 6:	Conteúdo de ferro absorvido por diferentes grupos de indivíduos	24
Tabela 7:	Composição nutricional de Feijão-caupi e outros tipos de Feijão	29
Tabela 8:	Condições de operação do equipamento e do método para a quantificação de Fe e Zn.	54
Tabela 9:	Conteúdo médio de umidade das cultivares de Feijão-caupi (mg/100g)	57
Tabela 10:	Composição média de proteínas, cinzas, lipídios dos grãos crus de caupi.	58
Tabela 11:	Teores médios de proteínas das cultivares de Feijão-caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água	59
Tabela 12:	Teores médios de cinzas das cultivares de Feijão- caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.	60
Tabela 13:	Teores médios de lipídios das cultivares de Feijão-caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.	61
Tabela 14:	Teores médios de carboidrato e fibras das cultivares de feijão-caupi cozido, em panela comum sem imersão prévia em água	61
Tabela 15:	Percentual de <i>Hard shell</i> nas cultivares de Feijão-caupi	62
Tabela 16:	Tempos de cozimento doméstico, em panela comum e panela de pressão, em cultivares de Feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água.	63
Tabela 17:	Tempos de cozimento no Cozedor Experimental de <i>Mattson</i>, em cultivares de Feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água	64
Tabela 18:	Tempos de cozimento doméstico, em panela comum e panela de pressão, em cultivares de Feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água	65
Tabela 19:	Teores médios de ferro e zinco nos grãos crus das cultivares de Feijão-caupi (mg/100g).	67

Tabela 20:	Conteúdo de ferro (mg/100g base seca) de cinco cultivares de caupi cozidas em panela comum com e sem imersão prévia e retenção de ferro.	69
Tabela 21:	Conteúdo de ferro (mg/100g base seca) de cinco cultivares de Feijão-caupi cozidas em panela de pressão com e sem imersão prévia e retenção de ferro	70
Tabela 22:	Conteúdo de zinco (mg/100g base seca) de cinco cultivares de caupi cozidas em panela comum com e sem imersão prévia e retenção de zinco.	71
Tabela 23:	Conteúdo de zinco (mg/100g base seca) de cinco cultivares de caupi cozidas em panela de pressão com e sem imersão prévia e retenção de zinco.	73
Tabela 24:	Determinação de bioacessibilidade de ferro em cultivares de Feijão-caupi em grãos crus e após diferentes métodos de cozimento	74
Tabela 25:	Determinação de bioacessibilidade de zinco em cultivares de Feijão-caupi em grãos crus e diferentes métodos de cozimento.	75

SUMÁRIO

1-	Introdução	01
2-	Revisão Bibliográfica	03
2.1-	Origem e história do Feijão	03
2.2-	Produção de Feijão no mundo e no Brasil	04
2.3-	Consumo de Feijão no Brasil	07
2.4-	Recomendações e importância nutricional do Feijão	08
2.5-	Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.)	09
2.5.1-	Produção do Feijão-caupi no mundo e no Brasil	10
2.5.2-	Aspectos gerais sobre Feijão-caupi	11
2.5.3-	Importância econômica do Feijão-caupi	15
2.5.4	Composição proximal do Feijão-caupi	15
2.6-	Importância dos minerais para a saúde humana	20
2.6.1-	Ferro	20
2.6.1.1-	Importância do Ferro na Nutrição Humana	21
2.6.1.2-	Absorção e Metabolismo de Ferro	22
2.6.1.3-	Recomendações Nutricionais de Ferro	23
2.6.1.4-	Anemia por deficiência de Ferro e suas implicações na saúde	24
2.6.1.5-	Estratégias de combate a Anemia	25
2.6.2-	Zinco	27
2.6.2.1-	Importância do Zinco na Nutrição Humana	27
2.6.2.2-	Absorção e Metabolismo de Zinco	27
2.6.2.3-	Deficiência de Zinco	27
2.6.2.4-	Estratégias de combate a deficiência de Zinco	28
2.7-	Métodos de análise de nutrientes em minerais	29
2.8-	Programas de melhoramento de Feijão-caupi	29
2.9-	<i>“Hard shell” e “hard-to-cook</i>	31
2.9.1-	Métodos de cozimento	32
2.9.2-	Capacidade de absorção de água	34
2.9.3-	Tempo de cozimento	36
3-	Retenção de Minerais em Feijão	37
3.1-	Biodisponibilidade e Bioacessibilidade	38
3.1.1-	Conceito de Biodisponibilidade	38

3.1.2-	Aspectos da Biodisponibilidade	39
3.1.3-	Conceito de Bioacessibilidade	40
3.1.4-	Fatores que interferem na Bioacessibilidade	40
3.1.5-	Estudos de Bioacessibilidade	41
3.1.6-	Efeitos do tratamento culinário/processamento na Bioacessibilidade	41
3.1.7-	Processo Digestivo	42
3.1.8-	Modelos de Digestão	43
3.2-	Programas de Biofortificação na determinação da Bioacessibilidade	44
4-	Objetivos	45
4.1-	Objetivo Geral	45
4.2-	Objetivos Específicos	45
5-	Material e Métodos	46
5.1-	Cultivares de Feijão	46
5.2-	Delineamento dos experimentos	47
5.3-	Tempo de Cozimento Experimental	47
5.4-	Delineamento dos experimentos com o cozimento doméstico	48
5.5-	Determinação do <i>Hard-shell</i>	48
5.6-	Capacidade de absorção de água	49
5.7-	Determinação da Composição Proximal	49
5.7.1-	Umidade	49
5.7.2-	Cinzas	49
5.7.3-	Proteínas	49
5.7.4-	Lipídios	50
5.7.5-	Carboidratos	50
5.7.6	Fibra Alimentar	50
5.8-	Determinação de Ferro e Zinco	50
5.9-	Determinação da porcentagem de retenção de Ferro e Zinco	51
5.10-	Determinação de Bioacessibilidade de Ferro e Zinco	51
5.10.1-	Análise de Ferro e Zinco em feijão-caupi dialisado	53
6-	Avaliação Estatística	55
7-	Resultados e Discussão	56
8-	Conclusões	76
9-	Considerações Finais	78

10- Referências Bibliográficas

79

1. INTRODUÇÃO

As populações de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento normalmente sofrem com os danos causados pela desnutrição, o que pode acarretar doenças provenientes de deficiência tanto calórico/protéica quanto de micronutrientes. Ao redor do mundo estima-se que mais de três bilhões de pessoas sofrem com a má nutrição de micronutrientes, dentre elas a deficiência de ferro e zinco que são consideradas problemas de saúde pública, afetando diversos grupos populacionais, principalmente crianças e mulheres (WELCH *et al.*, 2000; BURATTO, 2012).

O ferro é importante no desenvolvimento físico, neurológico e mental de indivíduos saudáveis e a carência deste micronutriente na alimentação pode causar anemia, doença ainda prevalente no século XXI, e que atinge de 2 a 3 bilhões de pessoas em todo o mundo (KRAEMER & ZIMMERMANN, 2007; COZZOLINO, 2005; UNICEF, 1998). Por outro lado, o zinco se constitui em importante mineral presente na dieta humana, por ser co-fator de mais de 300 enzimas, necessárias para o crescimento e desenvolvimento normais (SHANKAR & PRASAD, 1998). A deficiência de zinco pode levar ao aumento de casos de morbidade e mortalidade, prejudicando o crescimento e desenvolvimento normais de crianças, além de diminuir a resistência às doenças, especialmente, às infecções (BHUTTA *et al.*, 2000; SANDBERG, 2002).

Programas governamentais de suplementação de ferro e zinco têm sido implantados, porém uma grande parte da população não chega a ser beneficiada devido a problemas com a distribuição dos suplementos em áreas ou regiões de difícil acesso, como as ribeirinhas, entre outras. Uma alternativa para que essas populações possam ter alimentação adequada e disponível encontra-se na agricultura familiar, em que pequenos cultivos podem ser implantados em pequenas áreas e com baixo custo e na biofortificação que se constitui em uma alternativa sustentável para o fornecimento de nutrientes as populações carentes (COSTA, QUEIROZ-MONICI, REIS, & OLIVEIRA, 2006).

O feijão é considerado uma das culturas alimentares mais importantes do mundo devido a sua qualidade nutricional que fornece nutrientes como proteínas, ferro, zinco e vitaminas e, combinado com o arroz, constitui a base da alimentação da população brasileira, além de ser um dos produtos agrícolas de grande valor econômico (COSTA, QUEIROZ-MONICI, REIS, & OLIVEIRA, 2006). Os grãos de feijão comum também constituem a melhor fonte vegetal de ferro, com 5,3 - 8,5 mg/100g, do produto cru e por isso, são considerados um aliado no combate às carências nutricionais (ANTUNES *et al.*, 1995; BRIGIDE, 2002).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Wap.) também conhecido como feijão de corda é um dos alimentos mais importantes para a população das regiões Norte e Nordeste do Brasil, por se constituir na principal fonte de proteína vegetal de populações carentes e ser uma excelente fonte de ferro e zinco (EMBRAPA, 2010). O cultivar BRS Xiquexique (subclasse comercial branco) apresenta elevados teores de ferro (7,7 mg/100g) e de zinco (5,3 mg/100g) o que pode minimizar a deficiência destes micronutrientes na população (THARANATHAN & MAHADEVAMMA, 2003).

Os grãos de feijão-caupi apresentam perfil nutricional semelhante ao feijão comum (BRESSANI, 1985). No entanto, o caupi possui níveis mais elevados de ácido fólico e quantidades mais baixas de fatores antinutricionais que podem causar flatulência. Além disso, os grãos de caupi podem ser cozidos rapidamente, um requisito importante para os países em desenvolvimento que sofrem com escassez de combustível (EHLERS & HALL, 1997).

JUSTIFICATIVA

Embora a produção de alimentos tenha acompanhado o crescimento da população, problemas de deficiência nutricional atingem quase metade da população mundial, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças. A principal razão para esses problemas é que a maioria das pessoas, especialmente nos países em desenvolvimento, consome dieta composta principalmente por alimentos de origem vegetal, considerada de baixa biodisponibilidade quando comparado com os produtos de origem animal (SATHE *et al.*, 1984; GEIL & ANDERSON, 1994).

A importância que o feijão representa na dieta da população brasileira, pela presença de micronutrientes como ferro e zinco e a necessidade de que grupos de baixa renda tenham acesso a alimentos com elevados teores desses micronutrientes, e conseqüentemente, melhorem seu *status* nutricional, tornam o consumo de feijão-caupi um importante aliado no combate às deficiências nutricionais. Associado à carência de trabalhos sobre a influência da imersão e do cozimento na retenção desses minerais, bem como o efeito do tratamento térmico na bioacessibilidade. O estudo em diferentes cultivares de feijão-caupi, visando avaliar os teores destes micronutrientes, após a imersão e cozimento, torna-se necessário, a fim de que se possa selecionar os cultivares mais promissores para cultivo comercial, bem como conhecer o método de cozimento que melhor preserva o percentual de bioacessibilidade de ferro e zinco.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Origem e história do Feijão

As primeiras plantas cultivadas pelo homem no Velho Mundo foram às gramíneas, mas em seguida outras plantas vieram acrescentar valiosos suplementos para a dieta, dentre elas, as leguminosas, membros da família botânica Leguminosae, da qual fazem parte o grupo das oleaginosas, como a soja e o amendoim; e as de grão como as lentilhas, ervilhas, fava e o feijão (ORNELLAS, 2007). Através de dados arqueológicos sabe-se que o homem já colhia sementes de plantas nativas dessas espécies na época em que começava a cultivar as gramíneas, e que o cultivo das leguminosas começou pouco tempo depois da domesticação dos cereais. As leguminosas estão entre as primeiras a serem domesticadas, pois suas sementes apresentam o mais elevado conteúdo em proteínas, das plantas usadas na alimentação (NOGUEIRA, 2005).

Os grãos de feijão estão entre os alimentos mais antigos registrados na história da humanidade, sendo cultivados no antigo Egito e na Grécia, e cultuados como símbolo da vida (EMBRAPA, 2004; NOGUEIRA, 2005). A origem do feijão se constitui em fonte de divergência entre os pesquisadores, pois diversas hipóteses tentam explicar não somente a origem da planta, bem como quando o homem teria começado a utilizá-la no aproveitamento doméstico. Alguns relatos levam à hipótese de que o centro de origem da planta e sua domesticação como cultura teriam ocorrido na região da Mesoamérica, por volta de 7000 anos a.C e mais tarde tenha se difundido para toda a América do Sul. O feijão foi introduzido na alimentação brasileira pelos negros e índios alguns anos após o descobrimento do Brasil. Assim, os feijões passaram a integrar-se na alimentação cotidiana do brasileiro e fazem parte da sua cultura alimentar em todas as classes de renda, tanto nas regiões urbanas quanto no meio rural. No Brasil, existem evidências de que o cultivo do feijoeiro data de mais de 2000 anos (CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO FEIJÃO, 2012; ORNELLAS, 2007).

Os grãos de feijão eram usados pelos antigos romanos em suas festas gastronômicas e até mesmo como pagamento de apostas. No Império Romano, o feijão era usado para votar, onde o feijão branco representava um sim e o feijão preto era considerado um não. Foram encontradas referências aos feijões na Idade do Bronze, na Suíça, e entre os hebraicos, cerca de 1.000 a.C. Na alimentação, as ruínas da antiga Tróia revelam evidências de que os feijões eram o prato favorito dos guerreiros troianos (NOGUEIRA, 2005). Grande parte dos historiadores atribui a expansão dos feijoeiros pelo mundo às grandes guerras, já que esse alimento fazia parte da alimentação dos guerreiros. O feijão é repetidamente citado como alimento de resistência, isso se deve ao fato de ser oferecidos aos escravos africanos e é,

certamente, o grande responsável, durante séculos, pela sobrevivência nutricional da maioria dos brasileiros. Os grandes exploradores ajudaram a difundir o uso e o cultivo de feijão para as mais diversas partes do mundo (FILGUEIRA, 2005; OLIVEIRA, 2008).

2.2-Produção de Feijão no mundo e no Brasil

O feijão é um alimento tradicional presente em várias culturas e cultivado em mais de 100 países. Um prato de feijão é o elemento central da dieta de mais de 400 milhões de pessoas em várias partes do mundo. Consumido em larga escala em todos os continentes, esse membro da família *Leguminosae* está presente na mesa da grande maioria da população, em função de suas qualidades gastronômicas e nutricionais e, principalmente, por ser uma fonte protéica de baixo custo. O consumo dos grãos dessa leguminosa proporciona vários efeitos benéficos à saúde, pois é considerado um alimento integral, que apresenta diferentes nutrientes essenciais para a saúde humana (BURATTO, 2012). Esse grão se destaca entre as cinco maiores culturas alimentares do Brasil, perdendo apenas para a soja, milho, trigo e o arroz (CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO FEIJÃO, 2012; CONAB, 2013).

Considerado um dos componentes mais importantes da dieta alimentar do brasileiro e o principal alimento protéico das populações rurais e urbanas do país, os grãos de feijão são a principal cultura de subsistência no sertão semi-árido nordestino. No Nordeste, os principais alimentos da população rural são a farinha de Mandioca, o arroz e o feijão, contribuindo com 45% do total de calorias, enquanto que o feijão, o arroz e o milho contribuem com 50% da proteína consumida, sendo o feijão, isoladamente, responsável por 31% deste total (LIMA FREIRE, 2004).

No mercado mundial, o feijão movimenta, por ano, aproximadamente 20 milhões de toneladas do grão. No entanto, apesar do grande volume, essa leguminosa apresenta pouca importância comercial, devido à falta do real conhecimento de seu mercado e o pequeno consumo nos países do primeiro mundo, o que limita a expansão do comércio internacional, tornando-o incipiente, pois a maioria dos países produtores também é formada por grandes consumidores (CONAB, 2012). Outro fato para a baixa representatividade comercial do feijão está relacionado aos hábitos alimentares (preferência por tipos, variedades e classes) que são bastante diversificados entre os países, e até mesmo entre regiões de um mesmo país, dificultando a projeção do produto em nível internacional (VILARINHO *et al.*, 2012).

No mercado internacional, os cinco principais países produtores de feijões, que juntos são responsáveis por cerca de 59% da produção média mundial são: Índia (17%), Brasil e Mianmar (15%), China (7%) e EUA (5%). De acordo com os dados reportados pela FAO

(*Food and Agriculture Organization*) (Tabela 1), em 2011, a produção mundial de feijão situou-se em torno de 23 milhões de toneladas. Na tabela 1 está representada a produção mundial de feijão até o ano de 2011.

Tabela 1- Produção mundial de Feijão em toneladas (2007 a 2011)

Países	2007	2008	2009	2010	2011	Part.%
Índia	3.930.000	3.010.000	2.430.000	4.890.000	4.330.000	17
Brasil	3.169.360	3.461.194	3.486.763	3.158.905	3.435.366	15
Mianmar	2.814.000	3.218.000	3.375.000	3.000.000	3.721.949	15
China	1.525.000	1.700.000	1.480.000	1.330.000	1.572.000	7
EUA	1.160.561	1.159.290	1.150.310	1.442.470	899.610	5
México	993.943	1.122.720	1.041.350	1.156.251	567.779	4
Tanzânia	643.119	570.750	773.720	867.530	675.948	3
Kenya	429.839	265.006	465.363	390.598	577.674	2
Uganda	435.000	440.000	452.000	463.000	447.430	2
Argentina	328.249	336.779	312.998	338.120	332.782	2
Outros	5.678.000	5.687.377	6.147.667	6.282.507	6.501.052	28
Total	21.107.071	20.971.116	21.115.171	23.319.381	23.061.590	100

Fonte: (FAO, 2012)

O consumo do feijão, no Brasil, sofre variação conforme a região e apresenta algumas particularidades entre os estados quanto à preferência pelas variedades. Nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo, a preferência do consumidor é pelo feijão preto. No restante do país este tipo de grão tem pouco ou quase nenhum valor comercial ou aceitação. Já os feijões de grão tipo carioca são aceitos em praticamente todo o país, por isso 53% da área cultivada é semeada com este tipo grão. Na Região Nordeste, o feijão mulatinho é o mais aceito e, os tipos roxo e rosinha são mais populares nos Estados de Minas Gerais e Goiás (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ, 2006).

No Brasil, centenas de tipos de feijoeiro comum são cultivados e, normalmente, apresentam sementes pequenas, embora possam também ser encontradas, em algumas regiões, tipos de tamanho médio e grande, como os feijões enxofre, jalo e, mulatinho com estrias vermelhas e o tipo branco encontrado nos supermercados (EMBRAPA, 2003).

Segundo levantamentos da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) o consumo de feijão apresenta-se estável no período de 2008 a 2013 e a produção nacional de feijão deverá alcançar um patamar de 3,56 milhões de toneladas. Houve uma redução sensível nos estoques públicos de feijão nas duas últimas safras. A relação média no período do estoque e consumo é 10%, e na safra 2012/13 caiu para 5%, isto é, o mercado apresenta uma menor disponibilidade do produto. A produção média brasileira da leguminosa no período de 2008 a 2013 é de 3,3 milhões de toneladas, e na safra que esta encerrando a estimativa é colher 2,8 milhões de toneladas, 14% abaixo da média ou 568 mil toneladas menos de feijão no prato da população (CONAB, 2013).

Conforme dados da CONAB, os cinco maiores produtores da leguminosa foram: Paraná (23%), Minas Gerais (18%), São Paulo e Bahia (9% cada um) e Goiás (8%). Juntos respondem em média por 66% da produção nacional, com destaque para o Paraná que participa com 23% do total nacional (CONAB, 2013). Na tabela 2, observam-se os principais Estados brasileiros produtores de feijão entre os anos de 2010 a 2013.

Tabela 2 – Principais estados brasileiros produtores de Feijão entre 2010 a 2013 (em mil toneladas).

Estados	2010	2011	2012	2013	Partic. (%)
Paraná	794,2	821,2	677,9	658,4	23
Minas Gerais	623,7	582,3	663,7	564,8	18
São Paulo	318,6	348,0	330,9	244,4	9
Bahia	390,4	262,9	117,6	189,2	9
Goiás	288,8	260,1	308,1	236,1	8
Mato Grosso	120,9	234,8	224,4	285,9	5
Santa Catarina	167,7	160,5	117,3	124,7	5
Ceará	84,5	259,6	32,9	68,7	4
Pernambuco	88,5	161,5	33,8	63,7	3
Rio Grande do Sul	115,3	123,9	94,1	94,7	3
Outros	329,9	518,0	317,7	301,8	13
BRASIL	3,322,5	3,732,8	2,918,4	2,832,4	100,0

Fonte: (CONAB, 2013)

2.3- Consumo de Feijão no Brasil

O feijão sempre fez parte da dieta dos brasileiros e compõe a cesta básica da grande maioria da população. É considerado o segundo alimento mais consumido, de acordo com pesquisas realizadas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em parceria com o Ministério da Saúde- Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) no ano de 2008-2009. O estudo realizado mostrou que o consumo alimentar médio de feijão per capita foi da ordem de 182,9 g/dia. No entanto, os dados nacionais disponíveis, que permitem estimar o consumo alimentar domiciliar, revelam uma tendência de queda no consumo de feijões pela população, em prol de alimentos industrializados e menos saudáveis (IBGE, 2010).

Entre 1974 e 2003, a participação relativa de feijão e outras leguminosas no total energético da alimentação apresentou uma redução de 31% (IBGE, 2010). Algumas das possíveis causas desta queda do consumo per capita no Brasil estão relacionadas com a substituição por fontes de proteína de origem animal, o êxodo rural, bem como, a mudança de hábitos alimentares, com o advento do *fast food*, além das fortes flutuações de oferta e preços e a demora para o preparo do produto (falta de praticidade). Outro fato associado à queda no consumo do grão está relacionado à inserção da mulher no mercado de trabalho, que dispõe de menor tempo para o preparo das refeições, tendência que desfavorece produtos de cocção mais demorada como o feijão, segundo informações divulgadas pela Agência de Informação Embrapa (FERREIRA *et al.*, 2002).

A diminuição no consumo de feijões resultou em uma redução importante na ingestão de fibra alimentar, que era de 20g/dia na década de 70 e caiu para 12g nos anos 90 (MENEZES *et al.*, 2000). Existem evidências científicas de que os alimentos com alto teor de fibras, de uma forma geral e, em particular, os que contêm fibras solúveis, entre eles os feijões, protegem contra a dislipidemia, risco de doenças cardíacas e também são benéficos para pessoas portadoras de diabetes, uma vez que o feijão é considerado um alimento de baixo índice glicêmico. Portanto, o feijão fortalece significativamente a segurança alimentar e nutricional entre os consumidores de baixa renda, reduzindo o risco de doença cardiovascular e diabetes (GEIL & ANDERSON, 1994; SEAB, 2013). Na tabela 3 observa-se o consumo e o percentual alimentar no Brasil, no período de 2008 a 2009, onde o feijão comum ocupa a segunda posição dentre os diversos alimentos.

Tabela 3- Consumo alimentar médio per capita (g/dia) e percentual de consumo fora do domicílio em relação ao total consumido (%), por sexo, segundo os alimentos- Brasil- período 2008 - 2009.

Alimentos	Consumo alimentar médio <i>per capita</i> (g/dia) e percentual de consumo fora do domicílio (*) em relação ao total consumido (%), por sexo					
	Total		Masculino		Feminino	
	g/dia	% fora	g/dia	% *	g/dia	% *
Café	215,1	10,1	222,3	11,8	208,4	8,5
Feijão	182,9	12,2	223,1	13,6	145,4	10,1
Arroz	160,3	12,5	189,9	13,9	132,7	10,6
Sucos/Refrescos/Sucos em pó reconstituídos	145,0	18,5	151,8	20,2	138,7	16,9
Refrigerantes	94,7	39,9	112,2	43,2	78,4	35,6
Carne bovina	63,2	16,6	73,5	18,6	53,6	14,0
Pão de sal	53,0	9,1	58,1	9,8	48,3	8,4
Sopas e Caldos	50,3	11,5	45,8	14,6	54,6	9,1
Aves	36,5	17,0	40,1	18,6	33,2	15,1
Macarrão e preparações a base de macarrão	36,3	15,5	40,3	17,7	32,6	13,0
Leite integral	34,7	5,8	33,8	6,5	35,6	5,2
Chá	31,3	8,9	26,8	8,3	35,5	9,4
Cerveja	31,1	63,6	55,7	63,8	8,1	62,5

Fonte: (IBGE, 2010)

2.4-Recomendações e importância nutricional do Feijão

De acordo com a primeira edição do Guia Alimentar para a população brasileira, organizado pelo Ministério da Saúde, a maioria dos registros oficiais com as recomendações nutricionais é proveniente de países cujo consumo de feijão é pouco comum. Nesses documentos, a recomendação de ingestão desta leguminosa se enquadra juntamente com os grupos de alimentos ricos em amido ou naquele de frutas, legumes e verduras. Nos países latino-americanos e alguns asiáticos, geralmente há recomendações específicas para o feijão e outras leguminosas (BRASIL, 2004).

As recomendações de consumo de feijão pelo Guia consideram não só a importância nutricional do feijão, como a complementaridade das proteínas pela combinação de arroz e feijão, mais o consumo de vegetais, que incluem leguminosas. Além disso, o Guia ainda

ressalta que essa combinação deve ser resgatada ou mantida, valorizada e incentivada como elemento central da cultura da alimentação da população brasileira devido à importância que esse prato representa na tradição do povo brasileiro (SOBER, 2007; BRASIL, 2004, BRASIL, 2006).

Pelos mesmos motivos, a Embrapa Arroz e Feijão lidera uma campanha chamada “Par Perfeito”, cujo objetivo é incentivar o consumo dessa combinação brasileira (BRASIL, 2008). Os principais organismos internacionais de apoio e promoção da saúde recomendam a ingestão diária de uma ou mais porções de feijão, o que deve ser cada vez mais estimulado no Brasil, visto que, nos últimos 30 anos o consumo per capita diminuiu de 22 para 13 quilos anuais (RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). A recomendação de consumo do Guia Alimentar é de uma porção de feijão por dia, juntamente com o arroz, na proporção de uma parte de feijão para duas de arroz, variando-se os tipos de feijão, como o preto, carioquinha, vermelho, entre outros (BRASIL, 2006).

2.5- Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Os feijões são leguminosas, conceituadas como plantas cujas sementes estão contidas em vagens ricas em tecido fibroso (COENDERS, 1996). As leguminosas fazem parte da família *Leguminosae* que contém aproximadamente 18.000 espécies. São representantes dessa família o feijão comum, o caupi, o feijão-fava, a lentilha, a ervilha, o amendoim, o grão-de-bico, a soja, entre outras espécies alimentares (YOKOYAMA, 2000). As sementes desse grupo são disponibilizadas para consumo humano e daí a denominação, enquanto alimento, de leguminosas de grão (IQBAL *et al.*, 2006). Os grãos das leguminosas são tradicionalmente consumidos na forma de grãos maduros e secos (quiescente) e verdes (imaturos), ou ainda na forma de vagens. Para o consumo na forma de grão verde, as vagens são colhidas quando começam a amadurecer e para produção de grão seco, as vagens são colhidas após a maturação, quando ficam secas (EMBRAPA, 2004).

A cultura do feijoeiro inclui um grande número de gêneros e espécies. Duas espécies de feijão são mais cultivadas no Brasil, o *Phaseolus vulgaris* L, conhecido como feijão comum, encontrado em todo o território nacional e a *Vigna unguiculata* (L.) Walp, conhecida popularmente como feijão-caupi ou feijão de corda, que predomina no Nordeste e em algumas regiões da Amazônia (EMBRAPA, 2004). A cultura do feijão-caupi apresenta um período de amadurecimento mais rápido que as demais, e pode dessa forma ser utilizada imediatamente como alimento básico de subsistência para populações carentes. Após isso, a colheita

excedente pode ser armazenada para utilização durante o ano todo (DVOLO, WILLIAMS & ZOAKA, 1976).

2.5. 1-Produção do Feijão-caupi no mundo e no Brasil

O feijão-caupi está presente em regiões tropicais e subtropicais, com uma vasta distribuição mundial, onde a grande maioria das espécies se concentra na África, o que sugere que o gênero *Vigna* tenha surgido nesse continente e provavelmente também o feijão-caupi (FREIRE FILHO, 1988). No Brasil, os grãos de caupi foram introduzidos, no século XVI, pelos colonizadores portugueses, provavelmente pelo Estado da Bahia, sendo levado para outras áreas da região Nordeste e para as demais regiões do País (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2002). No entanto, segundo Filgueira (2005) a espécie teria sido introduzida por escravos africanos.

Em termos mundiais, a cultura ocupa 13,9 milhões de hectares, distribuídos nas regiões tropicais e subtropicais da África, da Ásia e das Américas, com produção de 4,9 milhões de toneladas de grãos. A Nigéria é o principal país produtor dessa leguminosa, com uma participação de 48%, enquanto o Níger, com 24%, ocupa a segunda posição (FAO, 2007; ZILLI *et al.*, 2009; IBGE, 2008). No Brasil, o feijão-caupi tem seu cultivo concentrado nas regiões Nordeste e Norte, que possuem climas tropicais, aos quais por sua própria origem é bem adaptado. Os grãos de caupi quando plantado em outras áreas do país, produz bem, só não havendo interesse comercial no seu cultivo porque o feijão mulatinho é mais apreciado pelo consumidor destas áreas. Na tabela 4 pode ser observado a produção mundial de feijão-caupi nos anos de 2007 a 2011.

Tabela 4- Produção mundial (toneladas) de Feijão-caupi nos anos de 2007 a 2011.

Países	2007	2008	2009	2010	2011	Part. %
Nigéria	3.000.000	2.916.000	2.371.640	3.368.250	1.860.800	48
Níger	1.001.139	1.543.943	787.472	1.774.464	1.157.142	24
Burkina Faso	253.190	537.680	453.429	626.113	441.015	8
Outros	942.304	1.111.232	1.284.014	1.144.341	1.133.425	20
Total	5.196.633	6.108.855	4.896.555	6.913.168	4.952.382	100

Fonte: (FAO, 2013)

O consumo do Feijão-caupi no Nordeste varia bastante entre áreas metropolitanas e entre áreas urbanas e rurais. Na região metropolitana de Salvador a proporção de Caupi

consumido é de 2%, em Recife é de 5%, enquanto que em Fortaleza é de 72% (LIMA FREIRE, 2004). No Nordeste, a produção e a produtividade são de 429.375 toneladas e 303,5 kg/hectares, respectivamente. Os maiores produtores são os Estados do Ceará, Piauí, Bahia e Maranhão. Nos últimos anos, entretanto, a cultura tem se expandido para o Mato Grosso, onde foram plantados, em 2009, mais de 100.000 há de feijão-caupi (IBGE, 2000).

Segundo Eiras & Menezes (2003) o estado do Pará destaca-se como o quarto produtor nacional de feijão-caupi no qual se refere à produção obtida. A região nordeste do Brasil atinge uma produtividade que varia de 300 a 450 kg/ha, o estado do Pará de 500 a 800 kg/ha e a microrregião Bragantina de 900 a 1200 kg/ha, destacando-se os municípios de Augusto Corrêa, Bragança, Capanema e Tracuateua com as maiores áreas plantadas representando mais de 60% do total plantado na microrregião.

Atualmente essa cultura está presente em 124 dos 143 municípios do estado do Pará, com a maior área plantada concentrando-se nos 16 municípios que integram a microrregião Bragantina e que formam o chamado “Pólo do Feijão-Caupi”, sendo que a cultura ocupa diretamente 30 mil pessoas por ano no pólo produtor, que se destaca por suas condições edafoclimáticas (condições adequadas de clima e solo) favoráveis ao seu cultivo, atraindo compradores de diversos estados, principalmente da região Nordeste do País (FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

2.5.2-Aspectos gerais sobre Feijão-caupi

Os grãos de feijão-caupi são cultivados em áreas subtropicais e equatoriais de baixa altitude, vegetando adequadamente em climas localizados entre as latitudes 20 N° e 20 S°, e temperatura média anual em torno de 20 a 30°C (ARAÚJO *et al.*, 1984). Temperaturas elevadas prejudicam a floração enquanto que baixas temperaturas aumentam o ciclo da planta, pelo prolongamento de todas as fases do desenvolvimento; temperaturas abaixo de 20°C paralisam o desenvolvimento das plantas e, se o período de frio for longo, ocorre produção demasiada de ramos, com conseqüente redução do rendimento (ARAÚJO & WATT, 1988).

O cultivo do feijão-caupi depende, sobremaneira, do regime pluviométrico e regularidade na distribuição de chuvas, principalmente, nas fases mais críticas (floração e enchimento de vagens), como também, apresenta riscos climáticos diferenciados em função da época de semeadura e do tipo de solo (MAFRA, 1979). No Brasil, o feijão-caupi é cultivado para a produção de grãos para a alimentação humana nas regiões de climas quentes, seja úmida ou semi-árida, do Norte (Trópico Úmido) e Nordeste (Trópico Semi-Árido), respectivamente. Nas demais regiões do país é utilizado para a produção de grãos verdes e

vagens, consumo in natura, e de ramos e folhas para a alimentação de animais, como feno (OLIVEIRA & CARVALHO, 1987).

O feijão-caupi (Fig.1) é uma planta geralmente anual, ereta ou trepadora, com uma raiz principal e ramificações laterais, que pode atingir até 2m de profundidade, razão de sua notável resistência à seca (FILGUEIRA, 2005). As suas folhas são trifoliadas e as flores dispõem-se em pequenos grupos semelhantes a cachos que partem da base do pecíolo das folhas. As vagens são lisas, lineares e cilíndricas, com sementes numerosas, as quais apresentam-se nas cores branca ou amarela com o hilo castanho ou negro (RIBEIRO *et al.*, 2007).



Figura 1: Aspecto da planta do feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2002).

O significado para o nome caupi, em português provém do inglês “cowpea” e significa ervilha de vaca. Nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, esse grão é reconhecido por cerca de 40 nomes diferentes. Na região Nordeste é conhecido como: (Feijão macassa, Feijão macassar, Feijão de corda, Feijão de moita), Norte (Feijão de praia), Bahia (Feijão Catador), Bahia e norte de Minas Gerais (Feijão gurutuba), Maranhão (Tropa-pau), Bahia e Rio de Janeiro (Feijão Fradinho) e no Sul (Feijão Miúdo). Em outros países: Paraguai (Cumondá), EUA e Nigéria (Cowpea) e países latino americanos de língua espanhola (Parotro). No Brasil a produção de feijão-caupi esta inserida no total da produção nacional (SEAB, 2013; FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

O termo caupi foi estabelecido em substituição aos demais nomes, em reunião internacional e muitos periódicos de revistas e autores adotaram esta denominação (OLIVEIRA, 1993). O nome feijão-fradinho é conhecido no Estado do Rio de Janeiro e

pertence a uma subclasse, cultivada principalmente nos Estados da Bahia e do Rio de Janeiro, segundo classificação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2002). Registra-se na figura 2, o aspecto de sementes de feijão-caupi.



Figura 2: Aspectos das sementes comestíveis de Feijão-caupi (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Existem quatro espécies de feijão-caupi, a *unguiculata*, que é a forma mais comum, a *biflora* ou *catjang*, que é caracterizada por pequenas vagens eretas e é encontrado principalmente na Ásia, a *sesquipedalis*, também localizada na Ásia e se caracteriza pela sua casca e a *textilis*, situada na África Ocidental, e é empregada para a produção de fibras (EHLERS & HALL, 1997).

Os nomes das cultivares locais são dados geralmente em função de alguma característica que se destaca na cultivar, como cor ou forma dos grãos. Assim cultivares diferentes que têm a mesma característica marcante, geralmente, recebem o mesmo nome. Com base na portaria nº 85, de 06 de março de 2002, anexo XII, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o feijão-caupi pertence ao Grupo II (feijão de corda, feijão-caupi ou feijão-macassar, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp) que possui as seguintes classes: Branco, Preto, Cores e Misturado (BRASIL, 2002).

Para fins de classificação dos cultivares locais podem ser estabelecidos os seguintes grupos: Mulato - cultivares com grãos de tegumento marrom, claro a escuro e com variação de tamanho e forma. Canapum – cultivares com grãos de tegumento marrom claro, grandes, com largura, comprimento e altura aproximadamente iguais. Sempre-verde – cultivares com grãos de tegumento esverdeados. Branco – cultivares com grãos de tegumento branco, liso, sem ou com hilo pequeno, com tamanhos e formas variados. Brancão – cultivares com grãos

de tegumento branco, rugoso, reniforme, sem hilo e grandes. As plantas deste grupo são prostradas e as vagens tocam o solo, exigindo maior esforço do apanhador, por isso é chamado também de Quebra-Cadeira. Vagem roxa – cultivares com vagem madura de cor roxa, geralmente grãos brancos, muito usados para produção de feijão verde. Manteiga – cultivares com grão creme amarelado. Na tabela 5 esta representada a classificação das cultivares locais quanto a cor e tamanho dos grãos de feijão.

Tabela 5- Classificação das cultivares quanto a cor e tamanho dos grãos de Feijão.

Cultivares	Cor dos grãos	Tamanho
Mulato	marrom, claro a escuro	variados
Canapum	marrom claro	comprimento e altura iguais
Sempre-verde	esverdeados	-
Branco	brancos	variados
Brancão	brancos	grandes
Vagem roxa	Roxa e brancos	-
Manteiga	creme amarelado	-

(BRASIL, 2002)

Desses grupos os mais numerosos e com maior variação de tipos de grãos são o Mulato e o Branco, porém os de maior valor comercial são o Brancão e o Sempre-verde. Além dos grupos citados há outros que ainda não são cultivados na região Meio-Norte mas, que são importantes: **Fradinho-** cultivares com grãos brancos e com grande halo preto. Idêntico ao tipo *Blackeye*, o mais cultivado e comercializado nos EUA, tanto como grão seco como enlatado, considerado adequado para o comércio internacional. **Verde-** cultivares com grãos de tegumento verde. **Preto-** cultivares com grãos de tegumentos pretos. **Carioca-** cultivares com grão de tegumento marrom com estrias longitudinais mais escuras, semelhante ao tipo carioca do feijão mulatinho. **Feijão de metro-** cultivares com vagens longas, tenras, e de polpa espessa, consumidas em forma de salada. Existem diversos tipos de feijões, com tamanhos, cor e sabor diferentes (BRASIL, 2002).

2.5.3- Importância econômica do Feijão-caupi

Em termos de mercado, a cultura do caupi é bastante versátil, sendo comercializada na forma de grãos secos, vagens e grãos verdes ou frescos (feijão verde) e farinha para acarajé. Em outros países, todas as partes da planta (raiz, hastes, folhas, vagens e grãos) são aproveitadas para consumo humano. Além disso, a composição de nutrientes digestíveis; o rendimento de grãos, massa verde e massa seca, permitem também sua utilização como forragem verde, feno, ensilagem, pastagem, farinha para alimentação animal e ainda na rotação de culturas e adubação verde, visando a recuperação da fertilidade dos solos (FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

Os grãos de caupi também são bastante apreciados por seu sabor e cozimento mais fácil, sendo utilizado em pratos típicos da culinária nordestina (FERREIRA & SILVA, 1987; OLIVEIRA & CARVALHO, 1988; SILVA & OLIVEIRA, 1993). Em alguns países da África, o caupi já é utilizado para a produção de farinha, sendo usado na preparação de pães, biscoitos, pizzas, entre outros. A comercialização, na forma enlatada, ainda não é empregada no Brasil (FILGUEIRA, 2005). As principais refeições preparadas com feijão-caupi no Rio de Janeiro são a salada de feijão-fradinho, feijão com lingüiça e sopa com legumes, além do feijão cozido tradicional.

No Brasil, o feijão-caupi é cultivado predominantemente no sertão semiárido da região Nordeste e em algumas áreas do Norte, notadamente onde se instalaram imigrantes nordestinos, constituindo-se em um dos principais componentes da dieta alimentar nestes locais, especialmente na zona rural, onde se concentra a população de baixo poder aquisitivo (RIBEIRO *et al.*, 2007; FREIRE FILHO *et al.*, 2005a). No nordeste, os grãos de caupi são o preferido pela população em detrimento do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*), respondendo por um consumo de 73% dos feijões comercializados na região (GRANGEIRO *et al.*, 2005).

2.5.4- Composição proximal do Feijão-caupi

A composição centesimal ou proximal de um alimento refere-se à porcentagem em massa de seus cinco componentes principais que são: água, cinzas, proteínas, lipídios e carboidratos. Essa composição é determinada levando em consideração que o alimento é composto somente por estes cinco componentes e, desse modo, a soma das porcentagens destes componentes totaliza 100% (TOGNON, 2012).

A composição proximal do feijão proporciona vários benefícios à saúde, sendo por isso, indicado na prevenção e no tratamento de várias doenças, além de preencher as principais recomendações para a saúde como o aumento do consumo de fibras, ferro, amido e

outros carboidratos complexos e diminuição no consumo de lipídios e sódio (GEIL & ANDERSON, 1994). Os grãos de caupi são especialmente valiosos como fonte de proteínas, na redução de LDL (lipoproteína de baixa densidade), por apresentar adequado aporte de aminoácidos, vitaminas e minerais incluindo folato, tiamina e riboflavina, ser digerido mais lentamente que outros cereais e tubérculos e apresentar um baixo índice glicêmico (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2003; EMBRAPA, 2003; PHILLIPS *et al.*, 2003).

O principal componente presente na maioria dos alimentos, quando se avalia a composição é a água onde estão dissolvidas a maioria das outras substâncias nutrientes encontradas nos alimentos (FENNEMA, PARKIN & DAMODARAN, 2010). Na composição centesimal de um alimento a água é referida como o teor de umidade, que se determina através da secagem do alimento de interesse e medindo de forma indireta a massa de água perdida durante este processo.

Os teores de umidade encontrados em grãos crus de feijão-caupi por alguns pesquisadores foram de 6,44% (RODRIGUES, 1986); 10,10% (MAFRA, 1977) e 15,07% (ALENCAR, 1997).

Em estudos de Soares e colaboradores (2008) foi observado percentual de umidade em feijão-caupi cru de 9,9%.

Cinzas

As cinzas de um alimento são o resíduo obtido quando se aquece a amostra alimentar a uma temperatura extremamente elevada, em torno de 550-570°C. As cinzas abrangem a parte inorgânica do alimento, isto é, os elementos químicos presentes na constituição do alimento. Tais elementos químicos se constituem fundamentais na dieta humana, pois são necessários para a manutenção de condições metabólicas saudáveis. As cinzas constituem a fração mineral dos alimentos, formadas pelos micro e macronutrientes os quais possuem relação direta com o solo onde o grão foi cultivado. Em produtos vegetais a determinação de cinzas apresenta pouco valor, pois o teor de cinza nesses produtos nos fornece pouca informação sobre sua composição, uma vez que seus componentes minerais são muito variáveis e, essa determinação fornece apenas uma indicação da riqueza da amostra desses elementos em geral (SILVA, 1990).

É importante ressaltar que, nem sempre, o resíduo obtido na determinação de cinzas representa toda a parte inorgânica presente no alimento, uma vez que alguns sais podem sofrer volatilização durante o aquecimento a altas temperaturas (AOAC, 2005). Entretanto, o conteúdo de cinzas de uma amostra alimentar fornece uma indicação da quantidade total de

elementos químicos presentes em um dado alimento, mostrando o seu potencial nutritivo em relação aos elementos químicos essenciais ao organismo humano (TOGNON, 2012).

Em um estudo realizado por Diniz e colaboradores (2001) foram encontrados teores de cinzas em feijão-caupi variando de 1,77% a 1,27%, em grãos crus.

No trabalho de Maia e colaboradores (2000), Preet & Punia (2000); Iqbal e colaboradores (2006) foram encontrados valores na literatura para o conteúdo de cinzas em grãos de feijão comum de 4,8 a 3,2 g/100 g.

Proteínas

As proteínas são macromoléculas formadas pela união de aminoácidos e se diferenciam de acordo com os tipos, quantidades e modos de encadeamento dos aminoácidos. Nos alimentos as proteínas apresentam funções estruturais e enzimáticas, e são nutricionalmente importantes, pois são consideradas fontes dos aminoácidos essenciais, isto é, aqueles que o organismo humano não consegue produzir e necessitam ser adquiridos por meio da dieta. A determinação do conteúdo protéico de um alimento baseia-se na medida do teor de nitrogênio que é realizada, geralmente, pelo processo de digestão *Kjeldahl* (TOGNON, 2012).

Os grãos de caupi contém, aproximadamente 20-30% de proteína em sua composição, sendo superior aos feijões comuns (*Phaseolus vulgaris*) que possuem em média, 20% de proteínas (MARINHO *et al.*, 2001). Apesar do alto teor de proteínas, existem fatores que afetam negativamente a qualidade nutricional das proteínas das leguminosas como, gênero, espécie, variedade botânica, concentração de fatores antinutricionais, tempo de estocagem, tratamento térmico (BRESSANI, 1993; CRUZ *et al.*, 2003).

Carvalho e colaboradores (2012), analisaram cultivares de feijão-caupi quanto ao conteúdo de proteínas e encontraram valores para BR-17 Gurguéia, BRS Guariba, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique de 23,9g; 22,7g; 24,8g;17,7g respectivamente.

Em um estudo sobre a composição do feijão-caupi, para o cultivar BRS Milênio, Frota e colaboradores (2008) obtiveram teor de proteínas de 24,5g.

Lipídios

Os lipídios são compostos orgânicos energéticos, contendo ácidos graxos essenciais ao organismo humano e atuam como transportadores das vitaminas lipossolúveis. Os lipídios são substâncias insolúveis em água, solúveis em solventes orgânicos, como éter, clorofórmio, acetona, dentre outros (AOAC, 2005). Os lipídios desempenham importante papel na qualidade dos alimentos, pois contribuem com atributos como textura, sabor, nutrição e

densidade energética (FENNEMA, PARKIN & DAMODARAN, 2010). A determinação de lipídios em alimentos é feita, na maioria dos casos, pela extração com solventes, por exemplo, o éter. Quase sempre se torna mais fácil fazer uma extração contínua em aparelho do tipo *Soxleht*, seguida da remoção por evaporação ou destilação do solvente empregado. O resíduo obtido não é constituído unicamente por lipídios, mas por todos os compostos que, nas condições da determinação, possam ser extraídos com o solvente (AOAC, 2005).

O conteúdo de lipídios de leguminosas é muito baixo, varia de 1,5 a 2,0%, podendo oscilar de acordo com o genótipo, origem, localização, clima, condições ambientais e tipo de solo no qual elas no qual elas crescem (OLUWATOSIN, 1998).

Em estudos de Carvalho e colaboradores (2012), os cultivares de feijão-caupi apresentaram teores de lipídios para BR-17 Gurguéia, BRS Guariba, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique de 1,0 g; 1,4 g; 1,2 g; 1,3g respectivamente.

Frota e colaboradores (2008) analisaram a composição do feijão-caupi para a cultivar BRS Milênio e encontraram valores de 2,2 mg/100g para lipídios.

Giarni (2005), estudando a composição química de variedades de caupi cru, encontrou valores para lipídios, variando de 2,2 a 1,3%.

Estudos de Oluwatosin (1998) mostraram teor de lipídios de 1,5 a 2,0 g/100g, enquanto Preet & Punia (2000), apresentaram valores de 1,8 a 2,0 g/100g, sendo esta variação típica das leguminosas (ALMEIDA COSTA *et al.*, 2006). Por outro lado, outros autores como Maia e colaboradores (2000), que estudaram o feijão-caupi encontraram maiores variações no percentual lipídico (1,2 a 3,5 g/100g) e Iqbal e colaboradores (2006), por sua vez, obtiveram aproximadamente o dobro do teor lipídico (4,8 g/100g) em relação à cultivar analisada no presente estudo.

Carboidratos

Os carboidratos constituem um conjunto de substâncias (formadas por carbono, hidrogênio e oxigênio) que atuam como fornecedores diretos de energia para o organismo humano. Nos alimentos, os carboidratos se apresentam na forma de diferentes substâncias, tais como glicose, sacarose, frutose, lactose, dentre outros. Nos grãos cereais e, em geral, o principal carboidrato é o amido, um polissacarídeo de glicose formado pela junção de dois outros polissacarídeos, denominados amilose e amilopectina. Existem procedimentos específicos para quantificar alguns desses carboidratos. No entanto, para fins de determinação da composição centesimal de alimentos, o teor de carboidratos é geralmente obtido por

diferença, subtraindo de 100% a soma das percentagens de umidade, lipídios, proteínas e cinzas (TOGNON, 2012).

O conteúdo total de carboidratos em feijões varia de 60 a 65% e o principal constituinte é o amido (GEIL & ANDERSON, 1994). Segundo Della Modesta & Garruti (1981) os teores de carboidratos, em feijões, variaram entre 62,48 e 67,42%. Phillips e colaboradores (2003) encontraram em grãos de caupi, o conteúdo de carboidratos variando de 50-67%.

Fibra alimentar

A fibra alimentar tem sido definida como material vegetal resistente à digestão pelas enzimas digestivas humanas e incluem todos os polissacarídeos não amiláceos, amido resistente e lignina (KUTOS *et al.*, 2003). Esse composto é constituído por uma fração insolúvel em água, formada por celulose, hemicelulose e pectinas insolúveis e lignina e também, por uma fração solúvel em água a qual compreende as substâncias pécnicas, algas, gomas, hemiceluloses solúveis e mucilagens (ÁREAS & REYES, 1996). Além destes compostos, a ação biológica da fibra alimentar também é estendida a proteínas associadas à parede celular e alguns minerais (LOPEZ *et al.*, 1997).

O processamento pode modificar o conteúdo de fibra alimentar, principalmente sua composição e propriedades físico-químicas, tendo diferentes influências fisiológicas sobre o organismo. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre feijões crus e poucas sobre feijões processados (KUTTOS *et al.*, 2003).

O efeito hipocolesterolemiantes do feijão tem sido atribuído comumente ao seu conteúdo de fibras (ANDERSON *et al.*, 1999). Além de ser uma fonte proteica, o feijão-caupi é uma fonte de fibra dietética composta geralmente de celulose, polissacarídeos não amiláceos e lignina com valor médio aproximado de 18 g em 100 g de sementes. Essa característica torna o feijão-caupi um alimento funcional onde as fibras, nutricionalmente importantes, auxiliam o trato gastrointestinal, além de auxiliar na redução de índices de colesterol sanguíneo e moderar a resposta glicêmica dependendo do tipo de fibra presente no alimento (DAMODARAN; PARKIN & FENNEMA, 2010).

Segundo o regulamento da ANVISA (BRASIL,1998), o feijão pode ser considerado um alimento com alto teor de fibras, pois sua quantidade ultrapassa o valor mínimo recomendado de 6g de fibras/100g em alimentos sólidos.

2.6-Importância dos minerais para a saúde humana

Os minerais representam uma grande classe de micronutrientes, na qual a maioria é considerada essencial. São elementos inorgânicos que apresentam variados benefícios nutricionais ao organismo humano, amplamente distribuídos na natureza e que desempenham uma variedade expressiva de funções relacionadas à ativação, à regulação e ao controle de vias metabólicas tendo, portanto, grande importância para a dieta. Especialmente em idosos e crianças menores, o consumo baixo de minerais pode diminuir as respostas imunológicas (FREUND, 1979).

O corpo humano contém mais de 24 minerais e que representam, em média, cerca de 4 a 5% do peso corporal de um adulto. Alguns minerais são necessários em pequenas quantidades para funções específicas, como por exemplo o ferro e o cobre na formação de hemoglobina, o iodo na formação de tiroxina e o zinco constituinte da enzima, anidrase carbônica e o hormônio insulina. O conteúdo mineral dos grãos de feijão não pode ser desprezado, principalmente pela considerável presença de minerais como potássio e, principalmente, ferro e zinco (OLOGHOBO & FETUGA, 1983). Existem poucos estudos em nível nacional, identificando situações alimentares e nutricionais de populações, principalmente no que se refere ao consumo de micronutrientes, porém já há estudos em nível regional, relativos ao diagnóstico de desenvolvimento nutricional (VELASQUEZ-MELENDEZ, SALAS MARTINS & CERVATO, 1997).

Aportes adequados de vitaminas e minerais são essenciais à saúde humana e ao desenvolvimento. As deficiências de micronutrientes afetam a saúde de um terço da população mundial, interferindo negativamente no desenvolvimento econômico dos países do hemisfério norte (MANDELBAUM-SCHMID, 2003). Medidas de prevenção de endemias, envolvendo carências nutricionais, levam à busca de dados e subsídios para o real conhecimento de fontes alimentícias com viabilidade econômica para o combate ao problema (HIANE *et al.*, 2003).

2.6.1- Ferro

2.6.1.1- Importância do Ferro na Nutrição Humana

O ferro foi reconhecido como um nutriente essencial há mais de um século. Este mineral é um micronutriente importante que atua no desenvolvimento físico, neurológico, na função imunológica e no desempenho cognitivo de pessoas saudáveis, além de participar do transporte de oxigênio e dióxido de carbono, responsáveis pelo processo de respiração celular (KRAEMER & ZIMMERMANN, 2007; COZZOLINO, 2005). O ferro é considerado um dos

elementos traço essenciais no corpo e o conteúdo total de ferro em um ser humano de 70 kg varia, aproximadamente, de 2,3 a 3,8 g (CARVALHO *et al.*,2006).

O ferro dietético está distribuído em todos os alimentos e é classificado em duas formas, de acordo com seu mecanismo de absorção: ferro heme e ferro não-heme. O ferro heme é encontrado nos produtos de origem animal, e representa 40% do ferro dessa fonte. Os alimentos ricos em ferro de origem animal são carne, peixe, fígado e baço (2,0-6,0 mg/100g). A absorção do ferro heme é alta: cerca de 15 a 30% no indivíduo normal e 35 a 50% naqueles com baixa reserva de ferro (BIANCHI *et al.*,1992).

O ferro não-heme é encontrado entre as fontes vegetais, sendo os principais, leguminosas, nozes e vegetais de folhas verdes que também são boas fontes de ferro. Este ferro, em meio ácido é transportado complexado aumentando a absorção deste na membrana do duodeno, facilitando a sua transferência através das microvilosidades da membrana intestinal. A absorção do ferro não-heme é muito menor que a do heme, variando de 0 a 10%, dependendo de muitos fatores químicos como o estado de oxidação, a solubilidade, o pH do meio e, ainda, dos componentes dietéticos. Os alimentos de origem vegetal contribuem com 90% do total do ferro ingerido nos países desenvolvidos e até 100% nos países em desenvolvimento (BIANCHI *et al.*,1992). A exigência de ferro varia de acordo com idade, sexo, peso e estado de saúde. Um homem adulto requer aproximadamente, 10 mg/dia e uma mulher adulta, 20 mg/dia e ainda, mulheres que amamentam necessitam 25-30 mg de ferro por dia.

O fator mais importante para a deficiência de ferro é a baixa biodisponibilidade do ferro não-heme em alimentos de origem vegetal (GLAHN, CHENG, & WELCH, 2002). Esses alimentos, à base de plantas, são a principal fonte de ferro nos países em desenvolvimento.

Os alimentos de origem animal apresentam uma melhor biodisponibilidade de ferro (até 22% de absorção) do que os de origem vegetal (1 a 6%). As carnes, principalmente as vermelhas e alguns órgãos, sobretudo o fígado, levam vantagem sobre o leite e seus derivados quanto à densidade e biodisponibilidade do ferro. Alguns alimentos contêm quantidades razoáveis de ferro, porém com baixa biodisponibilidade. É o caso da gema de ovo, do feijão, da lentilha, da soja e dos vegetais verde escuros (acelga, couve, brócolis, mostarda, almeirão).

A absorção de ferro dos alimentos de origem vegetal pode ser incrementada se forem consumidos na mesma refeição alguns alimentos como carnes, peixes, frutose e ácido ascórbico (laranja, goiaba, limão, manga, mamão, mel, banana, maracujá, pêsego, tomate, pimentão, folhas verdes, repolho, brócolis, couve-flor). Neste caso, deve-se dar preferência

aos alimentos crus e frescos, já que parte da vitamina C é destruída no cozimento (WHO/UNICEF, 1998). Por outro lado, ovos, leite, chá, mate ou café dificultam a absorção de ferro, por conterem substâncias que formam precipitados insolúveis com o mesmo.

Estudos de Moreira-Araújo, Frota, Meneses, Martins & Morgano (2006), para o feijão-caupi, mostraram que na cultivar BR3-Tracueteua, foi encontrado teor de 4,5 mg/100g para ferro.

Frota e colaboradores (2008) obtiveram teores de ferro de 0,068 mg/100g em um estudo sobre a composição do feijão-caupi, para o cultivar BRS Milênio.

Segundo Canniatti-Brazaca & Silva (2003) o teor de ferro em leguminosas pode variar de 6,8 (feijão guandu) a 15,3 mg/100g (soja). Segundo os autores esta variação pode estar relacionada com diferenças de clima, condições do solo, variedade, dentre outras características.

2.6.1.2- Absorção e Metabolismo de ferro

O balanço de ferro é controlado, de início, pela absorção intestinal. No entanto, o mecanismo envolvido ainda não está completamente elucidado. O processo de absorção se divide em três fases. Na primeira, inicialmente o ferro solúvel é captado pela célula da mucosa, na superfície apical, envolvendo receptores específicos, como transportador de metal bivalente DMT-1 (*divalent metal transporter-1*) para o ferro não-heme e, por receptores não identificados de ferro heme, que promovem sua absorção como metaloporfirina intacta. Na segunda fase, dentro da célula da mucosa, o ferro heme sofre ação da heme oxigenase, liberando o ferro da porfirina, seguido da incorporação do ferro em compartimentos funcionais ou de armazenamento, como a ferritina. E, na última etapa de absorção, o ferro é transportado para o plasma através da membrana serosa, possivelmente envolvendo um homólogo da ceruloplasmina ou, é removido do organismo, quando a célula intestinal é descamada (COZZOLINO, 2005; ROUGHEAD, 2002).

A absorção de ferro é afetada, de forma significativa, através da mucosa intestinal, pela concentração e natureza química do ferro ingerido nos alimentos. A absorção do ferro também é influenciada por outros fatores como o estado nutricional de ferro do organismo e a taxa de produção de células vermelhas sanguíneas, que podem aumentar ou diminuir sua biodisponibilidade. Quando os níveis de ferro absorvido pela dieta são adequados, a mucosa intestinal regulariza a sua absorção para manter constante o conteúdo de ferro do organismo. Desta forma, apenas valores entre 5 e 10% do ferro ingerido são absorvidos diariamente. Na deficiência de ferro, sua absorção pode aumentar de 10 a 20% ou até 30% (CANÇADO &

CHIATTONE, 2002) e, se as reservas de ferro no organismo estiverem reduzidas ou caso a eritropoese seja acelerada, sua absorção pode variar de 25 a 50% (KUSHNER, 1993).

Estudos de Brito, Barreto & Silva (2003), verificaram que o feijão é a principal fonte de ferro na dieta de indivíduos 7 a 17 anos em função do custo do consumo da carne vermelha. Embora os produtos de origem animal apresentem um potencial de absorção de ferro, eles são considerados de alto custo, especialmente para populações de baixa renda.

2.6.1.3- Recomendações Nutricionais de ferro

Recomendações nutricionais são as quantidades de energia e nutrientes que devem conter os alimentos consumidos para satisfazer as necessidades de quase todos os indivíduos de uma população sadia. Baseiam-se nas cifras das necessidades, corrigidas pela biodisponibilidade, as quais se adicionam a quantidade necessária para cobrir a variabilidade individual e, no caso de alguns nutrientes, acrescenta-se também uma quantidade adicional como margem de segurança (VANNUCCHI *et al.*, 1990). As necessidades de ferro podem ser determinadas em termos da quantidade que se deve absorver para repor as perdas do organismo, e que seja suficiente para cobrir o aumento normal da necessidade, durante o crescimento e a gestação (FAO, 1991).

As quantidades médias diárias de ferro absorvido para os homens adultos e mulheres em idade fértil são cerca de 1,0mg e 1,5mg de ferro, respectivamente. Na gestação, principalmente no segundo e terceiro trimestres, para se preservar o balanço de ferro, são necessários 4 a 5mg de ferro absorvido, diariamente. Na infância, particularmente em períodos de rápido crescimento (6 a 24 meses), e na adolescência, as necessidades de ferro são também elevadas. As necessidades diárias de ferro absorvido para crianças, adolescentes masculinos e adolescentes femininos são 1,0mg, 1,2mg e 1,5mg, respectivamente (CARPENTER, 1992). Na tabela 6 está representado o conteúdo de ferro absorvido por diferentes grupos de indivíduos.

Tabela 6- Conteúdo de ferro absorvido por diferentes grupos de indivíduos.

Indivíduos	Ferro absorvido (mg)
Gestantes	5,0
Mulheres	1,5
Homens	1,0
Crianças	1,0
Adolescentes(feminino)	1,5
Adolescentes(masculino)	1,2

(CARPENTER, 1992).

2.6.1.4- Anemia por deficiência de ferro e suas implicações na saúde

A anemia por deficiência de ferro é considerada, de forma isolada, a mais comum das carências nutricionais do mundo. Porém, apesar de sua significativa prevalência em países desenvolvidos, atinge, essencialmente, expressivos contingentes da população dos países em desenvolvimento. Nestes países, metade dos pré-escolares são anêmicos, comparados a 7% nos países desenvolvidos. De acordo com Roodenburg (1995), a anemia por deficiência de ferro apresenta prevalência global de 51%. A Ásia, onde 60% das mulheres em idade reprodutiva e 40-50% dos pré-escolares e crianças são anêmicos, é responsável por três quartos do total de acometidos mundialmente (HUNT, 2002). Segundo estimativa realizada pela Organização Panamericana de Saúde (OPAS), o Peru representa o país de maior prevalência de anemia da América Latina, seguido do Caribe (57%) e Brasil, onde 35% das crianças, com idade entre 1 e 4 anos, encontram-se anêmicas (NEUMAN *et al.*, 2000). Freire (1998) descreve que no continente americano aproximadamente 94 milhões de pessoas apresentam anemia ferropriva. No Brasil, a proporção de anemia em crianças menores de 2 anos situa-se entre 50 a 83,5%. Estudos apontam elevada prevalência de anemia principalmente em crianças menores de 5 anos, sendo a faixa etária de 6 a 23 meses a de maior risco para o desenvolvimento desta doença.

Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde), nos países em desenvolvimento, 52% das mulheres grávidas e 48% das crianças entre 5 e 14 anos estão anêmicas, o que significa que, aproximadamente, 2 milhões de crianças em idade pré-escolar estão em risco de deficiência de ferro (TEIXEIRA-PALOMBO & FUJIMORI, 2006; COZZOLINO, 2005).

As principais causas são decorrentes de perda sanguínea crônica, perdas urinárias, ingestão e/ou absorção deficiente e aumento do volume sanguíneo. Na anemia ferropriva ocorre uma diminuição dos níveis plasmáticos de ferro e os locais de reserva de ferro dos

macrófagos estão depletados e, portanto, não podem fornecê-lo para o plasma. Conseqüentemente, a concentração plasmática de ferro se reduz a níveis que limitam a eritropoese (BRASIL, 2005a).

A anemia traz inúmeras conseqüências para o organismo de indivíduos de ambos os sexos e de todas as idades. Na infância, essa doença afeta o desenvolvimento ponderal e o aprendizado escolar. Já nos adultos, a principal conseqüência é a diminuição da capacidade produtiva. Em gestantes, os efeitos da anemia por deficiência de ferro incluem maior risco de morbidade e mortalidade maternos e, nos recém-natos, ocorrência de baixo peso ao nascer (WHO, 2005; BRITO *et al.*, 2003). A OMS classifica anemia nutricional, quando a concentração de hemoglobina no sangue é anormalmente baixa em conseqüência da carência de um ou mais nutrientes essenciais, de forma que se consideram anêmicas crianças com níveis de hemoglobina sanguínea inferiores a 11g/dL (TEIXEIRA, NERY & FUJIMORI, 2006).

Não se dispõe, até o momento, de estudo com representatividade nacional que avalie a magnitude da carência de ferro no Brasil. No entanto, vários estudos, realizados em diferentes locais e populações, com metodologias diversas e nem sempre representativos, indicam uma alta prevalência de anemia por deficiência de ferro, em crianças menores de dois anos, com grande homogeneidade em todo o País (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

2.6.1.5- Estratégias de combate a Anemia

O enriquecimento de alimentos que compõem a dieta das populações-alvo tem demonstrado excelentes resultados no combate à anemia (ZACUL, 2004; TORRES, LOBO & SATO, 1996). A fortificação é aceita como o melhor meio de combater a anemia em pré-escolares (SILVA & CAMARGO, 2006), motivo pelo qual diferentes produtos alimentícios com esta finalidade têm sido desenvolvidos (GAUCHERON, 2000). A biofortificação dos grãos de feijão-caupi, através do aprimoramento de novas cultivares com altos teores de ferro e zinco, é uma ferramenta eficaz no combate à anemia ferropriva e no fortalecimento do sistema imunológico das populações carentes do Nordeste brasileiro (ROCHA *et al.*, 2008a). Os alimentos ricos em ferro e zinco podem ser incluídos na alimentação de crianças menores de cinco anos (BARRETO *et al.*, 2009).

Leguminosas são consideradas fontes de proteínas de baixo custo quando comparadas as de origem animal, além de fornecerem quantidades adequadas de ferro. O feijão, além de apresentar essas características, é de fácil aceitação, compõe o cardápio diário de muitos brasileiros e ocupa o terceiro lugar entre os alimentos mais consumidos, perfazendo o total de

11,2% das calorias ingeridas por dia (DE MOURA & CANNIATTI-BRAZACA, 2006). A quantidade de ferro encontrada no feijão se torna relevante uma vez que, no Brasil, a incidência de anemia ferropriva é muito elevada e seu consumo pode auxiliar no combate à doença (DE MOURA & CANNIATTI-BRAZACA, 2006).

Moreira-Araújo e colaboradores (2006) encontraram no feijão-caupi para o cultivar BR3-Tracueteua o teor de ferro de 4,5 mg/100g.

Uma outra alternativa para que as populações possam ter alimentação adequada e disponível encontra-se na agricultura familiar, que desempenha importante papel sócio-econômico (IBGE, 2006). Segundo dados do último Censo Agropecuário de 2006 (IBGE), a agricultura familiar é responsável por garantir a segurança alimentar do país, pois responde por 70% da produção nacional do feijão, mesmo que cultivado em área menor em relação à agricultura patronal. E, ainda de acordo com o Censo, é também a principal geradora de empregos, concentrando 12,3 milhões de trabalhadores, correspondendo a 74,4% do total de ocupados no campo.

Na figura 3 está representado o conteúdo médio de ferro e zinco em grãos de leguminosas.

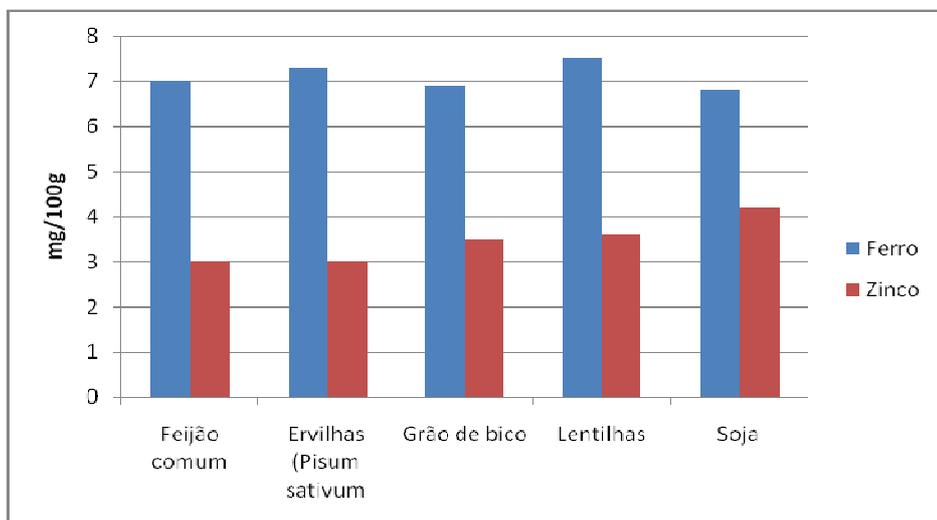


Figura 3: Conteúdo de ferro e zinco (100 g/ base seca) em grãos de leguminosa (Fachmann *et al.*, 2000).

2.6.2- Zinco

2.6.2.1- Importância do Zinco na Nutrição Humana

O zinco é um dos mais importantes micronutrientes da dieta humana, por ser essencial ao desenvolvimento normal e para a função de células imunes, tais como os neutrófilos e as células *natural killer*, para as funções de linfócitos T e produção de citocinas (SHANKAR &

PRASAD, 1998). Este mineral está envolvido na atividade de mais de 300 enzimas e, também, nas funções bioquímicas de biomembranas.

No corpo de um homem adulto de 70 kg existem cerca de 1,4 a 2,3 g de zinco. O micronutriente é distribuído em todos os tecidos e fluidos corporais em concentrações relativamente elevadas, com 85% do zinco corporal total, nos músculos e ossos, 11% na pele e fígado e o restante em outros tecidos (CALESNICK & DINAN, 1988). Boas fontes de zinco na dieta são o fígado, o leite e produtos lácteos, os ovos, os cereais não moídos, as leguminosas, as oleaginosas, as leveduras e as verduras como o espinafre e a alface (AMAYA *et al.*, 1997). Os alimentos que apresentam o zinco na sua forma mais biodisponível são as carnes, principalmente vermelhas e de aves. Como a ingestão destes elementos é geralmente baixa em crianças, em função de um consumo aumentado de alimentos a base de cereais e leite, estima-se que indivíduos desta faixa etária possam ser bastante afetados pela carência do mineral. Essa hipótese levou a indústria norte-americana a fortificar com zinco vários alimentos para bebês e crianças, como, por exemplo, o leite (HALSTED, 1972).

A ingestão dietética recomendada de zinco é de 8 mg/dia para mulheres e 11 mg/dia para homens adultos (MAFRA & COZZOLINO, 2004). O feijão contém quantidade significativa de zinco mas sua biodisponibilidade pode ser comprometida devido ao alto teor de fatores antinutricionais que limitam a utilização de seu potencial nutritivo para os seres humanos (RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008).

2.6.2.2-Absorção e Metabolismo de Zinco

A absorção de zinco ocorre, principalmente, no intestino delgado, embora os resultados sejam conflitantes em relação ao segmento do intestino delgado com maior capacidade de absorção desse elemento (GISBERT-GONZÁLEZ & TORRES-MOLINA, 1996). A cinética da absorção parece ser por difusão passiva e por processo mediado por carreadores localizados na borda em escova do enterócito. O zinco livre, por sua vez, pode se ligar novamente a outros compostos resultantes da digestão que estão presentes no lúmen, como peptídios, aminoácidos, ácidos orgânicos, fosfatos, prostaglandinas E₂ e F₂, ácido cítrico e ácido picolínico (COZZOLINO, 2005).

2.6.2.3- Deficiência de Zinco

O zinco só se tornou conhecido como essencial aos seres humanos a partir de estudos clássicos de deficiência realizados no Irã e no Egito, na década de 60. A carência foi então identificada em populações desnutridas como a do Oriente Médio (PRASSAD, 1963). Meninos egípcios de baixa estatura, com anemia por deficiência de ferro e maturação sexual

retardada cresceram até 12,7cm em 1 ano de suplementação com zinco e, ainda, apresentaram progressão no crescimento gonadal (PRASSAD, 1988).

As características clínicas da carência de zinco grave em seres humanos são o retardo no crescimento, o atraso na maturação sexual e óssea, lesões de pele, diarreia, alopecia, apetite deficiente, aumento da susceptibilidade à infecções mediadas via defeitos no sistema imunológico, e o aparecimento de alterações de comportamento (HAMBRIDGE *et al.*, 1987).

A deficiência de zinco pode ser prevenida por modificações na dieta, fortificação de alimentos com este nutriente ou suplementação. De acordo com Sena & Pedrosa (2005) o efeito da suplementação sobre o sistema imunológico apresenta melhores resultados em crianças, aumentando o controle de diarreias e infecções respiratórias, bem como favorecendo uma rápida recuperação das funções do sistema imune em crianças com desnutrição energético-protéica. Em adultos, os benefícios são evidentes em pacientes com anemia falciforme, constatando-se uma maior resistência às infecções bacterianas.

Diversos fatores podem conduzir à carência de zinco, entre os quais seu consumo inadequado, consumo excessivo de fitato, nutrição parenteral total, desnutrição energético-protéica, dietas hipocalóricas, alcoolismo, doenças crônicas, dentre outras (COZZOLINO, 2005).

Alguns aspectos de interesse com relação à deficiência de zinco devem ser destacados, como o fato desta carência nutricional ser considerada comum em países em desenvolvimento, sendo apontada como um dos fatores que contribuem para a mortalidade das populações destas localidades. Como exemplo afirma-se que aportes adequados de zinco são considerados importantes no tratamento da doença diarreica. Adicionalmente, a deficiência deste mineral geralmente coexiste com outras, incluindo a de ferro, quadro que pode tornar a suplementação isolada inapropriada para a manutenção da saúde de portadores de anemia ferropriva (SHRIMPTON *et al.*, 2005).

2.6.2.4- Estratégias de combate a deficiência de Zinco

A fortificação parece ser uma estratégia promissora para controlar a deficiência de zinco, em termos de viabilidade técnica, custos, segurança e impacto no total de absorção do mineral. Embora se admita que o enriquecimento é importante, existem atualmente evidências empíricas limitadas sobre os efeitos positivos dos programas de fortificação com zinco. Logo, os impactos, nutricional e de saúde, dos programas de fortificação com este mineral, devem ser rigorosamente avaliados (IZINCG, 2007).

Quanto aos minerais, os conteúdos de ferro e zinco tem sido a ênfase dos programas de biofortificação (FRANCO *et al.*, 2009; BARRETO *et al.*, 2009, ROCHA *et al.*, 2009a,b;

NUTTI *et al.*, 2009). A farinha de feijão-caupi tem sido usada na fortificação de alimentos e na formulação de produtos da panificação (MOREIRA-ARAÚJO, 2009; FROTA *et al.*, 2010).

Em um estudo sobre a composição do feijão-caupi, para o cultivar BRS Milênio, Frota e colaboradores (2008) obtiveram teores de zinco de 0,041 mg/100g.

Andrade e colaboradores (2004) encontraram teores de zinco para grãos crus de feijão-caupi de 3,8 mg/100g.

Na tabela 7 está representado a composição nutricional de feijão-caupi e outros tipos de feijão.

Tabela7- Composição nutricional de Feijão-caupi e outros tipos de Feijão.

Feijão (100 de alimento Cozido/nutriente)	Energia (Kcal)	Proteínas (g)	Lipídios (g)	Carboidratos (g)	Fibras (g)	Ferro (mg)
Feijão-caupi	78	5,1	0,6	13,5	7,5	1,1
Feijão Preto	132	8,8	0,5	23,7	8,7	2,1
Feijão Branco	139	9,7	0,3	25	6,3	3,7
Feijão Vermelho	127	8,6	0,5	22,8	7,4	2,9
Feijão Carioca	76	4,8	0,5	13,6	8,5	1,3
Feijão Rajadinho	143	9,0	0,6	26,2	9,0	2,1
Feijão Roxo	77	5,7	0,5	12,9	11,5	1,4

(TACO, 2004)

2.7- Métodos de análise de nutrientes em minerais

A determinação dos teores de minerais, como ferro e zinco nos grãos de diferentes tecidos das plantas podem ser realizadas por meio de *ICP-OES*, *ICP-MS* (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) ou *AAS* (*Atomic Absorption Spectroscopy*) (ORTIZ-MONASTÉRIO *et al.*, 2007).

Blair e colaboradores (2009) compararam dois métodos de análise para quantificar os teores de ferro e zinco em amostras de grãos de feijão. O objetivo foi validar uma metodologia que apresentasse menor custo em relação ao método de *ICP-OES*, comparando com o *AAS*. As duas metodologias se mostraram confiáveis e apresentaram resultados semelhantes. As estimativas de correlação entre os teores de ferro obtidos pelos métodos *ICP-OES* e *AAS* foi positiva e significativa ($r=0,727$; $P<0,01$). Resultado semelhante foi verificado para zinco ($r=0,828$; $P<0,01$).

2.8- Programas de melhoramento de Feijão-caupi

As deficiências nutricionais de minerais, como ferro e zinco, afetam milhares de pessoas carentes em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento. Diversas

estratégias de intervenção foram realizadas com o objetivo de diminuir os níveis de desnutrição e deficiências nutricionais na população mundial, dentre elas a suplementação, fortificação e a diversificação da dieta. Os suplementos alimentares destinam-se a complementar e fornecer nutrientes à dieta. Já a fortificação tem como princípio a adição de nutrientes nos alimentos e é uma prática adotada pela indústria de alimentos. Entretanto, essas estratégias têm como entrave a sua restrição a populações carentes e os custos envolvidos na sua implementação (WHITE & BROADLEY, 2009).

O desenvolvimento de cultivares melhoradas constitui uma estratégia viável, sustentável e de baixo custo para atingir as populações com acesso limitado aos programas governamentais de saúde, uma vez que as sementes das cultivares com maior valor nutricional poderão ser distribuídas aos pequenos produtores (EMBRAPA, 1994). A oferta de uma boa dieta alimentar pode melhorar a vida das pessoas e prevenir o risco de doenças que podem deixar seqüelas irreversíveis. Iniciativas que melhorem a qualidade nutricional dos alimentos, principalmente aqueles que fazem parte do cardápio da população brasileira, como o feijão, devem ser incentivadas, uma vez que a maioria de grupos carentes não tem acesso aos produtos industrializados fortificados com minerais e vitaminas disponíveis no mercado, em função do alto custo. Assim, torna-se importante avaliar o valor nutricional do feijão e contribuir com os programas de melhoramento genético na obtenção de linhagens com melhores características nutricionais e funcionais que levem a satisfazer os requerimentos nutricionais de diferentes grupos da população (EMBRAPA, 1994).

A biofortificação tem a proposta de minimizar drasticamente a problemática da desnutrição, ao introduzir cultivares que apresentam maior valor nutricional, tais como ferro, vitamina A, iodo e zinco, dependendo do alimento. Seu alvo é a população mais desfavorecida, utilizando mecanismos de distribuição de sementes e de integração com os produtores rurais, a fim de complementar as demais intervenções em andamento (NUTTI *et al.*, 2009). Ao utilizar a biofortificação para aumentar o conteúdo de minerais, é importante relacioná-los ao conceito de biodisponibilidade, sendo esta a fração dos nutrientes ingeridos que é utilizada para as funções fisiológicas normais ou de estocagem.

A biofortificação pode ser uma alternativa para fornecer um alimento com maior teor de ferro disponível para o ser humano (OIKEH *et al.*, 2003). Por meio desta intervenção pode-se atingir as populações rurais que não consomem ou consomem pouco os produtos industrializados fortificados no processamento aumentando, assim, sua abrangência (MAYER *et al.*, 2008). Outra vantagem da biofortificação é que ela apresenta menor custo quando

comparada aos tradicionais programas de suplementação e fortificação de alimentos (NESTEL *et al.*, 2006).

O programa de biofortificação de ferro e zinco em feijão-caupi é liderado pela Embrapa Meio-Norte, localizado na cidade de Teresina, Piauí. Este trabalho começou em 2006, como parte do programa *HarvestPlus* e estuda duas linhagens de feijão-caupi, do Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), na África e que são ricas em ferro e zinco. No ano de 2007, os primeiros testes de ferro e zinco em 42 genótipos de elite do programa de melhoramento de feijão-caupi foram realizados. Esta primeira avaliação destacou as linhagens TE96-290-12G (7,7 mg/100g de ferro e 5,3 mg/100g de zinco) e MNC99-537F-4 (6,0 mg/100g de ferro e 5,1 mg/100g de zinco), com alta produtividade e adaptabilidade às regiões em crescimento. Em 2008, essas duas linhagens de grãos brancos foram lançadas como cultivares comerciais sob os nomes de BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque. No ano de 2009, como parte do programa BioFORT, mais de 40 cepas de feijão-caupi comercial, de grãos verdes, foram avaliadas e a cultivar de grão verde BRS Aracê (6,1 mg/100g de ferro e 4,8 mg/100g de zinco) foi lançada. Em 2010, em resposta a 50 pedidos de diferentes grupos comerciais profissionais para o banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte, 28 cruzamentos entre cultivares brasileiros e africanos ricos em ferro e zinco foram realizados (NUTTI *et al.*, 2009).

Entre 2008 e 2010, mais de 200 genótipos de feijão-caupi no Nordeste (Maranhão, Piauí e Sergipe) e Norte (Roraima) do Brasil foram avaliados e 14 cepas de feijão-caupi apresentaram níveis elevados de ferro e zinco. Os resultados mostraram que a avaliação de cultivares de feijão-caupi biofortificados para ferro e zinco deve considerar o efeito da interação genótipo *versus* ambiente (ROCHA *et al.*, 2011).

2.9- “Hard shell” e “hard-to-cook”

Um dos aspectos mais apreciados no feijão em gastronomia é a sua textura ou maciez. Entretanto essa textura está associada a vários fatores, dentre eles o adequado armazenamento dos grãos (FILGUEIRA, 2005). Os feijões armazenados de forma inadequada tornam-se endurecidos e resistentes ao cozimento devido, principalmente, a dois fatores: o endurecimento da casca, denominado “*hard Shell*”, no qual a casca torna-se impermeável à água, defeito ocasionado pela baixa umidade e alta temperatura e, o efeito, difícil de cozinhar, conhecido como “*hard-to-cook*” ou HTC, um fato comum em países tropicais, como o Brasil (KIGEL, 1999), onde os grãos são capazes de absorver água, mas os cotilédones não amaciam durante o cozimento, mesmo quando completamente hidratados, sendo um processo

irreversível e acelerado por alta umidade e elevadas temperaturas (GARCIA & LAJOLO, 1994; BRESSANI, 1993, RESENDE *et al.*, 2008).

O efeito HTC aumenta o tempo de cozimento do grão, diminuindo sua qualidade e, conseqüentemente, a aceitação por parte do consumidor (COELHO *et al.*, 2008). A água disponível dentro das células tem sido considerada um fator importante no processo de endurecimento do feijão, uma vez que é necessária para a gelatinização do amido e desnaturação da proteína durante o cozimento (COSTA *et al.*, 2001).

Sefa-Dedeh e colaboradores (1978) relataram que o efeito HTC no feijão-caupi cozido diminui com o tempo de imersão, enquanto a imersão aumenta significativamente o amaciamento de feijão preto comum.

2.9.1- Métodos de cozimento

Os feijões, por serem comercializados na forma seca, necessitam ser reidratados antes de serem ingeridos. Os grãos de feijão podem ser reidratados durante o cozimento, mas sugere-se submetê-lo ao processo de imersão ou remolho antes de ser cozido. Esta etapa consiste em deixá-lo mergulhado em água para reidratar, abrandar a textura, amolecer os grãos e acelerar o cozimento (BARAMPAMA & SIMARD, 1995). No preparo domiciliar do feijão, a imersão dos grãos crus em água por doze a dezesseis horas, durante a noite, é uma prática corrente, porém empírica. Em determinadas famílias, a imersão não é empregada, enquanto outras a utilizam, por vezes descartando a água de imersão e, outras vezes, utilizando essa água para o cozimento do feijão (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

A imersão é um processo pelo qual o material biológico é imerso em um recipiente com solução de água, de preferência, acidificada, numa determinada temperatura durante um período de tempo (desde várias horas ou dias), a fim de reduzir o tempo de cozimento e, para aumentar o valor nutricional do produto. É um processo muito usado frequentemente para feijão, grãos e sementes (ORNELLAS, 2007).

Durante o processo de imersão, a água é absorvida pelas células e alterações no pH também ocorrem. A captação de água resulta na ativação das enzimas endógenas, o amolecimento da parede celular, a solubilização de amido e a lixiviação dos componentes solúveis em água para a água de imersão. O impacto do processo de imersão é dependente tanto do tempo e da temperatura, quanto do pH da água de imersão. A imersão ativa as enzimas hidrolíticas da parede celular, resultando na degradação da pectina, diminuindo a rigidez da parede da célula (MARTINEZ-MANRIQUE *et al.*, 2011). À medida que essa parede é menos rígida, ocorre uma maior lixiviação dos componentes solúveis, tais como sais

minerais, mas também fitatos e alguns compostos fenólicos. Uma maior biodisponibilidade de ferro e zinco tem sido observada como resultado da imersão, pois os minerais e fitatos estão localizados na mesma camada de aleurona. Embora isso possa ser visto como um efeito positivo, deve ser observado que o conteúdo destes minerais na água de imersão diminui através do processo de lixiviação.

O processo de imersão e o cozimento dos grãos são etapas separadas que podem ou não ser realizadas juntamente. Em alguns processos, os feijões são imersos até serem completamente absorvidos pela água, enquanto que o calor é introduzido a fim de induzir o amolecimento do grão (TAIWO *et al.*, 1997). No processo de imersão dos grãos de leguminosas, a água de imersão, por vezes é descartada e outras vezes é utilizada para o cozimento do feijão (OLIVEIRA *et al.*, 1999). Durante os processos de imersão e cozimento, sem o aproveitamento da água de imersão, a maioria dos macro e micronutrientes, particularmente, vitaminas e minerais, são perdidos (RINCON *et al.*, 1993; BARAMPAMA & SIMARD, 1995).

A etapa do processo doméstico de preparação do feijão, é realizada colocando-se os grãos crus previamente imersos em água por 12 a 16 horas durante a noite (*overnight*), sendo este procedimento baseado apenas na experiência prática de donas de casa quanto ao seu efeito sobre a redução no tempo de cozimento (RIOS *et al.*, 2003). A recomendação do tempo de embebição dos feijões em água nas cultivares maceradas é de 12 a 24 horas, o que evita que longos períodos de hidratação possam causar contaminações bacterianas (CHIARADIA & GOMES, 1997). Segundo Rodrigues e colaboradores (2005a), o tempo de imersão está diretamente relacionado ao tempo de cozimento, que tende a diminuir à medida que os grãos permanecem imersos. No entanto Taiwo e colaboradores (1997), avaliaram que a imersão da cultivar de caupi (IFE-BPC) não teve nenhum efeito significativo sobre o tempo de cozimento.

Ramirez-Cárdenas (2006) avaliou o efeito do cozimento doméstico, em panela de pressão doméstica por 40 minutos, em relação ao conteúdo de minerais, em cinco variedades de feijão comum cru, cozido sem imersão, cozido com água de imersão e cozido sem água de imersão. Os resultados revelaram que o teor de minerais dependeu da variedade e não do tipo de cozimento. Os teores médios de ferro e zinco no grão cru foram de 7,04 e 3,06 mg/100g, respectivamente; no feijão cozido com a água de imersão de 5,88 e 3,41 mg/100g e, naqueles cozidos sem imersão, de 5,91 e 3,63 mg/100g, respectivamente.

Segundo Goycoolea e colaboradores (1990) os feijões com imersão prévia ao cozimento são mais tenros que os grãos não macerados cozidos durante o mesmo tempo, sendo que os feijões quando absorvem menos água precisam de um maior tempo de cocção.

Lestienne e colaboradores (2005) reportaram que a imersão de leguminosas e sementes de cereais resultou em perda de ferro e zinco na água, mas não de fitato. Portanto, a fim de limitar a perda de mineral, a água utilizada para imersão pode ser utilizada para cozinhar os grãos dos alimentos.

2.9.2- Capacidade de absorção de água

A importância de selecionar cultivares não apenas com potencial produtivo, mas que também apresentem características culinárias desejáveis, como menor tempo de cozimento e alta capacidade de hidratação tem sido alvo de estudos em melhoramento genético (CARBONELL *et al.*, 2003).

Uma das formas para avaliar a qualidade dos grãos de feijão é por meio da quantidade de água absorvida em um determinado tempo. O princípio baseia-se que, quanto mais rápida a absorção de água, maior é a capacidade de cozimento e alguns estudos têm mostrado correlação positiva e alta entre a quantidade de água absorvida e a capacidade de cozimento (COSTA *et al.*, 2001).

A absorção de água é definida como um balanço entre a taxa de água que é absorvida e aquela na qual os sólidos solúveis são perdidos. Ao final do tempo de hidratação, quando a absorção de água é baixa, a perda de sólidos deve ser maior nos feijões com alta umidade, para mostrar a perda de sólidos (HINCKS & STANLEY, 1986).

Diversos trabalhos em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) apontam que as determinações da capacidade de hidratação dos grãos antes do cozimento podem ser um bom indicativo do tempo de cocção, ou seja, o menor tempo de cocção está diretamente relacionado à rápida absorção de água (capacidade de penetração de água nos grãos), que pode ser causado pela impermeabilidade do tegumento do feijão à água, causando uma hidratação mais lenta durante o cozimento (STANLEY & AGUILERA, 1985; GARCIA-VILELA & STANLEY, 1989; PHLAK *et al.*, 1989; DALLA CORTE *et al.*, 2003), RODRIGUES *et al.*, 2005a).

Outro fator estaria relacionado à impermeabilidade dos cotilédones à água, em razão das modificações químicas que ocorrem durante o cozimento (CASTELLANOS *et al.*, 1995). Carbonell e colaboradores (2003); Coelho e colaboradores (2007) encontraram baixa

correlação entre esses dois caracteres, necessitando de avaliações de um maior número de genótipos para validar esses testes de correlação.

Segundo Rios (2000), os grãos de feijão que são colhidos antecipadamente têm maior capacidade de absorção de água e o armazenamento reduz essa capacidade de absorção.

Rodrigues e colaboradores (2005a) avaliaram o comportamento de grãos de cultivares de feijão quanto à capacidade de absorção de água e ao tempo de cozimento, bem como as correlações entre essas características, e concluíram que o tempo de cozimento diminuiu à medida que o tempo de maceração aumentou, tendo assim a capacidade de absorção de água pelos grãos uma correlação negativa e significativa com o tempo de cozimento estimado pelo cozedor experimental de Mattson.

A etapa de cozimento pode ser realizada a diferentes tempos e temperaturas, a pressão ambiente ou sob pressão. No processo sob pressão, o tempo será menor, sem prejuízo das propriedades sensoriais (DELLA MODESTA & GARRUTI, 1981). As temperaturas normalmente empregadas no cozimento sob pressão são de 121°C e de 97-100°C, quando em panela comum, à pressão ambiente (BURR, 1971) sendo que os efeitos provocados pelos vários métodos de cozimento são amplamente abordados na literatura. Diferentes tipos de tratamentos térmicos como o cozimento em panela de pressão, em microondas, assamento, entre outros tratamentos, são aplicados aos alimentos para torná-los palatáveis e para sua conservação.

Romano e colaboradores (2005a) estudaram a relação entre a curva de hidratação e o tempo de cozimento de feijões (*Phaseolus vulgaris*) verificando que as variáveis capacidade de hidratação dos grãos e tempo de cozimento apresentaram correlação negativa nas duas cultivares estudadas, ou seja, à medida que a umidade dos grãos aumentava, o tempo de cozimento aumentava.

O desenvolvimento de metodologias que possibilitem a identificação precoce de linhagens com menor tempo de cozimento torna-se, portanto, indispensável. A capacidade de absorção da água pelos grãos, antes do cozimento, tem sido utilizada, visto que a capacidade de cozimento está relacionada à rápida absorção (GARCIA-VELA & STANLEY, 1989). A avaliação desse teste é de fácil mensuração, rápida e permite o descarte de linhagens indesejáveis mesmo nas primeiras gerações segregantes (COSTA *et al.*, 2001).

Por outro lado, correlação positiva entre a capacidade de absorção da água pelos grãos e o tempo de cozimento foi relatada em genótipos desenvolvidos nos programas de melhoramento do Brasil (SCHOLZ & FONSECA JÚNIOR, 1999a; SCHOLZ & FONSECA JÚNIOR, 1999b; DALLA CORTE *et al.*, 2003). Por outro lado, a utilização do teste da

capacidade de absorção da água pelos grãos, como indicativo do tempo de cozimento, tem sido questionada devido à baixa correlação encontrada (CARBONELL *et al.*, 2003).

Segundo Carbonell e colaboradores (2003), a identificação de linhagens com menor tempo de cozimento, rápida capacidade de hidratação, com tegumentos que não se partam durante o cozimento e com alta expansão volumétrica após o cozimento, são características desejáveis na escolha de cultivares de caupi.

No Brasil, desde 2006, as linhagens desenvolvidas pelo programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte têm sido avaliadas, também, para o tempo de cozimento, gerando cultivares que apresentam, após embebição dos grãos em água por cinco horas, de 13 minutos (BRS Tumucumaque, ano 2009) a 22 minutos (BRS Xiquexique, ano 2008) de tempo de cocção.

2.9.3- Tempo de cozimento

O parâmetro qualidade é uma das marcas que difere um alimento e esta qualidade está cada vez mais atrelada à boa aparência que um produto representa, influenciando na escolha e aceitação por parte do consumidor. A perda de qualidade do feijão é demonstrada pelo aumento no grau de dureza do grão, o que ocasiona acréscimo no tempo necessário para seu cozimento, além de mudanças no sabor e escurecimento do tegumento, em algumas cultivares (RIOS *et al.*, 2002).

O tempo de cozimento é um componente importante na qualidade dos grãos de leguminosa. Longos períodos de cozimento são indesejáveis em cultivares de feijão porque é necessária uma quantidade relativamente grande de energia para amolecer os grãos dessas cultivares (YEUNG *et al.*, 2009). A cocção ainda aumenta a maciez do grão, o desenvolvimento do sabor e a inativação de fatores antinutricionais indesejáveis (ORNELLAS, 2007). Concomitantemente, o tempo de cozimento do feijão é fator decisivo para aceitação do produto, tanto pela dona de casa, pelos agricultores, como pela indústria de alimentos. Cultivares cujos grãos apresentam tempo de cozimento mais curto, proporcionam maior economia de tempo, de energia e de gás de cozinha (YOKOYAMA & STONE, 2000).

O equipamento do Cozedor da *Mattson*, que consiste no cozimento de 25 grãos, sob cada pino do aparelho, é considerado uma ferramenta rápida e prática, empregada para avaliar o tempo de cozimento de grãos de feijão. Ele corresponde à pressão exercida pela dona de casa, entre os dedos, para verificar se os grãos estão cozidos e é importante na seleção de cultivares para recomendação aos agricultores (COSTA *et al.*, 2001; YEUNG *et al.*, 2009;

PROCTOR & WATTS, 1987). O tempo de cozimento deve ser o mais próximo possível do tempo em que a dona de casa precisa para cozinhar o feijão (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Segundo o trabalho de Proctor & Watts (1987), o tempo de queda de 23 dos 25 pinos, que representa 92% dos grãos cozidos, deve ser usado como valor do tempo de cozimento, pois permite uma aceitável textura para cocção e o grau de maciez preferido nas análises sensoriais, além de fornecer melhor discriminação entre as amostras.

No entanto, períodos prolongados de cozimento devem ser evitados, pois podem provocar mudanças estruturais em nível celular, ocasionando perda de nutrientes (WASSIMI *et al.*, 1988; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008; PUJOLA *et al.*, 2007). O tempo de cozimento pode ser reduzido com a obtenção de novas cultivares, mas esse processo é demorado e sofre influências da época de produção dos grãos (CARBONELL *et al.*, 2003) e das condições de armazenamento (COELHO *et al.*, 2007). Segundo Burr & Morris (1968), outros fatores também podem influenciar o tempo de cozimento dos grãos de feijão, como a umidade superior a 10%.

3- Retenção de Minerais em feijão

O feijão é um alimento tradicionalmente presente em vários dias do cardápio semanal do brasileiro e fonte de diversos nutrientes essenciais à adequada saúde humana, dentre os quais se destacam as proteínas, carboidratos, minerais e fibras. Para que a disponibilização e aproveitamento desses nutrientes sejam alcançados no organismo é obrigatório o processamento térmico do produto. A composição do alimento e a presença de fatores antinutricionais podem afetar a biodisponibilidade dos minerais. Além disso, a combinação do alimento na dieta como um todo também influencia o aproveitamento dos minerais. Acredita-se que o padrão de acúmulo e retenção de alguns minerais seja o resultado da interação de diferentes fatores tais como: variedades, condições ambientais de cultivo, porção do grão onde se concentra o mineral e sua solubilidade durante a imersão e processamento térmico (BASSINELLO, 2011).

Diferentes métodos de preparo do produto afetam o conteúdo e a retenção mineral, como, por exemplo, o feijão com aproveitamento ou não da água de imersão durante o cozimento, o tipo de utensílio empregado na cocção, tempo de exposição ao calor, dentre outros. Algumas práticas auxiliam na redução das perdas minerais. No caso do feijão, considera-se importante o consumo do grão cozido e do caldo simultaneamente, para potencializar a ingestão mineral. Os minerais perdidos no grão cozido estão presentes na água

do cozimento, sendo que o caldo pode conter até 73% dos minerais do grão cru, dependendo da cultivar e do mineral (BASSINELLO, 2011).

Durante o cozimento várias mudanças ocorrem com o peso de um alimento, como perda de voláteis (principalmente umidade), por exemplo, vegetais cozidos no vapor, ganho de umidade, como no arroz cozido de modo que toda a água é absorvida, há perda de sólidos, mas ganho de umidade, por exemplo, leguminosas cozidas em água que não são completamente absorvidos (MURPHY, CRINER & GRAY, 1975).

Conhecimentos precisos da ingestão de nutrientes de indivíduos e grupos de pessoas requerem informações do conteúdo de nutrientes de alimentos cozidos. Para fornecer informações úteis, estudos de retenção de nutrientes em alimentos deveriam ser planejados tal que as análises sejam feitas comparativamente com amostras cruas e cozidas (MURPHY, CRINER & GRAY, 1975).

3.1- Biodisponibilidade e Bioacessibilidade

3.1.1-Conceito de Biodisponibilidade

O termo biodisponibilidade ou disponibilidade biológica tem sido largamente empregado na área de alimentos e nutrição e pode apresentar várias definições, dependendo da área em que se aplica. Do ponto de vista nutricional, o conceito de biodisponibilidade se traduz na capacidade do nutriente ingerido se tornar parte integrante do organismo que o ingeriu, isto é, como a fração do nutriente em uma dieta ou em um alimento que pode ser utilizada por todo o organismo (BENDER, 1987).

Segundo Cozzolino (2005) o conceito de biodisponibilidade, persistiu por um algum tempo. Entretanto, em 1997, na Conferência Internacional de Biodisponibilidade realizada na Holanda, foi proposta uma nova definição para este termo, que refere-se a fração de qualquer nutriente ingerido que tem o potencial de suprir demandas fisiológicas em tecidos alvos.

O conceito de biodisponibilidade tem evoluído ao longo do tempo, e como resultado, já foi determinado que a biodisponibilidade inclui a acessibilidade para a absorção, a metabolização, a absorção em si, o transporte, a distribuição nos tecidos e a bioatividade. Em outras palavras, a biodisponibilidade avalia a quantidade de um determinado composto libertado do alimento durante o processo de digestão e a sua assimilação, ou seja, corresponde à fração de uma dose oral de um composto ativo que alcança o sistema circulatório (SCHUMANN *et al.*, 1997).

Em 1984, O'Dell já referia-se à biodisponibilidade como a proporção do nutriente nos alimentos que é absorvida e utilizada nos processos de transporte, assimilação e conversão à forma biologicamente ativa (COZZOLINO, 2009).

Segundo Rodriguez-Amaya (2010), a biodisponibilidade refere-se à fração de compostos bioativos ingeridos que se tornam disponíveis para as funções fisiológicas ou para o armazenamento no organismo humano.

3.1.2- Aspectos da Biodisponibilidade

A biodisponibilidade de um nutriente pode ser dividida em três fases: 1- disponibilidade no lúmen intestinal por absorção; 2- adsorção e/ou retenção no corpo e 3- utilização pelo corpo. Vários fatores podem influenciar a biodisponibilidade de minerais, como a eficiência da digestão, o estado nutricional do indivíduo, o tempo de trânsito intestinal e alguns outros nutrientes ou substâncias como as fibras alimentares e o fitato (HOUSE, 1999).

Muitos fatores promotores e inibidores atuam sobre a biodisponibilidade de elementos traço, tais como: forma química do mineral no alimento; ligantes dos alimentos; atividade redox em componentes do alimento; interações entre os minerais e o estado fisiológico do indivíduo (FENNEMA, PARKIN & DAMODARAN, 2008). Dessa forma, o conceito de biodisponibilidade de micronutrientes deve reconhecer todos os fatores importantes, bem como as taxas de utilização do nutriente absorvido e as taxas de trocas e excreção, as quais podem variar consideravelmente, devido a fatores: (i) intrínsecos, ou seja, mecanismos de absorção e processos metabólicos e mútuas interações; (ii) extrínsecos, tais como solubilidade, dimensão de moléculas, efeitos químicos sinérgicos ou antagonistas.

O estudo da biodisponibilidade de nutrientes em importantes alimentos no cenário regional, a exemplo das leguminosas, bem como o desenvolvimento de trabalhos de investigação que visem estimar a biodisponibilidade de nutrientes, tais como os elementos essenciais, são fundamentais para assegurar a segurança alimentar da dieta, uma vez que leguminosas estão presentes na alimentação diária do brasileiro e o consumo desses alimentos deve ser incentivado no Brasil.

Raramente observa-se um valor numérico atribuído à biodisponibilidade, e é conveniente ter cautela com quantidades ostensivamente mensuráveis, utilizadas para impressionar, sem, na realidade, receberem valores (RANG *et al.*, 2003). Dessa forma, muitas vezes podem ser determinados altos teores de minerais, mas esses teores totais não se encontram disponíveis do ponto de vista nutricional (COZZOLINO, 2005).

Além da quantidade de ferro, deve-se levar em consideração a sua biodisponibilidade, ou seja, o quanto do ferro ingerido é absorvido e disponível para ser usado no metabolismo. O ferro de origem vegetal é relativamente pouco absorvido (1 a 6%) quando comparado ao ferro contido nos alimentos de origem animal (até 22%). A dificuldade é que, principalmente nos países em desenvolvimento, alimentos ricos em ferro (fígado, carnes e peixe) não são consumidos em quantidades suficientes por crianças abaixo de dois anos. Desta forma, como estratégias para aumentar o aporte de ferro, recomenda-se a ingestão de alimentos fortificados com ferro ou a suplementação com ferro medicamentoso.

3.1.3-Conceito de Bioacessibilidade

Bioacessibilidade tem sido definida como a fração de um composto que é libertado a partir da sua matriz, no trato gastrointestinal, e assim, torna-se disponível para absorção intestinal, ou seja, isto é para entrar na corrente sanguínea (INTAWONGSE & DEAN, 2008).

Segundo Ruby e colaboradores (1999), a bioacessibilidade de uma substância pode ser definida como a fração solúvel nas condições do trato gastrointestinal e que está disponível para a absorção. Porém alguns nutrientes não necessitam ser digeridos para serem absorvidos e outros, mesmo hidrolisados não podem ser absorvidos (COZZOLINO, 2009).

A bioacessibilidade de minerais pode variar de menos de 1% para mais de 90%, a depender da espécie química. As razões para essa ampla faixa é variada e complexa, desde que muitos fatores interagem para determinar a bioacessibilidade final de um nutriente. Em adição a tais fatores, em alguns casos, os nutrientes absorvidos podem estar em uma forma que não pode ser metabolizada pelo organismo. O ferro pode encontrar-se fortemente ligado na estrutura do quelato absorvido, não havendo liberação do íon metálico às células e incorporação pelas proteínas (FENNEMA, PARKIN & DAMODARAN, 2008).

3.1.4- Fatores que interferem na Bioacessibilidade

A bioacessibilidade de minerais é influenciada tanto por fatores fisiológicos (intrínsecos), como por variáveis da dieta (extrínsecos). A bioacessibilidade sofre influência de fatores que incluem o estado químico do nutriente, a sua liberação da matriz alimentar, as interações com outros componentes alimentares, presença de supressor e outros co-fatores, formação de compostos estáveis que são lentamente metabolizados e assim por diante (PARADA & AGUILERA, 2007).

A presença de fitatos pode alterar significativamente as propriedades funcionais e nutricionais dos alimentos (CHERYAN, 1980). A fitase, que é a principal enzima responsável

pela hidrólise do fitato durante o período de germinação de algumas espécies vegetais está ausente em humanos, fato este que ressalta a relevância antinutricional que os fitatos desempenham, sobretudo no que diz respeito à bioacessibilidade de minerais.

As correlações entre o conteúdo de fitatos e a bioacessibilidade de minerais e outros nutrientes essenciais (proteínas, carboidratos, lipídios, dentre outros) são tão importantes para se avaliar os potenciais nutritivos dos alimentos, que diversos estudos com este enfoque já foram publicados na literatura. Recentemente, em 2010, foi publicada revisão (KUMAR *et al.*, 2010) na revista *Food Chemistry* que abordava o papel dos fitatos na nutrição humana, onde nesta revisão vários trabalhos envolvendo fitatos e minerais.

3.1.5- Estudos de Bioacessibilidade

Meca, Mañes, Font, & Ruiz (2011) estudaram a digestão *in vitro* das micotoxinas em pão de trigo comercial, obtendo uma bioacessibilidade média deste contaminante de 80%.

Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007a) avaliaram a bioacessibilidade de ferro e zinco em grãos cru de caupi e encontraram percentuais de 1,77% e 53%, respectivamente.

Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007b) indicaram que o processamento de alimentos pelo calor pode alterar a bioacessibilidade de zinco. Os autores analisaram a influência do processamento na bioacessibilidade de ferro e zinco em grãos de caupi e encontraram valores para ferro no cozimento em panela de pressão de 3,98%, enquanto que para zinco de 41,5%.

Versantvoort, van de Kamp, & Rompelberg (2004) reportaram um estudo realizado sobre a bioacessibilidade do cádmio em alfaces e rabanetes, que mostrou que a maioria deste contaminante, mas não todo, foi mobilizado da matriz para os sucos durante o processo de digestão. A bioacessibilidade do cádmio nas alfaces foi ligeiramente inferior, entre 49% e 63% em relação à bioacessibilidade de rabanete que se situou entre 63% e 74%.

Sahuquillo e colaboradores (2003) estimaram a bioacessibilidade de ferro, cálcio e zinco em três leguminosas (feijão branco, lentilhas e grão-de-bico), e verificaram percentagens de bioacessibilidade dependentes do tipo de matriz, com valores entre 11% e 60% para o ferro, entre 22% e 47% para o cálcio, e entre 54% e 78% para o zinco.

3.1.6- Efeitos do tratamento culinário/processamento na Bioacessibilidade

Normalmente, o ser humano ingere os alimentos depois de processados e/ou cozidos. Existe uma grande variedade de processamentos e de tratamentos culinários que podem ser, mais ou menos agressivos, de acordo com o fator temperatura e com a adição de outros ingredientes, ao gosto e preferência do consumidor.

Estudos têm mostrado que o processamento influencia na bioacessibilidade de minerais (KRISHNAN, DHARMARAJ & MALLESHI, 2012; HEMALATHA, PLATEL & SRINIVASAN, 2007a e 2007b).

3.1.7-Processo Digestivo

Para o desenvolvimento de um método *in vitro* de simulação gastrintestinal é necessária a compreensão da fisiologia humana. O trato digestivo é constituído pelo tubo digestivo e por glândulas secretoras anexas, tendo como a função de digestão e de barreira seletiva de proteção entre o meio externo e interno. As glândulas secretoras são os anexos e produzem enzimas digestivas por quase toda a sua extensão, desde a boca até o íleo terminal, que degradam as macromoléculas presentes nos alimentos ingeridos, transformando-as em moléculas mais simples, em tamanho e complexidade, portanto mais solúveis no meio intestinal e facilmente absorvidas pela mucosa intestinal.

Resumidamente, o processo de digestão consiste na entrada do alimento pela boca, causando degradação inicial na presença de saliva, com pH de 6,5. O material é então engolido e transportado, através do esôfago, para o estômago em poucos segundos. Pela ação das contrações musculares (peristaltismo), o alimento ingerido é transferido da boca até o estômago. No estômago inicia a digestão de proteínas. As células da parede do estômago secretam pepsinogênio inativo e ácido clorídrico (pH < 2). A presença de ácido clorídrico têm como funções desnaturar proteínas e transformar pepsinogênio em pepsina. A ação da pepsina no estômago pode digerir parcialmente as proteínas (mas não carboidratos e gorduras). O intestino delgado é o principal local onde os nutrientes são absorvidos, incluindo gorduras, carboidratos, proteínas, cálcio, ferro, vitaminas, água e eletrólitos. A água e eletrólitos são absorvidos do alimento no intestino grosso ou cólon. Após a absorção de água e eletrólitos, o material residual passa para o reto (DEAN & MA, 2007).

A maioria dos estudos *in vitro* baseia-se na fisiologia do trato gastro-intestinal e simulam as condições da digestão humana. No lugar da saliva e dos sucos gástrico e duodenal naturais, são utilizadas soluções artificiais que simulam o meio de cada um dos compartimentos digestivos. As soluções simuladoras do trato gastro-intestinal, contêm enzimas, aminoácidos, sais orgânicos e inorgânicos e, ácido clorídrico (FERNANDEZ-GARCIA, CARVAJAL-LÉRIDA & PÉREZ-GÁLVEZ, 2009).

3.1.8-Modelos de Digestão

A escolha de um determinado método está baseado na sua validação, em geral, com base na comparação de resultados de testes *in vivo*, na fidelidade da simulação das condições fisiológicas humanas e, também, na adequação à infra-estrutura disponível. É importante ressaltar que os testes de bioacessibilidade não incluem os microorganismos presentes no trato digestivo e não consideram os mecanismos de absorção que ocorrem preferencialmente no epitélio duodenal. Os métodos *in vivo*, geralmente fornecem resultados mais precisos, porém são mais laboriosos e caros e, por isso, estratégias de procedimentos *in vitro* tem sido desenvolvidas (BOISEN & EGGUM, 1991).

O primeiro modelo de digestão *in vitro* foi introduzido por Oomen e colaboradores (2003) e consistia na simulação do processo digestivo em três passos, quer sejam, na boca, estômago e intestino delgado, tendo-se excluído o intestino grosso por não estar envolvido na digestão, absorção de componentes. No entanto, este modelo simulava os processos digestivos em condições de jejum, o que não era indicador da absorção de nutrientes no decorrer da alimentação, tendo sido necessário fazer algumas alterações.

A maioria dos modelos de digestão *in vitro* descreve um procedimento de duas (estômago e intestino delgado) ou três etapas (boca, estômago e intestino delgado), uma vez que estes compartimentos são os mais prováveis para determinação da bioacessibilidade e esta é, principalmente, determinada no quimo do intestino delgado (VERSANTVOORT, VAN DE KAMP, & ROMPELBERG, 2004).

As técnicas que podem ser utilizadas para avaliar a biodisponibilidade de ferro são a *in vitro* como a diálise, e as *in vivo* com animais (ratos ou porcos) e humanos. Os testes *in vivo* necessitam de profissionais especializados e infra-estrutura específica para a sua realização, além de possuírem tempos de execução e custos elevados (BOSSO & ENZWEILLER, 2008; OOMEN *et al.*, 2002). Esses aspectos dificultam a realização destes experimentos, tornando mais atrativo os testes *in vitro*, os quais são realizados por ensaios dentro do laboratório sem a utilização de cobaias. No método *in vitro* ocorre a simulação da digestão do trato digestório. Após esta fase, na diálise, é mensurada a quantidade de ferro que consegue atravessar uma membrana de diálise com poro de tamanho conhecido, sendo denominado ferro dialisável (MILLER *et al.*, 1981; HEMALATHA *et al.*, 2007).

Existem diversos métodos empregados para a determinação da bioacessibilidade. A metodologia usada por Luten e colaboradores (1996) é o método de escolha na determinação da bioacessibilidade de ferro e zinco e outros minerais em alimentos. Esta metodologia tem

sido bastante empregada em vários estudos (KRISHNAN, DHARMARAJ & MALLESHI, 2012; HEMALATHA *et al.*, 2007; DE MOURA & CANNIATTI-BRAZACA, 2006).

Na prática, para o estudo destas metodologias, alguns fatores merecem atenção, dentre eles, a temperatura, que, durante as análises, devem ser realizadas na mesma temperatura corporal, ou seja, 37 °C. A agitação das amostras visa imitar os movimentos peristálticos do esôfago. O compartimento oral, devido ao curto período de tempo que o alimento permanece na boca, é etapa opcional. No entanto, se for incluída, o alimento deve ser submetido à saliva com pH 6,5, por cerca de 2 minutos. O compartimento estomacal, onde a amostra deve ser submetida à pepsina e ao ácido clorídrico em pH entre 1 e 4 por cerca de 3 h e o compartimento intestinal (delgado), ao qual a amostra deve ser submetida a sucos intestinais com pH de 4 a 7,5, por cerca de 7 h.

3.2- Programas de Biofortificação na determinação da Bioacessibilidade

No Brasil, os projetos *HarvestPlus*, Agrosalud e BioFORT, em parceria com diversas universidades, são coordenados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Assim, todas as linhagens promissoras com altos conteúdos de micronutrientes, obtidas pela técnica de biofortificação, exigem que sejam conduzidos estudos de bioacessibilidade *in vitro*, como primeira etapa para a determinação da biodisponibilidade.

A importância destes estudos, numa primeira etapa, é verificar se a nova linhagem apresentará o mesmo desenvolvimento quantitativo na sua absorção, que apresentou em seu conteúdo nutricional. Hoje é conhecido que a quantidade de carotenóides (pró-vitamina A) presentes nos alimentos não corresponde necessariamente à quantidade absorvida e metabolizada pelo organismo, portanto, esta é uma forma de evitar desperdícios financeiros e humanos em linhagens que não resultarão em boa biodisponibilidade. Para uma melhor resposta na determinação dos valores de bioacessibilidade, faz-se necessária, a compreensão dos fatores que levam à liberação dos compostos da matriz do alimento, até a extensão de sua absorção, bem como a influência na promoção e manutenção da saúde humana.

Feijões contêm quantidades significativas de ferro e zinco (RAMÍREZ-CÁRDENAS, LEONEL & COSTA, 2008), porém sua biodisponibilidade pode ser comprometida devido ao alto conteúdo de fatores antinutricionais que limitam a utilização de nutrientes importantes para o homem (RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). Dentre os fatores antinutricionais destacam-se os fitatos, taninos e fibras que influenciam de forma negativa a biodisponibilidade de ferro e zinco, além do processamento, como o próprio cozimento do

grão. No entanto os taninos não possuem nenhuma influência significativa na bioacessibilidade de ferro e zinco de cereais e leguminosas (HEMALATHA *et al.*, 2007).

O zinco é considerado um micromineral limitante na dieta de populações que tem o feijão como alimento principal da sua alimentação e, avaliar a biodisponibilidade desse nutriente em alimentos é importante devido o fato de que grupos da população, como crianças e gestantes, apresentam ingestão deficiente de acordo com as recomendações preconizadas e, adicionalmente, o estudo da biodisponibilidade permite desenvolver estratégias de planejamento para o combate às carências nutricionais (RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2010).

Com o conhecimento da biodisponibilidade dos minerais, considerando os fatores da dieta e do indivíduo, as recomendações destes nutrientes poderão ser estabelecidas com maior precisão e, desta forma, poderão ser elaborados guias de alimentação específicos para cada país (COZZOLINO, 1997). A importância do estudo da biodisponibilidade de ferro em alimentos se deve ao fato das quantidades ingeridas não atenderem às recomendações dietéticas para alguns grupos populacionais, como crianças, adolescentes e gestantes. A presença de fatores que reduzem a absorção de minerais contribui para o desenvolvimento de certas deficiências nutricionais (HOUSE *et al.*, 2002), como no caso da anemia ferropriva causada pela baixa ingestão e baixa biodisponibilidade de ferro nos países em desenvolvimento, onde as dietas têm por base os grãos e cereais (DEEGAN *et al.*, 2005; MACPHAIL, 2001).

4- Objetivos

4.1- Geral:

Analisar a composição nutricional de cultivares de feijão-caupi submetidos ao cozimento doméstico e experimental, os teores de retenção e bioacessibilidade de Ferro e Zinco nos grãos crus e cozidos com e sem imersão prévia em água.

4.2- Específicos:

- determinar os teores de Ferro e Zinco das cultivares BRS Xiquexique; BRS Tumucumaque; BRS Aracê e das testemunhas BRS Guariba e BR-17 Gurguéia cruas e cozidas;
- verificar o tempo de cozimento doméstico e experimental de grãos de feijão-caupi de distintas cultivares submetidas a diferentes métodos de cozimento;
- analisar a composição em macronutrientes, umidade, cinzas e fibras de grãos de feijão-caupi de diferentes cultivares cruas e após diferentes métodos de cozimento;

- determinar o percentual de *Hard-shell*, a capacidade de absorção de água e a umidade das cultivares cruas;
- analisar os teores de retenção em grãos de feijão-caupi de distintas cultivares submetidos a diferentes métodos de cozimento;
- determinar a bioacessibilidade de Ferro e Zinco das cultivares nos grãos crus e cozidos.

5-Material e Métodos:

As cultivares de feijão-caupi foram cultivadas na Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí e colhidas em 2010. As amostras de feijão-caupi foram fornecidas pela Embrapa Tabuleiros Costeiros Aracaju, Piauí. As análises de determinação dos teores de Ferro e Zinco, a determinação do tempo de cozimento Experimental, a composição em macronutrientes, umidade, cinzas e fibras de grãos de feijão-caupi de diferentes cultivares cruas e após diferentes métodos de cozimento, a determinação da bioacessibilidade de Ferro e Zinco das cultivares nos grãos crus e cozidos foram realizadas no Laboratório de Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, a determinação do tempo de cozimento doméstico, o percentual de *Hard-shell*, a capacidade de absorção de água e a umidade das cultivares cruas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia e Análise Instrumental de Alimentos da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Os grãos foram secos até umidade média de 7 % e em seguida, amostras de 5,0kg de grãos foram acondicionadas em sacos plásticos e enviadas ao Laboratório de Tecnologia – UFRJ, Rio de Janeiro para a execução dos experimentos e a Embrapa Agroindústria de Alimentos para a execução das análises de minerais.

5.1- Cultivares de Feijão

Foram utilizadas amostras de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) dos cultivares BRS Xiquexique; BRS Tumucumaque; BRS Aracê e as testemunhas BRS Guariba e BR-17 Gurguéia. Na figura 4 estão representados as cultivares de feijão-caupi.



Figura 4: Cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*).

5.2-Delineamento dos experimentos:

Cada uma das amostras de 5 Kg de cada cultivar foi subdividida em 4 lotes para os experimentos: a) grão cru; b) grãos cozidos sem imersão prévia em panela comum; c) grãos cozidos com imersão prévia em panela comum; d) grãos cozidos sem imersão prévia em panela de pressão e, e) grãos cozidos com imersão prévia em panela de pressão. As amostras foram conservadas, sob refrigeração, até o momento dos experimentos. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Na figura 5 está representada a esquematização dos métodos de cozimento dos grãos de feijão-caupi.

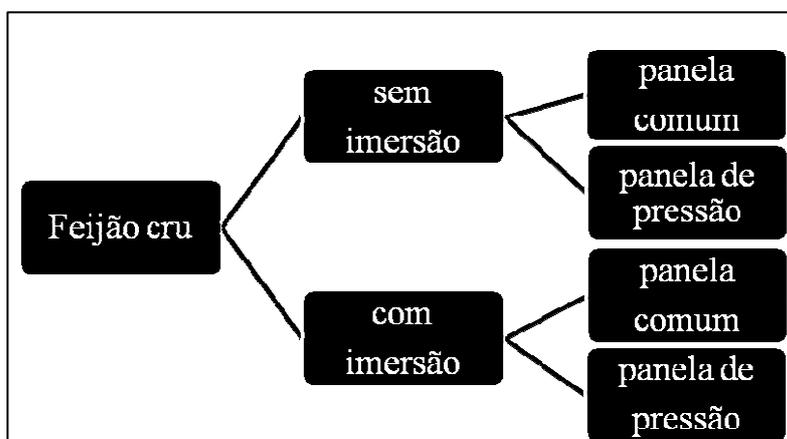


Figura 5: Métodos de cozimento nos grãos de feijão-caupi

5.3- Tempo de Cozimento Experimental:

O tempo de cozimento dos grãos foi realizado no cozedor experimental JAB-77, tipo menor, com 25 estiletes, pesando cada um deles 90g, fabricado pela UNESP – Jaboticabal – SP, o qual se baseia no mesmo princípio do cozedor de *Mattson* (PROCTOR & WATTS, 1987). O equipamento contém receptáculos de metal que mantêm o grão em posição estática e possui duas pequenas aberturas: uma superior e outra inferior, onde os estiletes verticais repousam sobre as porções terminais de cada grão e, penetram após o seu cozimento. Cada receptáculo é atravessado, verticalmente, por um estilete quando o feijão se torna suficientemente macio. Vinte e cinco grãos foram colocados e posicionados nos receptáculos sendo o cozedor, a seguir, colocado em panela de aço inox, com capacidade para 10 litros, contendo 5L de água deionizada, mantendo-se a porção inferior do cozedor imersa em água a temperatura de 104°C. Inicialmente, foi registrado, o momento em que cada estilete penetra o seu respectivo grão.

O tempo de cozimento foi considerado aquele necessário para que 50% dos estiletes penetrassem nos grãos, convencionando-se adotar o tempo da queda do 13º estilete. Os

experimentos foram realizados com os grãos imersos em água, por 12 horas e naqueles não, previamente, imersos. Na figura 6 está representado o Cozedor Experimental, modelo JAB-77.

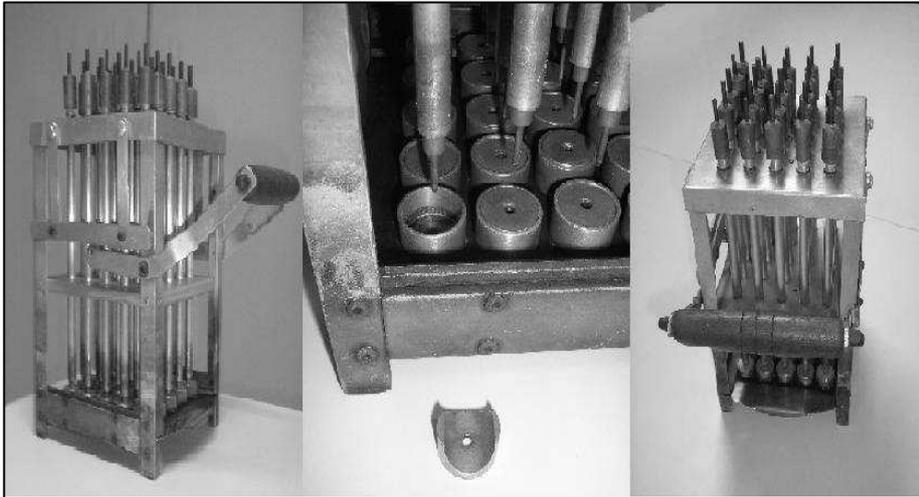


Figura 6: Cozedor Experimental (JAB-77)

5.4- Delineamento dos experimentos com o cozimento doméstico:

Os grãos de feijão-caupi de cada cultivar foram submetidos a quatro diferentes métodos de cozimento: com e sem imersão prévia em água, e cozidos em panela comum semi tampada e em panela sob pressão e codificados como: PCSI- panela comum sem imersão; PPSI- panela de pressão sem imersão; PCCI- panela comum com imersão e, PPCI- panela de pressão sem imersão. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Os grãos de feijão foram imersos em água deionizada, por um período, de aproximadamente, 16 horas, com as panelas tampadas, a temperatura ambiente. Em seguida, foram cozidos aproveitando-se a água imersão.

Para o cozimento dos grãos não imersos previamente em água, foi adicionada água deionizada na proporção de 100 g do grão para um volume de 500 mL de água.

Os cozimentos foram realizados em panela comum semi tampada e, em panela de pressão, ambas com capacidade para 3 litros, revestidas de teflon (marca Panex). Todas as amostras foram congeladas a -18°C até a execução das análises.

5.5- Determinação do *Hard-shell*:

Os grãos normais e os grãos duros (com baixa capacidade de hidratação) em relação ao número total de grãos avaliados foram quantificados por contagem manual. Os grãos foram peneirados (peneira n°12) sendo escolhidos 100 daqueles que ficaram retidos, levando-se em

consideração sua integridade. Posteriormente, foram imersos por 8 horas em água destilada e, após este tempo, aqueles grãos que não absorveram água foram contados. A identificação dos grãos duros foi realizada através da observação do enrugamento da casca e o resultado expresso em % de grãos duros (sem capacidade de hidratação).

5.6- Capacidade de absorção de água:

O método utilizado foi descrito por Garcia-Vela & Stanley (1989) e Plhak e colaboradores (1989) sendo indicados pelas Normas de Registro Nacional de Cultivares de Feijoeiro, segundo o SNPCMAPA (Portaria nº 294/98- Anexo IV). Este método leva em consideração a diferença de peso antes e após a imersão.

Foram pesadas e colocadas em béquer de 500 mL, contendo 100 mL de água destilada, alíquotas de oito gramas (8g) de grãos de cada amostra (cultivar), em temperatura ambiente de 25°C (± 2) por 16 horas, sendo drenados por 3 minutos, a cada 1 hora e, posteriormente, pesados seguidos de retorno à hidratação. A relação de hidratação foi obtida pela fórmula: % água = $[(Pf - Pi) / Pi] \times 100$, onde: % água = percentual de água absorvida; Pi = peso inicial da amostra e, Pf = peso final da amostra.

5.7- Determinação da composição proximal

5.7.1- Umidade

A umidade nos grãos de feijão-caupi crus e cozidos foi determinada por método gravimétrico convencional em estufa a 105°C, conforme o procedimento descrito nas Normas Analíticas Instituto Adolfo Lutz (1985), que se baseia na perda de massa em água da amostra, por dessecação até peso constante. Os grãos de feijão-caupi cozidos congelados foram triturados e secos em estufa a 100°C, previamente à análise de determinação da umidade.

5.7.2- Cinzas

As cinzas foram determinadas por meio da calcinação das amostras em mufla 550°C, segundo o método descrito pela AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*, 2005).

5.7.3- Proteínas

A determinação das proteínas foi realizada segundo o método Kjeldahl, para quantificação de nitrogênio total, descrito pela AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*, 2005) e o conteúdo de proteína foi calculado por multiplicação pelo fator 6,25.

5.7.4- Lipídios

A determinação de lipídios foi realizada por extração em Soxhlet, segundo o método da AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*, 2005) utilizando éter de petróleo como extrator.

5.7.5- Carboidratos

A determinação de carboidratos foi realizada por diferença, sendo subtraído de 100 a soma dos teores de lipídios, proteínas, umidades e cinzas (*Association of Official Analytical Chemists*, 2005).

5.7.6- Fibra Alimentar

A determinação de fibra alimentar foi realizada de acordo com o método 985.29 da AOAC - *Association of Official Analytical Chemists* (2010). O método baseia-se na gelatinização e hidrólise parcial do amido com uma alfa-amilase termoestável, em tampão fosfato. Em seguida, realizou-se a hidrólise da proteína com uma protease (pH 7,5; 60 °C) e a hidrólise do amido residual com uma amiloglucosidase (pH 4,5; 60 °C). Posteriormente, a porção fibra foi precipitada pela adição de etanol 95%, seguido de filtração e lavagem do resíduo com solventes. Após secagem e pesagem dos resíduos, foi feita a determinação de proteínas e cinzas no resíduo. Os valores de proteínas e cinzas devem ser descontados do valor da pesagem dos resíduos

5.8- Determinação de Ferro e Zinco:

Todo material a ser utilizado no experimento foi descontaminado com ácido nítrico (HNO₃) a 10% e água deionizada, e o procedimento, incluindo o manuseio das amostras foram realizados com uso de luva látex isenta de pó. Todas as amostras de grãos de feijão-caupi foram lavadas, sendo esta etapa realizada em peneira plástica pequena, com auxílio de pisete de 500 mL, despejando-se os jatos d'água em movimentos circulares e friccionando-se os grãos com as pontas dos dedos, utilizando 250 mL de água deionizada para cada 100g de grãos de feijão-caupi.

Os grãos crus foram secos em estufa de 60 °C, sem circulação de ar, durante uma noite, por aproximadamente, 16 horas. A seguir, foram moídos, em moinho de bolas (marca RETSCH, modelo MM200) sendo colocados 15 grãos, em cada compartimento com 2 bolas.

A operação foi repetida, até que se obtivesse quantidade suficiente para as análises. Antes de qualquer procedimento analítico, toda a vidraria a ser utilizada foi lavada em água corrente, deixada de molho *overnight*, em solução ácida com HNO₃ a pH < 1,0. Após este tempo, foi deixada de molho em água destilada por mais 4 horas, enxaguada quatro vezes, com água deionizada, a fim de que todo o material fosse devidamente descontaminado

(FERREIRA & GOMES, 1995). O método utilizado baseia-se na digestão, por via úmida, pelo método 999.15D, ítem 9.2.20A da AOAC (2005).

A determinação dos teores de ferro e zinco, nas amostras dos grãos cozidos e dos grãos crus moídos, foi realizada por Espectrometria de Emissão Atômica, com fonte de plasma indutivamente acoplado – ICP (Spectro Analytical Instruments – Spectroflame modelo P), de acordo com o método 990.08, ítem 9.2.39, página 46 - ICP (AOAC, 2005). Foram elaboradas curvas de calibração com a diluição da solução-padrão (*Spectrum* – Solução para ICP), nas concentrações que, provavelmente, foram encontradas.

As curvas (Fe e Zn) foram elaboradas a partir de soluções com concentrações de 50, 100 e 150 ppm em balão de 50 mL, adicionando-se 4 mL de ácido nitroperclórico, completando-se o volume com água deionizada.

5.9- Determinação da percentagem de retenção de Ferro e Zinco

A percentagem da retenção de ferro e zinco foi determinada baseada no método descrito por Murphy, Criner & Gray (1975) e calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Fe/Zn grão cozido (mg.100 g}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{caupi cru Fe ou Zn}) \times (100 - \text{umidade de caupi cozido})}{(100 - \text{umidade de caupi cru})}$$

Diferença = (Fe/Zn mg.100 g⁻¹ em feijões cozido, em base seca) – (Fe/Zn mg.100 g⁻¹ em feijões cozido, em base úmida)

$$\text{Retenção (\%)} = \frac{\text{Diferença} \times 100}{\text{Fe/Zn feijões crus (mg.100 g}^{-1}\text{)}}$$

5.10- Determinação de bioacessibilidade de Ferro e Zinco

A determinação da bioacessibilidade de zinco e ferro foi realizada nas amostras de feijão-caupi de acordo com o método *in vitro* descrito por Luten e colaboradores (1996), envolvendo simulação de digestão gastrointestinal, com modificações adequadas. O experimento baseou-se na simulação da digestão gastrointestinal com pepsina-HCl durante a fase gástrica e sais de bilepancreatina na fase intestinal.

A solução de pepsina foi preparada dissolvendo 16 g de pepsina em 100 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹. A solução de pancreatina e sais biliares foi preparada pela dissolução de 0,5 g de pancreatina e 3,13 g de extrato de bile em 125 mL de NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹. Inicialmente, na etapa gástrica, foram pesadas 10 g da amostra de feijão-caupi, trituradas em um misturador de

ação inoxidável, e transferidas para frasco erlenmeyer de 250 mL e adicionados 80 mL de água destilada. Em seguida o pH foi ajustado para 2,0 com a adição de solução 6M de HCL e posteriormente checado para eventuais ajustes. Foram adicionados 3 mL de solução de pepsina fresca à amostra e, em seguida, homogeneizado e incubado a 37°C em incubadora por 2 horas na rotação de 100-120 strokes por min. Essa etapa simula a digestão do alimento que ocorre no estômago

Após o período de 2 horas, o digerido gástrico foi estocado em gelo por 90 min para titulação. Na etapa da titulação foram pipetados 20 mL de uma alíquota homogeneizada da digestão de pepsina e adicionados 5 mL da mistura de pancreatina. O pH foi ajustado para 7,5, com 0,5M de NaOH para simular o valor de pH encontrado no meio do intestino de um indivíduo. Após o período de equilíbrio de 30 min o pH foi checado e reajustado para 7,5 conforme a necessidade. Anotou-se o volume de NaOH utilizado na titulação. Esse volume de NaOH anotado foi utilizado para a preparação de NaHCO_3 e, assim, colocado dentro da membrana de diálise de tamanho de 10 kDa. O interior da membrana de diálise foi mantido tamponado (NaHCO_3) para que, durante o processo de diálise, não ocorresse mudança brusca de pH e precipitação das proteínas.

Na etapa intestinal foi pipetada uma alíquota de 20 mL da digestão de pepsina e colocados em Erlenmeyer de 250 mL e levadas em banho de água a 37°C por 5 min. As membranas de diálise foram preparadas, colocando 25mL de água destilada e mais a quantidade de NaHCO_3 (a acidez titulável foi definida como a quantidade de 0,2 mol/L de hidróxido de sódio necessária para atingir pH 7,5) dentro da membrana e fechada.

Posteriormente, a membrana de diálise foi pesada e colocada dentro do Erlenmeyer juntamente com o volume da digestão de pepsina. Em seguida, cobriu-se com parafilme e levado a incubadora por 30 min ou até pH 5,0. Após esse tempo, foram pipetados 5 mL de solução de pancreatina dentro do Erlenmeyer e levados a incubadora por mais 2 horas ou até pH 7,0. Posteriormente as bolsas de diálise foram rinsadas com água, cuidadosamente secadas e pesadas. O conteúdo das bolsas de diálise foram transferidos para frascos lavados com ácido e analisados o conteúdo de ferro por ICP. Na figura 7 está representado a etapa de lavagem das membranas de diálise.



Figura 7: Etapa de lavagem de membrana.

5.10.1- Análise de Ferro e Zinco em Feijão-caupi dialisado.

Descrição das metodologias:

Para digestão e quantificação de Fe e Zn nas amostras de feijão caupi dialisados, foram utilizados os métodos descritos nos Procedimentos Operacionais Padrão (POP's) do Laboratório de Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos, acreditado na Norma NBR/ISO 17025:2005.

- Mineralização por micro-ondas de cavidade - POP MIN-008, rev. 06;
- Quantificação: ICP-OES - POP MIN-026, rev. 00.

Foram pesados com precisão de décimo de miligrama cerca de cinco gramas de amostra em tubos de polietileno para rotor tipo Xpress e adicionados 6mL de ácido nítrico P.A. ACS ISO. As amostras foram digeridas em micro-ondas de cavidade, modelo MARS5 (CEM, Estados Unidos) com potência máxima de 1600 W por 15 minutos. O digerido foi transferido quantitativamente para balão volumétrico de 25 mL, completando-se o volume com água ultrapura.

A quantificação de Fe e Zn foi realizada em espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), modelo Optima 2100DV (Perkin Elmer, Estados Unidos), com câmara de nebulização ciclônica e nebulizador concêntrico, com ótica sequencial e visualização da tocha radial e axial. Na tabela 8 estão representadas Condições de operação do equipamento e do método para a quantificação de Fe e Zn.

Tabela 8- Condições de operação do equipamento e do método para a quantificação de Fe e Zn.

Condições de Operação									
Potência RF (W)	1300								
Fluxo do nebulizador (L min ⁻¹)	0,80								
Fluxo do plasma (L min ⁻¹)	15								
Fluxo da amostra (L min ⁻¹)	1,50								
Nebulizador	Concentric MEINHARD® Type C								
Câmara de nebulização	Cyclonic (glass) MEINHARD®								
Elemento	Comprimento de onda (nm)	Vista	Pontos da curva						Unidade
			00	01	02	03	04	05	
Fe	259,939	Axial	0	5	10	20	50	100	µg/kg (ppb)
Zn	213,857	Axial	0	50	100	200	500	1000	µg/kg (ppb)

A bioacessibilidade foi calculada da seguinte forma: bioacessibilidade (%)= 100 x Y/Z, onde Y é o conteúdo do elemento da fração da bioacessibilidade (mg elemento mineral/100g de grãos), e Z é o total de zinco ou de ferro (mg elemento mineral/100g de grãos). Na figura 8 está representado o esquema das etapas da digestão *in vitro*.

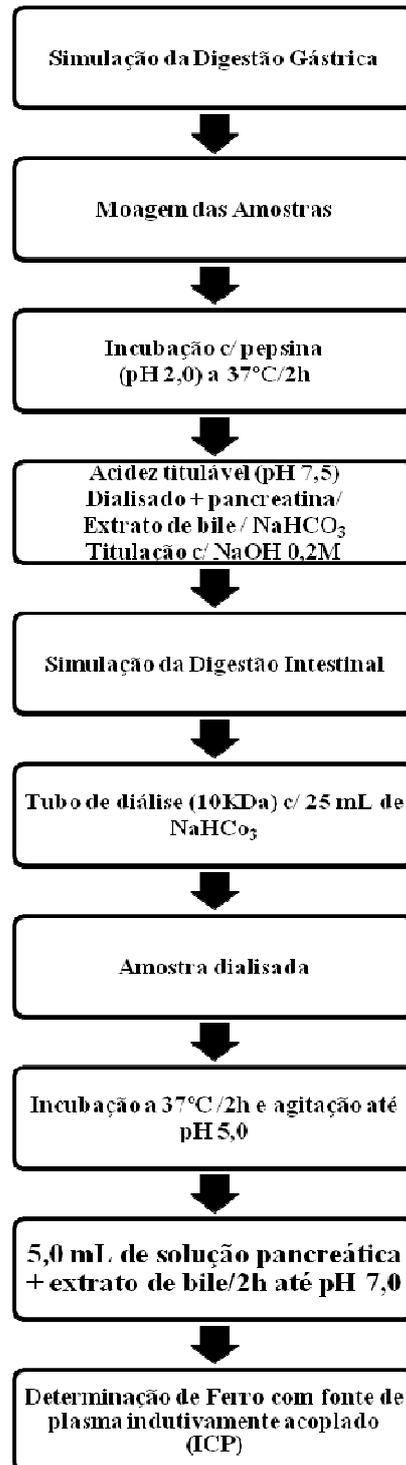


Figura 8: Esquema das etapas da digestão *in vitro*

6. Avaliação Estatística:

Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão de três determinações separadas. Os resultados foram analisados pelo método *ANOVA* (análise de variância), seguidos por teste estatístico de *Tukey*. Valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

7- Resultados e Discussão

Na tabela 9 estão representados os teores de umidade das cultivares analisadas, em relação aos grãos crus, ao cozimento em panela comum e panela de pressão com e sem imersão prévia.

Os resultados revelaram que, nas amostras cruas, os valores de umidade sofreram variação de 10,41% (BRS Aracê) a 8,58% (BRS Guariba).

Em relação aos percentuais de umidade nos grãos cozidos, observa-se que o cozimento em panela comum com imersão apresentou maior conteúdo de umidade para as cultivares BRS Guariba (66,17%), BRS Tumucumaque (68,13%) e BRS Aracê (68,08%) quando comparado ao cozimento em panela comum sem imersão.

No cozimento em panela de pressão sem imersão o maior percentual de umidade foi encontrado na cultivar BRS Tumucumaque (66,36%) enquanto que a BRS Guariba apresentou o menor percentual (59,40%). Já no cozimento em panela de pressão com imersão o maior percentual de umidade foi observado na BRS Guariba (69,48%) e a cultivar BRS Aracê apresentou menor teor (65,04%).

Os teores de umidade encontrados em grãos crus de feijão-caupi em estudos de Rodrigues, 1986, Mafra, 1977 e Alencar, 1997 foram de 6,44%; 10,10% e 15,07%, respectivamente.

Soares e colaboradores (2008) encontraram percentual de umidade em feijão-caupi de 9,9%. Os resultados obtidos em nossos estudos, nas cultivares cruas mostram que os valores de umidade apresentaram perfil semelhante aos trabalhos encontrados na literatura.

Burr & Morris (1968), relacionaram que um percentual de umidade superior a 10% pode influenciar na redução do tempo de cozimento dos grãos de feijão.

Comparando os dois tratamentos, em panela comum com e sem imersão, observa-se que apenas o cultivar BRS Guariba apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$). Em relação ao cozimento em panela de pressão com e sem imersão, observa-se que todas as cultivares diferiram estatisticamente e o percentual de umidade foi maior no cozimento com imersão.

Quando comparado os dois métodos de cozimento em panela comum e panela de pressão com e sem imersão, verifica-se que o conteúdo de umidade obteve o maior valor no método de cozimento em panela de pressão com imersão para o cultivar BRS Guariba (69,48%). Os percentuais médios de umidade nos grãos cozidos obtidos neste trabalho são semelhantes aos valores referidos na Tabela de Composição de Alimentos da Faculdade de

Ciências Farmacêuticas da USP, de 69,2%, (USP, 2001) e Sathe e colaboradores (1984), de 65%.

Tabela 9- Conteúdo médio de umidade das cultivares de Feijão-caupi (mg/100g)

Cultivares	Umidade (%)				
	Cru	PCSI	PCCI	PPSI	PPCI
BRS Xiquexique	9,38 ^a ±0,19	66,02 ^a ±1,50	66,38 ^a ±0,04	61,80 ^{aA} ±0,04	68,14 ^{aB} ±0,65
BRS Tumucumaque	9,77 ^b ±0,06	67,58 ^{aA} ±1,15	68,13 ^{bA} ±0,34	66,36 ^{bB} ±0,66	68,23 ^{aC} ±0,14
BRS Aracê	10,41 ^c ±0,44	65,75 ^{aB} ±0,50	68,08 ^{bC} ±0,19	60,66 ^{aD} ±0,45	65,04 ^{bE} ±0,14
BRS Guariba	8,58 ^d ±0,09	64,95 ^{aD} ±0,97	66,17 ^{aD} ±0,22	59,40 ^{aF} ±0,72	69,48 ^{cG} ±0,14
BR-17Gurguéia	9,29 ^a ±0,25	65,74 ^{aE} ±0,38	65,24 ^{bE} ±0,29	63,06 ^{aG} ±0,51	66,48 ^{bH} ±0,31

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%. PCSI- Painel comum sem imersão; PCCI- Painel comum com imersão; PPSI- Painel de pressão sem imersão; PPCI- Painel de pressão com imersão.

Na tabela 10 observa-se a composição média de proteínas, cinzas, lipídios dos grãos crus de caupi. Os teores de proteínas variaram de 24,8 a 22,4g, para as cultivares BRS Aracê e BRS Xiquexique, respectivamente. O conteúdo de cinzas variou de 4,16 (BR-17 Gurguéia) a 3,33g (BRS Xiquexique). Em relação ao teor de lipídios, a cultivar BR-17 Gurguéia apresentou o menor teor (2,15g) e a BRS Aracê exibiu o maior conteúdo de lipídios (2,77g).

Carvalho e colaboradores (2012), analisaram cultivares de feijão-caupi quanto ao conteúdo de proteínas e encontraram valores para BR-17 Gurguéia, BRS Guariba, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique de 23,9g; 22,7g; 24,8g; 17,7g respectivamente. Os resultados encontrados em nossos estudos, mostraram valores superiores ao de Carvalho e colaboradores (2012), somente o cultivar BRS Tumucumaque apresentou valor inferior (23,7g) quanto ao conteúdo de proteína.

Segundo Marinho e colaboradores (2001), os grãos de caupi contém, aproximadamente 20-30% de proteína em sua composição. Esse percentual é considerado superior aos feijões comuns (*Phaseolus vulgaris*) que possuem em média, 20% de proteínas. No entanto, Cruz e colaboradores (2003) demonstraram que apesar do alto teor de proteínas, existem fatores que afetam negativamente a qualidade nutricional das proteínas das leguminosas como, gênero, espécie, variedade botânica, tempo de estocagem, dentre outros.

Diniz e colaboradores (2001) encontraram teores de cinzas em feijão-caupi variando de 1,77% a 1,27%, em grãos crus, resultados considerados inferiores aos nossos (4,16% a 3,33%). A diferença em relação aos valores encontrados se deve em parte a variação de gênero e espécie

Carvalho e colaboradores (2012), encontraram teores de lipídios para BR-17 Gurguéia de 1,0 g, resultado considerado inferior ao encontrado para esta cultivar em nossos estudos (2,15g).

Tabela 10- Composição média de proteínas, cinzas, lipídios dos grãos crus de caupi

Cultivares	Proteínas(g)	Cinzas(g)	Lipídios(g)
BRS Xiquexique	22,4 ^a ±0,35	3,33 ^a ±0,04	2,67 ^a ±0,44
BRS Tumucumaque	23,7 ^b ±0,16	3,81 ^a ±0,13	2,57 ^b ±0,10
BRS Aracê	24,8 ^c ±0,20	4,02 ^b ±0,03	2,77 ^a ±0,16
BRS Guariba	24,1 ^c ±0,15	3,72 ^a ±0,10	2,43 ^b ±0,04
BR-17Gurguéia	24,5 ^c ±0,30	4,16 ^b ±0,02	2,15 ^c ±0,45

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade

Observa-se na Tabela 11, os teores de proteína das cultivares de feijão-caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.

No cozimento em panela comum sem imersão foi visto que a cultivar BRS Aracê apresentou o maior teor de proteína (10,87g) enquanto a BR-17 Gurguéia exibiu o menor conteúdo (7,67g). Em panela comum com imersão, o maior teor de proteína foi encontrado para o cultivar BR-17 Gurguéia (10,06g).

Tanto para o cozimento em panela de pressão sem e com imersão o maior e o menor teor de proteína foram encontrados nas cultivares BRS Guariba (13,87g;10,12g) e BRS Xiquexique (5,43g; 7,00g), respectivamente.

Pujola, Farreras & Casanas (2007) observaram que o cozimento em panela comum de variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris*) resultou em um aumento significativo ($p < 0,05$) nos teores de proteína, o que não pode ser observado através dos resultados encontrados por Pereira e colaboradores (2011), em que os teores de proteínas reduziram significativamente, após o cozimento em panela comum sem imersão prévia em água nas cultivares BR-17 Gurguéia (7,67g/100g) e BRS Xiquexique (8,08g/100g), quando comparados aos resultados encontrados nos feijões crus (*Vigna unguiculata*). Comparando os dois métodos de cozimento em panela comum e panela de pressão com e sem imersão, verifica-se que o maior conteúdo de proteína apresentado foi observado no cozimento em panela de pressão sem imersão (13,87g).

Tabela 11- Teores médios de proteínas das cultivares de Feijão-caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.

Cultivares	Proteína (g/100 g)			
	Panela Comum		Panela de Pressão	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	8,08 ^{ab}	9,25 ^{ac}	5,43 ^{ab}	7,00 ^{ac}
BRS Tumucumaque	8,89 ^a	8,81 ^a	9,56 ^b	9,59 ^b
BRS Aracê	10,87 ^b	9,12 ^{bc}	13,12 ^{cd}	8,87 ^{ce}
BRS Guariba	9,43 ^c	8,81 ^a	13,87 ^{ce}	10,12 ^{df}
BR-17 Gurguéia	7,67 ^d	10,06 ^c	8,62 ^{df}	8,68 ^{cf}

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 12 encontram-se os resultados de teores de cinzas das cultivares de feijão caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.

No cozimento em panela comum sem imersão, os teores de cinzas variaram de 1,66 a 1,22g. O conteúdo de cinzas em panela comum com imersão não revelou diferenças estatísticas significativa entre as cultivares de caupi. Comparando os dois tratamentos, em panela comum com e sem imersão, observa-se que o teor de cinzas sofreu uma redução no cozimento em panela comum com imersão em todas as cultivares, exceto para a BRS Xiquexique que não apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$).

O conteúdo de cinzas, no cozimento em panela de pressão sem imersão variou de 1,52 a 0,74 g, enquanto que em panela de pressão com imersão, os resultados variaram de 1,13 a 0,67g. A comparação entre os dois métodos de cozimento, panela de pressão com e sem imersão, mostrou que houve uma redução no teor de cinzas no cozimento com imersão, exceto para as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Aracê que não apresentaram diferenças estatísticas significativa ($P < 0,05$) entre elas.

Os valores encontrados na literatura para o conteúdo de cinzas em grãos de feijão comum mostraram variações de 4,8 a 3,2 g/100 g) (MAIA *et al.* 2000; PREET & PUNIA, 2000; IQBAL *et al.*, 2006). Estas variações são provavelmente decorrentes da diferença de cultivar e das condições de cultivo.

Tabela 12- Teores médios de cinzas das cultivares de Feijão-caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.

Cultivares	Cinzas (g/100g)			
	Panela Comum		Panela de Pressão	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	1,22 ^a	1,06 ^a	0,74 ^{ad}	0,67 ^{be}
BRS Tumucumaque	1,51 ^{bc}	0,90 ^{bd}	1,06 ^{bc}	0,95 ^{dc}
BRS Aracê	1,66 ^{bc}	1,15 ^{be}	1,52 ^{ce}	1,13 ^{de}
BRS Guariba	1,29 ^{ad}	0,92 ^{be}	1,41 ^{ce}	0,97 ^{df}
BR-17 Gurguéia	1,22 ^a	1,17 ^b	1,16 ^{bc}	0,85 ^{bd}

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 13 podem ser observados os teores de lipídios das cultivares de feijão-caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água. Tanto em panela comum sem e com imersão verifica-se que o menor teor de lipídio foi encontrado na cultivar BRS Guariba (0,56g; 0,50g). No cozimento em panela de pressão sem imersão, observa-se que a cultivar BRS Tumucumaque apresentou o menor conteúdo de lipídio (0,57g) enquanto que a BRS Xiquexique apresentou o menor teor em panela de pressão com imersão (0,54). Esses resultados indicam que o método de imersão, tanto em panela comum quanto panela de pressão parece ter um efeito de redução no conteúdo de lipídios, o que revela que a prática de colocar o feijão-caupi de molho pode ter um efeito de reduzir o teor de lipídios encontrado nos grãos o que seria benéfico para pessoas que apresentam doenças dislipidêmicas.

O conteúdo lipídico obtido neste trabalho foi semelhante ao encontrado por Oluwatosin (1998), 1,5 a 2,0 g/100g e por Preet & Punia (2000), 1,8 a 2,0 g/100g, sendo esta variação típica das leguminosas (ALMEIDA COSTA *et al.*, 2006). No entanto, outros autores que estudaram o feijão-caupi encontraram maiores variações no percentual lipídico (1,2 a 3,5 g/100g) (MAIA *et al.*, 2000). Iqbal e colaboradores (2006), por sua vez, obtiveram aproximadamente o dobro do teor lipídico (4,8 g/100g) em relação à cultivar analisada no presente estudo.

Tabela 13- Teores médios de lipídios das cultivares de Feijão- caupi cozido, em panela comum e panela de pressão, com e sem imersão prévia em água.

Cultivares	Lipídios (g/100g)			
	Panela Comum		Panela de Pressão	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	1,01 ^{ac}	0,83 ^{ab}	0,77 ^{ac}	0,54 ^{ad}
BRS Tumucumaque	1,14 ^{ad}	1,12 ^{bd}	0,57 ^{be}	0,71 ^{bf}
BRS Aracê	1,17 ^{ae}	0,85 ^{af}	0,79 ^{af}	0,77 ^{bf}
BRS Guariba	0,56 ^{bf}	0,50 ^{cf}	0,63 ^{bg}	0,74 ^{bg}
BR-17 Gurguéia	0,70 ^{bf}	0,58 ^{cf}	0,63 ^{bg}	0,72 ^{cg}

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 14 pode ser observado o teor de carboidrato e fibras em cultivares de feijão-caupi, em panela comum sem imersão. O conteúdo de carboidrato variou de 23,67(BRS Aracê) a 20,80 g (BR-17 Gurguéia).

Segundo Della Modesta & Garruti (1981) os teores de carboidratos, em feijões crus, variaram entre 62,48 e 67,42%. Phillips e colaboradores (2003) encontraram em grãos de feijão-caupi cru, o conteúdo de carboidratos variando de 50-67%.

Pode-se visualizar ainda na tabela 14, o teor de fibra em cultivares de feijão-caupi, em panela comum sem imersão. O teor de fibras variou de 7,82 (BR-17 Gurguéia) a 4,71g (BRS Aracê).

De acordo com o regulamento da ANVISA (BRASIL, 1998), o feijão pode ser considerado um alimento com alto teor de fibras, pois sua quantidade ultrapassa o valor mínimo recomendado de 6g de fibras/100g em alimentos sólidos.

Tabela 14- Teores médios de carboidrato e fibras das cultivares de Feijão-caupi cozido, em panela comum sem imersão prévia em água

Cultivares	Carboidrato (g/100g)	Fibras (g/100g)
BRS Xiquexique	22,12 ^a ±3,31	5,44 ^a ±0,80
BRS Tumucumaque	22,15 ^a ±1,32	6,14 ^b ±0,84
BRS Aracê	23,67 ^b ±0,53	4,71 ^c ±0,42
BRS Guariba	22,54 ^a ±3,02	5,13 ^a ±0,27
BR-17 Gurguéia	20,80 ^c ±2,25	7,82 ^d ±0,51

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade

Observando-se os dados da tabela 15, quanto à capacidade de absorção, em cultivares de feijão-caupi, é possível verificar que o teor de água absorvido por todas as cultivares aumentou, em média, na proporção de 55%. Isso demonstra que as cultivares apresentaram uma alta capacidade de absorção de água.

Segundo Rios (2000), os grãos de feijão que são colhidos antecipadamente apresentam maior capacidade de absorção de água. O feijão, por ser rico em proteínas, apresenta uma das propriedades mais importantes que é a capacidade desses compostos se combinarem com a água proporcionando, assim uma rápida hidratação.

Nos estudos de Garcia-Vela & Stanley (1989), a capacidade de absorção da água pelos grãos, antes do cozimento, tem sido empregada, uma vez que a capacidade de cozimento está relacionada à rápida absorção de água pelos grãos.

Tabela 15-Capacidade média de absorção de água em cultivares de Feijão-caupi

Cultivares	Média do Percentual de absorção (%)
BRS Xiquexique	54,6 ^a ±1,48
BRS Tumucumaque	59,9 ^b ±0,40
BRS Aracê	54,8 ^a ±1,52
BRS Guariba	54,9 ^a ±1,32
BR- 17 Gurguéia	59,1 ^b ±0,64

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade

Na tabela 16 observa-se a determinação do *hard shell* em cultivares de feijão-caupi. Quanto ao percentual de grãos duros, os resultados mostraram que 3 cultivares (BRS Guariba, BR-17 Gurguéia e BRS Xiquexique) apresentaram alta capacidade de hidratação, e as cultivares BRS Aracê e BRS Tumucumaque apresentaram 5% de grãos duros, percentual este considerado pouco relevante para o estudo.

Segundo Coelho e colaboradores (2008) o efeito do *hard shell* aumenta o tempo de cozimento do grão de feijão, diminuindo sua qualidade e, conseqüentemente, a aceitação por parte do consumidor.

Tabela 16- Percentual de *Hard shell* nas cultivares de Feijão-caupi

Cultivares	<i>Hard Shell</i>(%)
BRS Xiquexique	Nenhum grão duro/absorção total
BRS Tumucumaque	5% de grãos duros
BRS Aracê	5% de grãos duros
BRS Guariba	Nenhum grão duro/absorção total
BR- 17Gurguéia	Nenhum grão duro/absorção total

A observação dos dados da tabela 17 permite verificar as médias dos tempos de cozimento no Cozedor Experimental, em cinco cultivares de feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água. Os resultados revelaram que houve redução significativa ($P < 0,05$) no tempo de cozimento, proporcionado pela maceração prévia dos grãos.

A cultivar BRS Aracê foi a que apresentou maior redução no tempo de cozimento (5' 59"), numericamente, após a maceração seguida pelas cultivares: BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique, respectivamente, porém, estatisticamente, não houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre elas.

Segundo Rodrigues e colaboradores (2005a e 2005b), o tempo de imersão está diretamente relacionado ao tempo de cozimento, que tende a diminuir à medida que os grãos permanecem imersos. Por outro lado, Taiwo e colaboradores (1997), pesquisaram que a imersão da cultivar de caupi (IFE-BPC) não teve nenhum efeito significativo sobre o tempo de cozimento.

As cultivares com e sem imersão prévia em água não apresentaram tempos de cozimento similares, indicando que os resultados dependem de outros fatores como o tipo de espécies de leguminosas e variedade.

Não foi observada diferença significativa ($P < 0,05$) entre as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique, com imersão. Por outro lado, o tempo de cozimento da cultivar BRS Aracê diferiu significativamente entre as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique.

Os estudos de Yeung e colaboradores (2009) mostraram que o cozedor *Mattson* provou ser uma ferramenta valiosa de cozimento de grãos de feijão, uma vez que os tempos de cozimento experimental e doméstico foram similares, sendo considerado importante na

seleção de cultivares para recomendação aos agricultores, eliminando aquelas variedades indesejáveis para plantio e, posteriormente, para o consumidor.

Tabela 17- Tempos de cozimento no Cozedor Experimental de *Mattson*, em cultivares de Feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água.

Cultivares	Tempo de cozimento Experimental (min.)	
	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	36'14" ^{a,c}	6'25" ^{a,c}
BRS Tumucumaque	31'00" ^{a,b}	6'09" ^a
BRS Aracê	31'59" ^b	5'59" ^b
BRS Guariba	36'16" ^c	6'48" ^c
BR-17Gurguéia	34'35" ^c	8'53" ^d

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade

Na tabela 18 observam-se os tempos de cozimento doméstico, das cultivares de feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água, em panela comum e panela de pressão. A avaliação do cozimento do grão foi feita de forma subjetiva através de pressão dos feijões entre os polegares. Os resultados revelaram que houve redução significativa no tempo de cozimento, proporcionada pela imersão prévia dos grãos das cultivares, no cozimento em panela comum. A cultivar BRS Tumucumaque foi a que apresentou maior redução no tempo de cozimento (5' 03"), numericamente, após a maceração seguida pelas cultivares: BRS Aracê e BRS Xiquexique, respectivamente, porém, estatisticamente, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre elas.

De acordo com Goycoolea e colaboradores (1990) os feijões com imersão prévia ao cozimento são mais tenros que os grãos não macerados cozidos durante o mesmo tempo, sendo que os feijões quando absorvem menos água precisam de um maior tempo de cocção.

No entanto Rodrigues e colaboradores (2005a) observaram uma correlação negativa e significativa entre a absorção de água pelos grãos de feijão e o seu tempo de cozimento, sendo que a redução do tempo de hidratação pode levar à produção de um feijão de cozimento mais rápido. Isto se deve, principalmente, a degradação do amido durante a maceração com a absorção de água, sendo este processo completado durante o cozimento com um efeito aditivo da temperatura de cozimento, gerando um produto de melhor aceitação no mercado.

Segundo Oliveira e colaboradores (2001), a imersão prévia é uma prática que deve ser recomendada, tendo em vista a minimização do gasto de combustível, através da redução do tempo de cozimento.

Observa-se ainda na tabela 18 os tempos de cozimento doméstico, das cultivares de feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água, em panela de pressão. Os resultados revelaram que houve redução significativa no tempo de cozimento, proporcionado pela maceração prévia dos grãos. As cultivares BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique apresentaram menor e o mesmo tempo de cozimento doméstico após maceração em panela de pressão (4'3'') seguida da BRS Aracê. Porém, estatisticamente, não houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre elas. Entre as cultivares testemunha, a BRS Guariba foi a que apresentou maior redução no tempo de cozimento e menor tempo (2',6'') seguida pela BR-17 Gurguéia.

Tabela 18- Tempos de cozimento doméstico, em panela comum e panela de pressão, em cultivares de Feijão-caupi, com e sem imersão prévia em água.

Cultivares	Métodos de Cozimento	Tempo de Cozimento (min)	
		Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	Panela comum	29 ^{a,b}	8 ^a
	Panela de Pressão	12'33 ^c	4'3 ^b
BRS Tumucumaque	Panela comum	26'03 ^a	5'03 ^c
	Panela de Pressão	12'33 ^c	4'3 ^b
BRS Aracê	Panela comum	32 ^b	6 ^c
	Panela de Pressão	11'6 ^d	4'6 ^b
BRS Guariba	Panela comum	30'06 ^b	11'03 ^d
	Panela de Pressão	12'33 ^c	2'6 ^e
BR-17 Gurguéia	Panela comum	31 ^b	10'03 ^d
	Panela de Pressão	13'3 ^c	3 ^e

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade

Os dados da tabela 19 mostram os teores médios de ferro e zinco nos grãos crus em cultivares de feijão-caupi. O conteúdo de ferro variou de 6,4 (BRS Guariba - comercial) a 5,8 mg/100 g (BR-17 Gurguéia). Foi observado que as cultivares BRS Guariba e a BRS Aracê apresentaram os mais elevados teores de ferro nos grãos crus. Não foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) entre BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque, bem como encontrado entre BRS Aracê e BRS Guariba.

De acordo com Moreira-Araújo, Frota, Meneses, Martins & Morgano (2006), foi encontrado em feijão-caupi, na cultivar BR3-Tracuateua, teor de 4,5 mg/100g para ferro, um valor considerado inferior ao encontrado em nossos estudos que mostraram conteúdo de 6,4 mg/100g para BRS Guariba.

Segundo Canniatti-Brazaca & Silva (2003) esta variação pode estar relacionada com diferenças de clima, condições do solo, variedade, dentre outras características. Este mesmo autor mostra que o teor de ferro em leguminosas pode variar de 6,8 (feijão guandu) a 15,3 mg/100g (soja).

Brito, Barreto & Silva (2003), verificaram que o feijão é a principal fonte de ferro na dieta de indivíduos 7 a 17 anos em função do custo do consumo da carne vermelha. Embora os produtos de origem animal apresentem um potencial de absorção de ferro, eles são considerados de alto custo, especialmente para populações de baixa renda.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a deficiência de ferro é a forma mais comum de desnutrição, levando a graves conseqüências para a saúde pública, tais como a anemia (KRAEMER & ZIMMERMANN, 2007).

Segundo o Codex Alimentarius (2004), um alimento pode ser considerado como "fonte" de um nutriente, quando 100 g do produto apresenta mais de 15% da ingestão dietética de referência (DRI) para o nutriente desejado. Por exemplo, 15 % da DRI equivale a 2,1 mg de ferro, em 100 g do produto, sendo considerado como fonte, e alto quando contém 42 mg de ferro do produto. Da mesma forma, quando o alimento contém, pelo menos, o dobro da quantidade determinada como "fonte", pode ser rotulado como "alto".

A ingestão recomendada de ferro é baseada nas perdas fisiológicas e pelo aumento da demanda de ferro no organismo, devido ao crescimento. Um homem adulto saudável perde cerca de 1 mg de ferro por dia. Considerando apenas 10-15% do ferro na dieta é absorvido, recomenda-se que uma dose média de 14 mg de ferro por dia, e meia xícara de feijão cru fornece 10% ou mais dos valores diários de ferro. As crianças de 4 a 6 anos requerem 6 mg de ferro por dia (BRASIL, 2005). Considerando este fato, nesse estudo, as cultivares de feijão-caupi podem ser consideradas boas fontes de ferro para minimizar os efeitos causados pela anemia, uma vez que eles apresentaram valores de ferro acima do recomendado. No entanto, a que considerar que os valores correspondem ao grão cru e o volume de consumo infantil é baixo.

Observa-se ainda na tabela 19 os teores médios de zinco nos grãos crus em cultivares de feijão-caupi. As concentrações de zinco nas cinco cultivares variaram de 4,5

mg/100g (BRS Aracê) a 3,5 mg/100g (BRS Xiquexique). Entre todas as cultivares de feijão-caupi examinadas, as concentrações de zinco diferiram significativamente entre si ($P < 0,05$).

Andrade e colaboradores (2004) encontraram teores de zinco para grãos crus de feijão-caupi de 3,8 mg/100g. Resultados estes considerados similares aos encontrados em nossos estudos.

O zinco é um micronutriente essencial na dieta humana e sua deficiência pode ocasionar retardo no crescimento, atraso na maturação sexual, lesões de pele, alopecia, apetite deficiente, dentre outras características (HAMBRIDGE *et al.*, 1987). A deficiência de zinco pode ser prevenida por modificações na dieta, fortificação de alimentos com este nutriente ou suplementação.

Como se observa, o feijão-caupi pode melhorar substancialmente a adequação de consumo de minerais como ferro e zinco, principalmente porque estes micronutrientes apresentam funções primordiais por serem componentes do sangue e de enzimas envolvidas na transferência de elétrons, além da síntese de proteína e ácidos nucleicos, do metabolismo de carboidratos, entre outros (KING; SHAMES & WOODHOUSE, 2000; CAIRO *et al.*, 2002).

Tabela 19- Teores médios de ferro e zinco nos grãos crus das cultivares de Feijão-caupi (mg/100g).

Cultivares	Teores de Minerais (mg/100g)	
	Ferro	Zinco
BRS Xiquexique	5,1 ^a	3,5 ^a
BRS Tumucumaque	5,1 ^a	3,8 ^a
BRS Aracê	6,3 ^b	4,5 ^b
BRS Guariba	6,4 ^b	3,6 ^a
BR- 17 Gurguéia	5,8 ^c	4,0 ^c

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade

Na tabela 20, verificam-se os conteúdos de ferro, em base úmida, nas cinco cultivares de feijão-caupi, cozidas em panela comum com e sem imersão prévia em água e retenção de ferro. O teor de ferro presente na BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê, cozidos em panela comum sem imersão prévia revelou diferenças significativas. O conteúdo de ferro dos grãos que foram cozidos sem imersão variou de 2,42 (BRS Aracê) a 1,43 mg/100g (BRS Xiquexique). Por outro lado, o conteúdo de ferro, após o cozimento dos grãos de caupi com imersão prévia variou de 2,39 (BR-17 Gurguéia) a 1,55 mg/100g (BRS

Tumucumaque). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as cultivares BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque. A imersão não se mostrou eficaz no aumento do teor de ferro em panela comum, uma vez que esse aumento do nível do mineral estava apenas significativamente diferente para a cultivar BR-17 Gurguéia.

Encontram-se representados também na tabela 20 os percentuais de retenção de ferro em feijão-caupi em panela comum com e sem imersão prévia de água. Os resultados mostraram que o cozimento em panela comum com imersão apresentaram percentuais mais elevados que aqueles sem imersão para as cultivares BRS Xiquexique (98,22%), BRS Tumucumaque (94,58%), BRS Aracê (99,80%) e BR-17 Gurguéia (98,91%). No cozimento em panela comum sem imersão, maior percentual de retenção de ferro foi encontrado na cultivar BR-17 Gurguéia (testemunha), (97,18 %). No cozimento doméstico, com ou sem imersão, a maior concentração de ferro fica retida no grão cozido do feijão.

Rodrigues e colaboradores (2005b) e Burr & Morris, (1968) mostram que a imersão pode promover a redução no conteúdo de minerais, que podem ser parcialmente ou completamente eliminados através da solubilização e descarte da água de imersão, ou mesmo, ser retido no caldo de cozimento.

No entanto a que se considerar a forma como é preparado e consumido o feijão no Brasil. Diversos estudos encontrados na literatura são de outros países, que consomem o feijão preparado de forma diferente daquela que é habitualmente utilizada no Brasil, isto é, com grãos inteiros e caldo. A escassez de estudos sobre a análise do caldo do cozimento (CORRÊA, 2007), em função da dificuldade de análise, pode ser um viés e uma lacuna para aplicar as conclusões à realidade brasileira, uma vez que a maior parte das perdas, tanto de nutrientes quanto de antinutrientes, acontece no processo de cocção, podendo a maioria deles estar diluídos no próprio caldo.

Tabela 20- Conteúdo de ferro (mg/100g base seca) de cinco cultivares de caupi cozidas em panela comum com e sem imersão prévia e retenção de ferro.

Cultivares	Panela comum			
	Conteúdo de Ferro (mg/100 g)		Retenção de Ferro (%)	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	1,43 ^a	1,74 ^a	93,86 ^a ±2,1	98,22 ^b ±1,2
BRS Tumucumaque	1,62 ^b	1,55 ^b	87,10 ^a ±3,8	94,58 ^b ±1,1
BRS Aracê	2,42 ^c	2,10 ^b	94,08 ^a ±0,2	99,80 ^b ±0,3
BRS Guariba	2,03 ^c	2,13 ^c	91,66 ^a ±5,8	96,53 ^a ±2,2
BR-17 Gurguéia	1,99 ^d	2,39 ^c	97,18 ^a ±4,2	98,91 ^a ±0,4

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 21 está representado o conteúdo de ferro, de cinco cultivares de feijão-caupi cozidas em panela de pressão com e sem imersão prévia e o percentual de retenção de ferro. O conteúdo de ferro das cultivares cozidas em panela de pressão sem imersão variaram de 2,26 (BRS Aracê) a 1,46 mg/100g (BRS Xiquexique). Depois de ter sido previamente embebido, o teor de ferro do feijão-caupi variou de 2,09 (BR-17 Gurguéia) a 1,25 mg/100g (BRS Xiquexique). No cozimento em panela de pressão, a única diferença significativa foi a redução do teor de ferro nas cultivares BRS Xiquexique e BRS Aracê observada entre os tratamentos com e sem imersão prévia.

Ramirez-Cárdenas (2006) avaliou o efeito do cozimento doméstico, em panela de pressão doméstica por 40 minutos, em relação ao conteúdo de minerais, em cinco variedades de feijão comum cru, cozido sem imersão, cozido com água de imersão e cozido sem água de imersão. Os resultados revelaram que os teores médios de ferro no feijão cozido com a água de imersão foi de 5,88 mg/100g e, naqueles cozidos sem imersão, de 5,91 mg/100g.

Estudos de Rodrigues e colaboradores (2005b) e Burr & Morris, (1968) indicam que a imersão pode reduzir o conteúdo de minerais, que podem ser parcialmente ou completamente eliminados com a solubilização e descarte da água de imersão, ou mesmo, pode ser retido no caldo de cozimento.

No entanto, Lestienne e colaboradores (2005) mostram que a imersão aumenta o teor de minerais ao avaliarem o teor de zinco em cultivares de feijão-caupi cozidos em panela com e sem imersão.

A imersão do feijão durante o seu pré-preparo parece ser unanimemente recomendado pelos cientistas, porém, os estudos encontrados sobre descarte ou uso da água de remolho são

discordantes e não conclusivos. Embora os estudos não sejam conclusivos quanto ao influência do tratamento com e sem imersão no conteúdo de minerais, existe a necessidade de que mais pesquisas sejam conduzidas e um número maior de cultivares sejam incluídas, a fim de avaliar a resposta do processamento no conteúdo de zinco.

Em relação ao percentual de retenção de ferro em panela de pressão, observa-se que no cozimento sem imersão, o percentual variou de 98,17% (BRS Tumucumaque) a 89,38% (BRS Guariba), enquanto no cozimento com imersão o percentual foi de 97,10% (BR-17 Gurguéia) a 91,57% (BRS Xiquexique). O maior percentual de retenção de ferro, no cozimento em panela de pressão sem imersão, foi encontrado na cultivar BRS Tumucumaque enquanto no cozimento com imersão foi na BR-17 Gurguéia.

Comparando o percentual de retenção no tratamento com e sem imersão, observa-se que apenas as cultivares BRS Guariba e BR-17 Gurguéia apresentaram diferença estatística significativa, onde a imersão promoveu um aumento do percentual de retenção nas duas cultivares.

Tabela 21- Conteúdo de ferro (mg/100 g base seca) de cinco cultivares de Feijão-caupi cozidas em panela de pressão com e sem imersão prévia e retenção de ferro.

Cultivares	Panela de Pressão			
	Conteúdo de Ferro (mg/100 g)		Retenção de Ferro(%)	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	1,46 ^a	1,25 ^b	92,35 ^a ±3,0	91,57 ^b ±1,3
BRS Tumucumaque	1,76 ^b	1,60 ^b	98,17 ^b ±1,3	97,05 ^b ±1,6
BRS Aracê	2,26 ^c	1,97 ^d	92,54 ^a ±0,6	92,85 ^a ±1,2
BRS Guariba	2,14 ^c	1,93 ^c	89,38 ^c ±2,4	96,53 ^b ±0,9
BR-17 Gurguéia	1,91 ^d	2,09 ^d	92,47 ^a ±4,4	97,10 ^b ±0,1

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 22 observa-se o conteúdo de zinco de cinco cultivares de feijão-caupi cozidas em panela comum com e sem imersão prévia e retenção de zinco. O teor de zinco dos grãos cozidos em panela comum sem imersão variou de 1,93 (BRS Aracê) a 1,25 mg/100 g (BRS Tumucumaque). Enquanto que em panela comum com imersão os conteúdos de zinco sofreram variação de 1,75 (BR-17 Gurguéia) a 1,23 mg/100g (BRS Tumucumaque) e a cultivar BR- 17 Gurguéia exibiu o maior teor de zinco. Os maiores valores de zinco foram encontrados na cultivar BRS Aracê, após o cozimento doméstico em panela comum sem

imersão prévia em água (1,93 mg/100g). Os resultados não revelaram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as cultivares BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque ou entre BRS Guariba cozidas em panela comum com e sem imersão.

Lestienne e colaboradores (2005) avaliaram o teor de zinco em cultivares de feijão-caupi cozidos em panela com e sem imersão. Eles observaram que o conteúdo de zinco dos grãos aumentou após imersão em água.

Os resultados encontrados em nosso estudo mostram que há necessidade de incluir um número maior de cultivares, a fim de avaliar o efeito do tratamento com e sem imersão no conteúdo de zinco, pois apenas o cultivar BR-17 Gurguéia apresentou diferença estatística significativa, revelando aumento do conteúdo de zinco após a imersão em água.

Observa-se ainda na tabela 22 o percentual de retenção de zinco em feijão-caupi em panela comum com e sem imersão prévia de água. No cozimento em panela comum sem imersão, observa-se que o percentual de variação foi de 96,54% (BRS Aracê) a 86,17% (BRS Xiquexique). No tratamento com imersão a variação foi de 98,82% (BRS Guariba) a 90,20% (BRS Xiquexique). A retenção de zinco foi mais alta após o tratamento com imersão para todas as cultivares quando cozidas em panela comum ($P < 0,05$). O percentual de retenção de zinco foi considerado alto em todos os tratamentos (com e sem imersão), indicando que os métodos de cozimento foram efetivos na preservação deste micronutriente.

Tabela 22- Conteúdo de zinco (mg/100 g base seca) de cinco cultivares de caupi cozidas em panela comum com e sem imersão prévia e retenção de zinco.

Cultivares	Panela comum			
	Conteúdo de Zinco (mg/100 g)		Retenção de Zinco(%)	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	1,29 ^a	1,44 ^a	86,17 ^a ±2,6	90,20 ^a ±2,1
BRS Tumucumaque	1,25 ^a	1,23 ^a	87,21 ^a ±3,6	96,41 ^b ±0,9
BRS Aracê	1,93 ^b	1,63 ^c	96,54 ^b ±0,7	98,64 ^b ±0,4
BRS Guariba	1,28 ^a	1,34 ^a	93,44 ^c ±5,1	98,82 ^b ±1,9
BR-17 Gurguéia	1,35 ^c	1,75 ^d	94,65 ^c ±4,1	98,32 ^b ±0,2

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 23 está representado o conteúdo de zinco (mg/100 g base seca) de cinco cultivares de feijão-caupi cozidas em panela de pressão com e sem imersão prévia e retenção de zinco. Para o cozimento em panela de pressão sem imersão, o teor de zinco variou de 1,89

(BRS Aracê) a 1,18 mg/100 g (BRS Xiquexique). Em panela de pressão com imersão, o conteúdo de zinco variou de 1,55 (BRS Aracê) a 1,12 mg/100 g (BRS Xiquexique).

Em panela de pressão, os resultados diferiram significativamente ($P < 0,05$) entre sem e com imersão para as cultivares BRS Aracê, BRS Guariba e BR-17 Gurguéia ($P < 0,05$), mas não entre BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque.

Observa-se na tabela 23, o percentual de retenção de zinco em panela de pressão com e sem imersão nas cultivares de caupi. No cozimento em panela de pressão sem imersão o percentual variou de 99,73% (BRS Tumucumaque) a 92,02% (BRS Xiquexique), enquanto no cozimento com imersão, a variação foi de 99,05% (BRS Tumucumaque) a 95,81% (BR-17 Gurguéia).

A retenção de zinco foi maior quando as cultivares de caupi foram cozidas em panela de pressão comparadas ao cozimento em panela comum para as amostras BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê ($P < 0,05$), enquanto que não houve diferença significativa para as cultivares BRS Guariba e BR-17 Gurguéia. O melhor percentual de retenção de zinco foi encontrado na cultivar BRS Tumucumaque (99,73%) quando cozida em panela de pressão sem imersão. Comparando o percentual de retenção de zinco no cozimento em panela de pressão com e sem imersão, observa-se que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

Segundo Bassinello (2011) os diversos métodos de preparo de um alimento afetam o conteúdo e a retenção mineral. No feijão, o aproveitamento ou não da água de imersão durante o cozimento pode influenciar na retenção de minerais importantes como ferro e zinco. Os minerais perdidos no grão cozido estão presentes na água do cozimento, sendo que o caldo pode conter até 73% dos minerais do grão cru, dependendo da cultivar e do mineral.

Tabela 23- Conteúdo de zinco (mg/100 g base seca) de cinco cultivares de caupi cozidas em panela de pressão com e sem imersão prévia e retenção de zinco

Cultivares	Panela de Pressão			
	Conteúdo de Zinco (mg/100 g)		Retenção de Zinco(%)	
	Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	1,18 ^a	1,12 ^a	92,02 ^b ±2,6	97,22 ^b ±2,9
BRS Tumucumaque	1,49 ^b	1,32 ^b	99,73 ^c ±0,3	99,05 ^c ±1,2
BRS Aracê	1,89 ^d	1,55 ^c	99,18 ^c ±1,1	96,34 ^c ±1,6
BRS Guariba	1,44 ^c	1,25 ^d	96,13 ^d ±3,8	97,77 ^d ±0,2
BR-17 Gurguéia	1,51 ^c	1,43 ^e	93,46 ^c ±2,9	95,81 ^c ±1,5

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 24, verifica-se a determinação de bioacessibilidade de ferro em cultivares de feijão-caupi em grãos crus e em diferentes métodos de cozimento. O maior percentual da bioacessibilidade do ferro nos grãos crus foi de 4,37% na cultivar BRS Xiquexique. Observou-se que o percentual de bioacessibilidade de ferro em cultivares de feijão-caupi aumentou quando os mesmos são processados em relação aos grãos crus mostrando diferença significativa ($P < 0,05$).

Em panela de pressão sem imersão, sua bioacessibilidade mostrou variação de 44,33% (BRS Xiquexique) a 8,61% (BR-17 Gurguéia) e, no cozimento com imersão, de 40,68% (BRS Guariba) a 6,46% (Aracê). Os resultados mostraram que o percentual de bioacessibilidade de ferro, em panela de pressão sem imersão, apresentaram um percentual elevado para as cultivares BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê quando comparado ao cozimento com imersão. A cultivar BRS Xiquexique que apresentou o maior percentual da bioacessibilidade do ferro nos grãos crus (4,37%) mostrou que no cozimento em panela de pressão sem imersão apresentou também o maior percentual (44,33%).

No cozimento em panela comum sem imersão, o percentual de bioacessibilidade variou de 8,72% para o cultivar BR-17 Gurguéia até 2,94% no cultivar BRS Xiquexique. No cozimento com imersão, a variação foi de 8,92% (BR-17 Gurguéia) a 2,40% (BRS Aracê).

Tanto em panela comum com e sem imersão, o cultivar BR-17 Gurguéia apresentou o percentual mais elevado para a bioacessibilidade de ferro. O cozimento em panela de pressão sem imersão foi o que apresentou o maior percentual na bioacessibilidade de ferro (44,33%).

Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007a) avaliaram a bioacessibilidade de ferro em grãos cru de feijão-caupi e encontraram percentuais de 1,77%, valores considerados inferiores

aos encontrados em nossos estudos (4,37%). A diferença encontrada pode ser resultante das variedades de cultivares de feijão-caupi que apresentaram um percentual mais elevado em nossos estudos.

Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007b) também analisaram a influência do processamento na bioacessibilidade de ferro em grãos de caupi e encontraram resultados, no cozimento em panela de pressão, de 3,98%, enquanto que em nossos estudos o maior percentual foi de 44,33%. Uma possível explicação para a diferença de resultados encontrados em relação aos nossos estudos se deve ao fato de que não registro de como foi conduzida a etapa de cozimento dos grãos, o tempo de cozimento ou mesmo se houve aproveitamento da água de imersão para o processamento dos grãos no trabalho dos autores.

O ferro de origem vegetal é relativamente pouco absorvido (1 a 6%) quando comparado ao ferro contido nos alimentos de origem animal (até 22%). A dificuldade é que, principalmente nos países em desenvolvimento, alimentos ricos em ferro (fígado, carnes e peixe) não são consumidos em quantidades suficientes por crianças abaixo de dois anos. Dessa forma, o estudo da determinação da bioacessibilidade em minerais, como ferro e zinco é importante, pois permite conhecer o real percentual de absorção de minerais.

Tabela 24- Determinação de bioacessibilidade de ferro em cultivares de Feijão- caupi em grãos crus e após diferentes métodos de cozimento.

Cultivars	Bioacessibilidade de Ferro (%)				
	Cru	Panela de Pressão		Panela Comum	
		Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	4,37 ^a ±0,97	44,33 ^{aA} ±1,07	8,86 ^{aB} ±2,66	2,94 ^{aA} ±1,16	6,78 ^{aB} ±0,19
BRS Tumucumaque	3,30 ^a ±0,01	34,94 ^{bB} ±0,44	21,57 ^{bC} ±2,56	5,84 ^{bC} ±0,74	5,65 ^{aC} ±1,70
BRS Aracê	2,62 ^b ±0,11	14,84 ^{cD} ±0,79	6,46 ^{aE} ±0,80	6,91 ^{bD} ±0,08	2,40 ^{bE} ±0,16
BRS Guariba	2,59 ^b ±0,19	25,75 ^{dF} ±0,53	40,68 ^{cG} ±4,12	4,72 ^{cF} ±0,01	6,83 ^{aG} ±0,36
BR-17 Gurguéia	2,50 ^b ±0,27	8,61 ^{eH} ±0,48	9,83 ^{aH} ±5,11	8,72 ^{dH} ±0,02	8,92 ^{eH} ±1,27

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras maiúsculas diferentes dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

Na tabela 25, verifica-se a determinação de bioacessibilidade de zinco em cultivares de feijão-caupi em grãos crus e em diferentes métodos de cozimento. Na bioacessibilidade do zinco o maior percentual encontrado em grãos crus foi de 40,82% (BRS Guariba). No cozimento em panela de pressão sem imersão, de 56,32% (BRS Xiquexique) a 37,52% (BRS

Tumucumaque) enquanto que com imersão, o percentual variou de 51,64% (BRS Guariba) a 18,96% (BRS Xiquexique). No cozimento em panela comum sem imersão, o percentual variou de 52,78% (BRS Guariba) a 38,81% (BRS Tumucumaque). No cozimento com imersão, sofreu variação de 45,91% (BRS Tumucumaque) a 31,01% (BRS Aracê). O maior percentual de bioacessibilidade de zinco foi em panela de pressão sem imersão (56,32%) para o cultivar BRS Xiquexique.

Em estudos de Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007a) foi analisada a bioacessibilidade de zinco em grãos cru de feijão-caupi e foi encontrado percentual de 53%. Por outro lado, Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007b) também analisaram a influência do processamento na bioacessibilidade de zinco em grãos de caupi. O percentual de zinco em panela de pressão encontrado neste trabalho foi de 41,5% em grãos de feijão-caupi, enquanto que em nossos estudos foi visto o valor de 56,32%, no cozimento em panela de pressão sem imersão no cultivar BRS Xiquexique. Embora os valores encontrados em nossos estudos sejam superiores ao encontrado na literatura, não há indicação no estudo de Hemalatha, Platel & Srinivasan (2007b) como foi realizada a etapa de cozimento dos grãos ou se a água de imersão foi reaproveitada para o processamento dos grãos, fato este que poderia influenciar no resultado encontrado.

Tabela 25- Determinação de bioacessibilidade de zinco em cultivares de Feijão- caupi em grãos crus e diferentes métodos de cozimento.

Cultivars	Bioacessibilidade de zinco (%)				
	Cru	Panela de Pressão		Panela Comum	
		Sem Imersão	Com Imersão	Sem Imersão	Com Imersão
BRS Xiquexique	37,43 ^a ±2,30	56,32 ^{aA} ±3,19	18,96 ^{aB} ±2,72	42,75 ^{aA} ±2,60	45,12 ^{aA} ±4,92
BRS Tumucumaque	39,50 ^a ±0,79	37,52 ^{bC} ±1,49	40,50 ^{bC} ±0,70	38,81 ^{aB} ±3,78	45,91 ^{aC} ±1,13
BRS Aracê	38,62 ^a ±0,28	44,70 ^{aD} ±2,46	44,68 ^{bD} ±2,04	42,81 ^{aD} ±2,34	31,01 ^{bE} ±2,08
BRS Guariba	40,82 ^b ±2,01	47,65 ^{aE} ±4,73	51,64 ^{bE} ±3,11	52,78 ^{bF} ±5,22	40,90 ^{cG} ±2,42
BR-17 Gurguéia	37,71 ^a ±0,96	52,48 ^{cF} ±3,23	51,31 ^{bF} ±1,32	43,46 ^{aH} ±6,43	37,10 ^{bI} ±4,52

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente em 5% de probabilidade. Letras diferentes maiúsculas dentro da mesma linha diferem significativamente em 5%.

8- Conclusões

- Os grãos de feijão-caupi após os cozimentos em panela comum e de pressão, com e sem imersão apresentaram teor de umidade mais elevados quando realizado em panela de pressão com imersão. O teor de proteínas foi mais elevado no cozimento em panela de pressão sem imersão. O conteúdo de cinzas foi reduzido após o cozimento com imersão, tanto em panela comum quanto em panela de pressão. O conteúdo de lipídios foi menor no cozimento com imersão. A utilização da imersão prévia, em panela comum e em panela de pressão reduziu o teor de lipídios, o que revela que a prática da imersão pode ter um efeito positivo, o que seria benéfico para pessoas que apresentam doenças dislipidêmicas.
- A comparação entre a capacidade de absorção de água nos grãos de feijão-caupi com o tempo de cozimento foi positiva e significativa.
- A cultivar BRS Tumucumaque apresentou uma comparação positiva entre a capacidade de absorção com o tempo de cozimento, uma vez que apresentou maior redução no tempo de cozimento em panela comum.
- Os tempos de cozimento experimental e doméstico foram similares. O que revela que a simples utilização do Cozedor de *Mattson* pode auxiliar na seleção rápida de cultivares promissores correspondendo ao tempo de cozimento doméstico com textura e maciez ótimas.
- O conteúdo de ferro nos grãos crus das cultivares BRS Guariba e a BRS Aracê foi mais elevado, enquanto que a cultivar BRS Aracê apresentou o maior conteúdo de zinco.
- Entre os métodos de cozimento, aquele em panela comum, sem imersão, a cultivar BRS Aracê apresentou o teor de ferro mais elevado.
- A retenção de ferro no feijão-caupi mostrou que o cozimento em panela comum com imersão apresentou percentuais mais elevados que aqueles sem imersão para as cultivares BRS Xiquexique (98,22%), BRS Tumucumaque (94,58%) e BRS Aracê (99,80%), revelando que diferentes tipos de processamento influenciam na retenção de ferro.
- A cultivar BRS Aracê, cozida em panela comum, sem imersão apresentou o teor de zinco mais elevado.

- A retenção de zinco foi mais elevada após o cozimento em panela comum com imersão para todas as cultivares, indicando que os métodos de cozimento foram efetivos na preservação deste micronutriente.
- De uma forma geral a retenção de zinco foi elevada em todas as cultivares avaliadas.
- A bioacessibilidade de ferro nas cultivares de feijão-caupi aumentou após o cozimento.
- O cozimento influenciou na bioacessibilidade de ferro e de zinco, uma vez que houve incremento de aproximadamente 40% em zinco e 15% em ferro, principalmente nas cultivares BRS Xiquexique e BRS Guariba.
- A cultivar BRS Xiquexique cozida em panela de pressão sem imersão, apresentou bioacessibilidade de ferro e de zinco mais elevada, que o cozimento em panela de pressão com imersão. A bioacessibilidade de zinco foi superior a do ferro em todas as cultivares e cozimentos, tendo a BRS Xiquexique o maior percentual.
- Os resultados encontrados na presente tese podem servir de base para futuras intervenções com o intuito de minimizar carências nutricionais da população e, ainda, na elaboração de planejamentos dietéticos para monitorar agravos nutricionais de minerais como ferro e zinco. Adicionalmente, os estudos da bioacessibilidade desses micronutrientes se tornam importante para a busca de soluções de problemas nutricionais e de saúde que beneficiariam determinados grupos populacionais mais suscetíveis e com menores recursos, que tem como alimento básico o feijão-caupi, que apresenta um elevado potencial nutricional, apresentando características importantes para o combate a carências nutricionais de diversos micronutrientes e a desnutrição energético-protéica encontradas no Brasil.

9- Considerações Finais

- A prática de colocar o feijão de molho ou de remolho, isto é, a imersão prévia, durante o seu pré-preparo mostra ser um bom indicador, tanto na preservação de micronutrientes, como ferro e zinco quanto na redução do tempo de cozimento doméstico. O descarte da água de remolho não é uma prática recomendada, devendo ser reaproveitada, uma vez que minerais importantes podem ser desprezados, diminuindo o seu conteúdo e valor nutricional.
- O cozimento em panela comum, demonstra resultados mais efetivos que o tratamento em panela de pressão, uma vez que aquele apresentou percentuais de ferro e zinco mais expressivos. Embora, o cozimento em panela de pressão reduza o tempo de cozimento e minimize o gasto de combustível, a aquisição do utensílio por populações carentes se constitui em custo proibitivo.
- A cultivar BRS Aracê apresenta melhor desempenho em relação as demais em função desta apresentar teores de ferro e zinco mais elevados no método de cozimento em panela comum, na retenção de ferro e no tempo de cozimento.
- A retenção de ferro no feijão-caupi mostra que o cozimento em panela comum com imersão apresenta percentuais mais elevados que aqueles sem imersão. A retenção de zinco é mais elevada após o cozimento em panela comum com imersão para todas as cultivares. Já a retenção de zinco é maior quando as cultivares de caupi são cozidas em panela de pressão.

10-Referências Bibliográficas

AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_62_1311200215103.html. Acesso em fevereiro de 2012.

ALENCAR, G.V. de. **Estudo comparativo das características químicas-tecnológicas e sensoriais do feijão guandu (*Cajanus cajan*) em relação a outros feijões consumidos popularmente (*Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus lunatus* e *Vigna unguiculata*)**. UFPB-CCA.Campus III. 1997. 63p.

AMAYA, D.; URRIETA, R.; GIL, N.M.; MOLANO, N.C. et al. Valores de zinc plasmático en una población infantil marginal de Maracaibo, Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v.47, n.1, p.23–28, 1997.

ANDRADE, E.C. B.; BARROS, A.M.A.; MAGALHÃES, C. P.; CASTRO, L.L.; TAKASEI, C. I. Comparação dos teores de cobre e zinco em leguminosas cruas e após serem processadas termicamente em meio salino e aquoso. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n.3, p.316-318, 2004.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SANTOS, A.A.; SOBRINHO, C.A.; BASTOS, E.A. et al. Sistemas de Produção: 2. Cultivo do Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002.

ANTUNES, P.L.; BILHALVA, A.B.; ELIAS, M.; SOARES, G.J.D. Valor nutricional de Feijão (*Phaseolus Vulgaris*, L.), cultivares Rico 23, Carioca, Piratã-1 e Rosinha-G2. *Revista Brasileira de Agrociência*. v. 1, n.1, 1995.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. AOAC 2005 Método nº 923.03, item 9.2.39, p. 46 – ICP. 18ª edição. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International, Gaithersburg, MD. 18ª edição, 3ª revista. 2005.

ARAÚJO, J.P.P. et al. **Cultura do caupi, [*Vigna unguiculata* (L.) Walp].; descrição e recomendações técnicas de cultivos**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1984. 82p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular técnica, 18)

ARAÚJO, J.P.P.; WATT, E. E. (Org.). **O Caupi no Brasil**. Brasília: IITA/EMBRAPA, 1988. 722p.

BARAMPAMA,Z.; SIMARD, R.E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, in-vitro starch digestibility and nutritive value of common beans. *Plant Foods for Human Nutrition*, Alemanha, v. 48, n. 4, p. 349-365, 1995.

BARRETO, A.L.H.; FRANCO, L.J.D.; MOURA, R.M.; SANTOS, A.M.F. et al. Avaliação dos conteúdos de ferro, zinco e proteína em linhagens de feijão-caupi tipo verde. In: **Reunião**

Anual de Biofortificação no Brasil, 3, 2009, Aracaju, SE. Anais. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009. 1 CD-ROM.

BASSINELLO, P.Z.; Retenção de minerais em arroz e feijão. In: Reunião de biofortificação no Brasil, 4., 2011. Teresina. Palestras e resumos... Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

BENDER, A.E. Effects on nutritional balance: antinutrients. In: WATSON, D.H. *Natural toxicants in food: progress and prospects*. London : *Ellis Horwood International Publishers*, p.110-124, 1987.

BHUTTA, Z.A.; BIRD, S.M.; BLACK, R.E.; BROWN, K.H. et al. Therapeutic reffects of oral zinc in acute and persistent diarrhea in children in developing countries: Pooled analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.72, p.1516–1522, 2000.

BIANCHI, M.L.P.; SILVA, H.C.; OLIVEIRA, J.E.D. Considerações sobre a disponibilidade de ferro nos alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v.42, n.2, p.94-100, 1992.

BLAIR, M.W. et al. Inheritance of seed iron and zinc concentration in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Molecular Breeding*, Dordrecht, v.23, n.2, p.197-207, 2009.

BOISEN, S.; EGGUM, B.O. Critical evaluation of *in vitro* methods for estimating digestibility in simple stomach animals. *Nutrition Research Reviews*, v. 4, p.141-162, 1991.

BOSSO, S. T.; ENZWEILER, J. Ensaio para determinar a biodisponibilidade de chumbo em solos contaminados. (revisão). *Química Nova*, v. 31, n.2, p. 394-400, 2008.

BRASIL. Embrapa Tabuleiros Costeiros Meio Norte. BRS Xiquexique – Cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco. Acesso em janeiro de 2012.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Arroz e Feijão. Disponível em <http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/feijão/2008>. Acesso em janeiro de 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Guia Alimentar para a população brasileira: Promovendo a alimentação saudável. Brasília, p.14, 20, 54, 62, 149, 152. 2005. Acesso em janeiro de 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Guia alimentar para a população brasileira. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Portaria nº 85 de 06 de março de 2002. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2002. Seção 1, Anexo 12.2002. Acesso em janeiro de 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998.** Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes). Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>. Acesso em agosto de 2014.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz (São Paulo) Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3ª ed. São Paulo, v.1, 1985.

BRESSANI, R. Tannin in common beans: *Food Reviews International*, v.9, n.237, 1993.

BRESSANI, R. "Nutritive value. In: Cowpea Research Production and Utilization". Edited by Singh S. R. and Rachies K.O.; John Wiley and Sons New York USA.1985.

BRIGIDE, P. Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior Luiz de Queiroz - Piracicaba, 58p. 2002.

BRITO, L.L.; Barreto, M.L.; Silva, R.C.R. Risk factors for iron-deficiency anemia in children and adolescents with intestinal helminthic infections. *Revista Panamericana de Salud Publica*. v. 14, n.6, p.422-431, 2003.

BURATTO,J.S. Teores de Minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos. Tese- Universidade Federal de Lavras-UFLA-Lavras- MG, 147p. 2012.

BURR, H.K Cookability and flatulence studies with dry beans. In: **Simpósio Brasileiro de feijão**. 2: p. 499-536, 1971.

BURR, H.K.; MORRIS, H.J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. *Food Technology*, v.22, p.336-9, 1968.

CAIRO, G. et al. The iron regulatory proteins: targets and modulators of free radical reactions and oxidative damage. *Free Radical Biology & Medicine*, San Diego, v. 32, n. 12, p. 1237-1243, 2002.

CALESNICK, B.; DINAN, A.M.. Zinc deficiency zinc toxicity. *American Family Physician*, v.37, p.267-70, 1988.

CANÇADO, R.D.; CHIATTONE, C.S. Anemia de doença crônica. *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia*, v.4, p.127-136, 2002.

CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SILVA F. C. Enhancers and inhibitors of iron availability in legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 58, n.3, p.1-8, 2003.

CARVALHO, M.C.; BARACAT, E.C.E.; SGARBIERI, V.C. Anemia Ferropriva e Anemia de Doença Crônica: Distúrbios do Metabolismo de Ferro. *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas, v.13, n.2, p. 54-63, 2006.

CARPENTER, C.E.; MAHONEY, A. Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, v.31, p. 333-367, 1992.

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

CASTELLANOS, J. Z. *et al.* Effects of hardshell character on cooking time of common beans grown in the semiarid highlands of Mexico. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 69, n. 4, p. 437-443, 1995.

CHERYAN, M. Phytic acid interactions in food systems, CRC *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.13, n.4, p.297-335, 1980.

CHIARADIA, A.C.N.; GOMES, J.C. **Feijão: química, nutrição e tecnologia**. Viçosa: Fundação Arthur Bernades, 1997, 180p.

Codex Alimentarius Commission. Guidelines for use of nutrition claims. Rome: FAO, 1997. [Joint FAO/WHO Food Standards Program, CAC/GL 23–1997; revised 2004.

COELHO, C.M.M.; BELLATO, C.M., SANTOS, J.C.P.; ORTEGA, E.M.M. *et al.* Effect of phytate and storage conditions on the development of the hard to cook phenomenon in common beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 87, n.7, p.1237-1243, 2007.

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

COENDERS, A. **Química culinária**. Zaragoza: Acribia, 1996.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. – v. 1, n.1 (2013) – Brasília : Conab, 2013- v. Mensal Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CONAB. Indicadores Agropecuários. Balança Comercial do Agronegócio. Balança Importação. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/download/indicadores/0206-balanca-importacao.pdf>. Acesso em fevereiro de 2012.

CORRÊA, M.M. Avaliação da qualidade tecnológica de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) de sete cultivares, quanto à: absorção de água, tempo de cozimento, *hard-shell* e, aos teores de ferro e zinco antes e após diferentes métodos de cozimento doméstico. Dissertação. 66p. 2007.

COSTA, G.; QUEIROZ-MONICI, K.; REIS, S.; OLIVEIRA, A. Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, v. 94, n.3, p.327-330, 2006.

COSTA, G.R.; RAMALHO, M.A.O.; ABREU, A.F.B. Variabilidade para absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. *Ciência e Agrotecnologia*, v.25, n.4, p.1017-1021, 2001.

COZZOLINO, S.M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 3ª Ed. São Paulo: Manole, 2009.

COZZOLINO, S.M.F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. Barueri - SP. Editora Manole Ltda. Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP. Brasil. 2005.p.76-87.

CRUZ, G. A. D. R. et al. Protein quality and *in vivo* digestibility of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 6, n.2, p.157-162, 2003.

DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M.B.S. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 4725, n.3, p. 193-202, 2003.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. *Química de Alimentos de Fennema*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DEAN, J. R.; MA, R. Approaches to assess the oral bioaccessibility of persistent organic pollutants: a critical review. *Chemosphere*, v. 68, n.8, p.1399-1407, 2007.

DEEGAN, H.; BATES, H.; McCARGAR, L. Assessment of iron status in adolescents: dietary, biochemical and lifestyle determinants. *Journal Adolescent Health*, v.37, p.75, 2005.

DELLA MODESTA, R.C.; GARRUTI, R.S. Estudo do tempo de cozimento de cultivares de soja do Paraná. 2º Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, Brasília-DF. 1981.

DE MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação da disponibilidade de Ferro de feijão Comum (*Phaseolus Vulgaris* L.) em comparação com carne bovina. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.26,n.2, p.270-276, 2006.

DINIZ, M. C.; DA SILVA, C. L.; ARAGÃO, N.L.L.; BARBOSA MUNIZ, M.; FERREIRA, G. M.; DE OLIVEIRA, M.R.T. Caracterização química e tecnológica de 4 variedades de feijão macasar verde (*vigna unguiculata* (l.) walp) comercializadas e consumidas no município de campina grande – Pb. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.3, n.1, p. 91-100, 2001.

DOVLO, F.D.; WILLIAMS, C.E.; ZOAKA, L. Cowpeas: home preparation and use in West Africa. Internatinal Development Resource Center, Ottawa, Canada. Elias, L.G., Hernandez. 1976.

EMBRAPA. O Feijão na Alimentação. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/folhetos/feijao.pdf>. Acesso em fevereiro de 2012.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Cultivo do Feijoeiro Comum. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-8869 Versão eletrônica Jan/2003. Acesso em fevereiro de 2012.

EMBRAPA MEIO-NORTE Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/index.htm>. Acesso em fevereiro de 2012.

EMBRAPA– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Imprensa – Notícias. Dia de campo apresenta feijão mais nutritivo. Disponível em: http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2008/julho/5ªsemana/.emb_apa-realiza-dia-de-campo-para-mostrar-feijao-maisnutritivo.2010. Acesso em fevereiro de 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. O cultivo de feijão: Recomendações técnicas. Brasília: 1994, 83p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/historia.htm>, Acesso em fevereiro de 2012.

EMBRAPA. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/index.htm>, Acesso em fevereiro de 2012.

EHLERS, J.D.; HALL, A.E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Field Crops Research*, v. 53, p.187-204,1997.

FAO. Base de dados FAOSTAT. Disponível em: <http://apps.fao.org>. Acesso em fevereiro de 2012.

FAO. **FAOSTAT** - agricultural statistics database. [online]. Rome: World Agricultural Information Centre, 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em fevereiro de 2012.

FAO (Roma). *Necesidades de vitamina A, hierro, folato y vitamina B12*: Informe de uma consulta mista FAO/OMS de expertos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1991. 121p. (Serie Estudios FAO Alimentación y Nutrición)

FACHMANN, W.; SOUCL, S.W.; KRAUT, H. *Food Composition and Nutrition Tables*, p. 1182, Boca Raton: CRC Press. 2000.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ. Programa de Aumento das Vendas dos Produtos Paranaenses – Feijão. Paraná: FIEP, 2006. Disponível em: www.fiepr.org.br/fiepr/conselhos/agroindustria_alimentos/uploadAddress/Relat%C3%B3rioFeij%C3%A3o0506.pdf. Acesso em fevereiro de 2012.

FENNEMA, O.R.; PARKIN, K.L.; DAMODARAN, S. *Química de Alimentos de Fennema*, 4ª edição, Artmed, 2010.

FENNEMA, O. R.; PARKIN, K.; DAMODARAN, S. *Food Chemistry*. 4ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, I.; PÉREZ-GÁLVEZ, A. In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, v. 29, p.751–760, 2009.

FERREIRA, C. M.; DEL PELOSO, M. J.; DE FARIA, L.C. **Feijão na economia nacional. Embrapa Arroz e Feijão**, 47 p. – (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644;135). Santo Antônio de Goiás: 2002.

FERREIRA, J.M.; SILVA, P.S.L. Produtividade de “feijão verde” e outras características de cultivares de caupi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.1, n.22, p.55-58, 1987.

FERREIRA, J.; GOMES, J. **Gerenciamento de Laboratórios de Análises Químicas**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes. p. 378. 1995.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. 412 p.

FRANCO, L. J. D.; BARRETO, A. L. H.; ROCHA, F. B.; SANTOS, A. C.; MEDEIROS, A. M. et al. Avaliação dos teores de ferro, zinco e proteína em linhagens de feijão-caupi tipo fradinho. In: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 3., 2009, Aracaju, SE. Anais. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009. 1 CD-ROM.

FREIRE FILHO, F.R.; ROCHA, M.M.; RIBEIRO, V.Q.; SITTOLIN, I.N. Avanços e perspectivas da cultura do feijão-caupi. In: Albuquerque ACS and Silva AG. (Ed.) Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, v.1, p.235–250, 2008.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; BARRETO, P.D.; SANTOS, A.A. Melhoramento genético. In: Freire Filho FR et al. (Ed.) Feijão caupi: avanços tecnológicos. Editora Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2005. p. 29-92.

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

FREIRE FILHO, F.R. (Genética do caupi . In: Araújo JPP de and Watt E E (Org.) O caupi no Brasil. Editora ITA/Embrapa, Brasília, 1988. p. 194-222.

FREIRE, W.B. La anemia por deficiencia de hierro: estrategias de la OPS/OMS para combatirla. *Salud Publica Mex.* v.40, p.199-205,1998.

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M.G.; ARAUJO, M.A.M. et al. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata L. Walp.*) na elaboração de produtos da panificação. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.30, suppl. 1, p.44-50, 2010.

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

GARCIA, E.; LAJOLO, F. M. Starch alterations in hard-to cook beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v.42, p. 612,1994.

GARCIA-VELA, L.A.; STANLEY, D.W. Water-holding capacity in hard-to-cook bean (*P. Vulgaris L.*): effect of ph and ionic strength. *Journal of Food Science*, Chicago, v.54, n.4, p. 1080-1081, 1989.

GAUCHERON, F. Iron fortification in dairy industry. *Trends in Food Science & Technology*, v.11, p. 403-409, 2000.

GEIL, P.B.; ANDERSON, J.W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. *Journal of the American College of Nutrition*, v.13, n. 6, p. 549-558, 1994.

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

GISBERT-GONZÁLEZ, S.L.; TORRES-MOLINA, F. Zinc uptake in five sectors of the rat gastrointestinal tract: Kinetic study in the whole colon. *Pharmaceutical Research*, v.13, n.8, p.1154-1161,1996.

GOYCOOLEA, F.; MEJÍA, E.G.; BARRÓN, J.M. Efeito de los tratamientos caseros en la preparación de frijol Pinto (*Phaseolus vulgaris*, L.) sobre el contenido de taninos y valor nutritivo de las proteínas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v.40, n.2, p.263-274, 1990.

GLAHN, R.P.; CHENG, Z.; WELCH, R.M. Comparison of iron bioavailability from 15 rice genotypes: Studies using an in vitro digestion/caco-2 cell culture model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.50, p.3586-359, 2002.

GRANGEIRO, T.B. et al. Composição bioquímica da semente. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Eds.). Caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 337-365. 2005.

HAMBRIDGE, K.M.; CASEY, C.E.; KREBS, N.F. Zinc. In: Mertz W, ed. *Trace elements in human and animal nutrition*, 5th ed. Volume 2. Orlando, FL, Academic Press, p.1-137, 1987.

HALSTED, J.A. Zinc deficiency in man – the Shiraz experiment. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.43, 1972.

HEMALATHA,S.; PLATEL, K.; KRISHNAPURA,S.(a). Zinc and iron contents and their bioaccessibility in cereals and pulses consumed in India. *Food Chemistry*, v.102, p.1328-1336, 2007.

HEMALATHA, S.; PLATEL, K.; KRISHNAPURA,S. (b). Influence of heat processing on the bioaccessibility of zinc and iron from cereals and pulses consumed in India. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. v. 21, n.1, p. 1-7, 2007.

HIANE, P. A. et al. Carotenóides pró-vitamínicos A e composição em ácidos graxos do fruto e da farinha de bacuri (*Scheelea phalerata* Mart.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, n. 2, p. 206-209, 2003.

HINCKS, M.J.; STANLEY, D.W. Multiple Mechanisms of bean hardening. *Journal of Food Technology*. v. 21, p.723-750, 1986.

HOUSE, W.A.; WELCH, R.M.; BEEBE, S.; CHENG, Z. Potencial for increasing the amounts for bioavailable zinc in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L) through plant breeding. *Journal of Science Food and Agricultural*, v.82, p.1452-1457, 2002.

HOUSE, W.A. Trace element bioavailability as exemplified by iron and zinc. *Field Crops Research*, v. 60, p. 115-141, 1999.

HUNT J.M. Reversing productivity losses from iron deficiency: the economic case. *Journal Nutrition*. v.132: p.794S-801S, 2002.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). POF 2008-2009: mais de 90% da população comem poucas frutas, legumes e verduras.[Online].(2011). Disponível

em:www.ibge.gov.br/home/presidencia/.../noticia_visualiza.php?... Acesso em janeiro de 2012.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). IBGE, 2010. Disponível em:www.ibge.gov.br/home/presidencia/.../noticia_visualiza.php?... Acesso em janeiro de 2012.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). IBGE, 2006 – IBGE. Censo Agropecuário 2006. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/>. Acesso em agosto de 2014.

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

IQBAL, A.; KHALIL, I. A.; SHAH, H. Nutritional yield and amino acid profile of rice protein as influenced by nitrogen fertilizer. *Sarhad Journal of Agriculture*, Peshawar, v. 19, n. 1, p. 127-134, 2003.

INTAWONGSE, M.; DEAN, J. R. Use of the physiologically-based extraction test to assess the oral bioaccessibility of metals in vegetable plants grown in contaminated soil. *Environmental Pollution*, v.152, p.60–72, 2008.

IZINCG. Fortificação com zinco. Resumo Técnico, n.4. Disponível em:
http://www.izincg.org/pdf/Portuguese_brief4.pdf?PHPSESSID=692cf89ef928ae65cff2452b2b1e bc4c. 2007. Acesso em fevereiro de 2012.

KIGEL, J. Culinary end nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as effected by environmental factors. *Biotechnology Agronomy Society Environment*, v.3, n.4, p. 205-209, 1999.

KING, J. C.; SHAMES, D. M.; WOODHOUSE, L. Zinc homeostasis in humans. *Journal of Nutrition*, Bethesda, v. 130, (Supl.), n. 5, p.1360-1366, 2000.

KRAEMER, K.; ZIMMERMANN, M.B. "Nutritional Anemia", Sight and Life Press, ISBN 3-906412-33-4. 2007.

KRISHNAN,R.; DHARMARAJ, U.; MALLESHI, N.G. Influence of decortication, popping and malting on bioaccessibility of calcium, iron and zinc in finger millet. *LWT Food Science and Technology*, v. 48, p. 169-174. 2012.

KUMAR, V.; SINHA, A. K.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A Review, *Food Chemistry*, v.120, p.945-959, 2010.

KUSHNER, J.P. Anemias hipocrômicas. In: Wyngaarden JB, Smith LH, Bennett JC. Cecil - Tratado de Medicina Interna. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 1993; p.858-865.

KUTOŠ, T.; GOLOB, T.; KAČ, M.; PLESTENJAK, A. Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*, v.80, p.231–235, 2003.

LAKSHMI, A.J.; KAUL, P. Nutritional potential, bioaccessibility of minerals and functionality of watermelon (*Citrullus vulgaris*) seeds. *LWT-Food Science and Technology*, v. 44 p.1821-1826, 2011.

LESTIENNE, I.; ICARD-VERNIERE, C.; MOUQUET, C.; PICQ, C.; TRECHE, S. Effect of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, v.89, p.421-425, 2005.

LIMA FREIRE, S.M.C. Caupi. Agronomia. Universidade Federal do Piauí. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Fitotecnia. Teresina. Piauí, 2004.

LUTEN, J.; CREWS, H.; FLYNN, A.; DAEL, P.V.; KASTENMEYER, P.; HURREL, R.; DEELSTRA, H.; SHEN, L.H.; FAIRWEATHER TAIT, S.; HICKSON, K.; FARRE, R.; SCHLEMMER, U.; FROHLICH, W.J. Inter-laboratory trial on the determination of *in vitro* dialysability from food. *Journal of Science Food Agricultural*, v. 72, p.415-424,1996.

MACPHAIL, A.P. Iron deficiency and the developing world. *Archivos Latinoamericano Nutrição*, Suppl, v.51, n.1, p.2-6, 2001.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. “Importância do zinco na nutrição humana”. *Revista de Nutrição*, v. 17, n.1, p. 79, 2004.

MAFRA, R. C. Contribuição ao estudo da cultura do “feijão macassar”, fisiologia, ecologia e tecnologia da produção. In: Curso de treinamento para PESQUISADORES DE CAUPI, I., Goiânia, 1979. Assuntos. Goiânia, EMBRAPA-CNPAAF, 1979. p.i.

MAFRA, R.C. **Curso de atualização na cultura do feijoeiro** 1977, 29p. (Apostila).

MAIA, F.M.M. et al. Proximate composition, amino acid content and haemagglutinating and trypsin-inhibiting activities of some Brazilian *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.80, n.4, p. 453-458, 2000.

MANDELBAUM-SCHMID, J: New generation of non-profit initiatives tackles world’s neglected diseases. *Bull World Health Organ*,v.82, n.5, p.395-396, 2003.

MARINHO, J.T.S.; PEREIRA, R.C.A.; COSTA, J.G. **Caracterização de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em plantios no Acre**. EMBRAPA ACRE. Boletim de Pesquisa, n. 31, set. 2001. Disponível em: <<http://www.cpaafac.embrapa.br/pdf/bp31.pdf> >. Acesso em: agosto de 2014.

MARTÍNEZ-MANRIQUE, E.; JACINTO-HERNÁNDEZ, C.; GARZA-GARCÍA, R. et al. Enzymatic changes in pectic polysaccharides related to the beneficial effect of soaking on bean cooking time. *Journal of Science Food Agricultural*, v.91, n.13, p.2394-2398, 2011.

MAYER, J.E.; PFEIFFER, W.H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current Opinion in Plant Biology*, v.11, n.2, p.166-170, 2008.

MECA, G.; MAÑES, J.; FONT, G.; RUIZ, M.J. Study of the potential toxicity of commercial crispy breads by evaluation of bioaccessibility and bioavailability of minor Fusarium mycotoxins. *Food and Chemical Toxicology*, 2011.

MENEZES, E.W et al. Perfil da ingestão de fibra alimentar e amido resistente pela população brasileira nas últimas três décadas. In *Fibra dietética en Iberoamérica tecnología y salud Obtección, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos*. São Paulo: Ed. Varela. p.165-178. 2000.

MILLER, D.; SCHRICKER, B.; RASMUSSEN, R. et al. An in vitro method for estimation of iron availability from meals. *American journal of Clinical Nutrition*, v. 34, p.2248-2256, 1981.

MOREIRA-ARAÚJO, R.S.R.; FROTA, K.; MENESES, M.N.A.; MARTINS, L.S. MORGANO, M.A. Teor de minerais de produtos elaborados com farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar tracueteua – 235. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI/6 REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI. 2006, Teresina. **Anais**.Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006, v. 1. CD-ROOM.

MURPHY, E.W.; CRINER, P.E.; GRAY, B.C. Comparisons of Methods for Calculating Retentions of Nutrients in Cooked Foods. *Journal Agricultural Food Chemistry*, v.23,n.6 p.1153-1157,1975.

NESTEL, P. et al. Biofortification staple food crops. *Journal of Nutrition*, Philadelphia, v. 136, n.4, p. 1064-1067, 2006.

NEUMAN, N.A.; TANAKA, O.T.; SZARFARC, S.C. Et al. Prevalência e fatores de risco para anemia no sul do Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v.34, p.56-63, 2000.

NOGUEIRA, L.C.A. Feijão – Origem e Características Culturais. Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. Disponível em: www.fait.edu.br/revistas/agrarias/1semestre08/05.pdf 2005. Acesso em fevereiro de 2012.

NUTTI, M.R.; ROCHA, M.M.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. et al. Biofortificação de feijão-caupi no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belem, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: Anais. Belém, PA: Embrapa Amazonia Oriental, 2009. p. 26-38. 1 CD-ROM.

OIKEH, S.O.; MENKIR, A.; MAZIYA-DIXON, B.; WELCH, R.; GLAHN, R.P. Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of early-maturing tropical maize varieties. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, v.51, p.3688-3694, 2003.

OLIVEIRA, J.E.D. **O Feijão na Alimentação/ Nutrição do Brasileiro: Ontem e Amanhã**. São Paulo: USP, 2008.

OLIVEIRA, M A.A.; OSÓRIO, M. M.; RAPOSO, M. C. F. Concentração de hemoglobina e anemia em crianças no Estado de Pernambuco, Brasil: fatores sócio-econômicos e de consumo alimentar associados. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v.22, n.10, p.2169-2178, 2006.

OLIVEIRA, A. C. de et al. O processamento doméstico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e em fatores de flatulência rafinose, estaquiase e verbascose. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, Venezuela, v. 51, n. 3, p. 276-283, 2001.

OLIVEIRA, A.C.; REIS, M. S. M. P.; LEITE, E. C.; VILELA, E.S.D. Uso doméstico da Maceração e seu efeito no valor nutritivo do Feijão-Comum (*Phaseolus Vulgaris, L.*). *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 12, n.2, p.191-195, 1999.

OLIVEIRA, F.J. Combinações de espaçamentos e populações de plantas de caupi e de milho em monocultura e consorciadas. *Revista PAB. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.28, n.8, 1993.

OLIVEIRA, I.P.; CARVALHO, A.M. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmidos de semiárido do Brasil. In: ARAÚJO, J.P.P. & WATT, E.E. O caupi no Brasil. Brasília: EMBRAPA-CNPAP, p. 65-69,1988.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. **A cultura do caupi nas condições dos trópicos úmidos e semi-árido no Brasil**. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1987, 18p.

OLOGHOBO, A.D.; FETUGA, B.L. Effect of processing on the trypsin inhibitor, haemagglutinin, tannic acid and phytic acid contents of ten cowpea varieties. *Tropical Agriculture*, v.61, p. 261-264, 1984.

OLOGHOBO, A.D.; FETUGA, B.L. Compositional differences in some limabean (*Phaseolus lunatus*) varieties. *Food Chemistry*, v.10, n.1, p. 297-307, 1983.

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

OOMEN, A. G.; HACK, A.; MINEKUS, M.; ZEIJDNER, E.; CORNELIS, C.; SCHOETERS, G.; VERSTRAETE, W.; WIELE, T. V.; WRAGG, J.; ROMPELBERG, C. J.

M.; SIPS, A. J. M.; WIJNEN, J. H. V. Comparison of five in vitro digestion models to study the bioaccessibility of soil contaminants. *Environment Science and technology*, v. 35, n.36, p. 3326-3334, 2002.

ORNELLAS, L. H. **Técnica dietética: seleção e preparo de alimentos**. São Paulo: Atheneu 8. ed. Revista e ampliada e renovada. 2007. p.72-76.

ORTIZ-MONASTERIO, J.I. et al. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science*, London, v.46, n.3, p.293-307, 2007.

PARADA, J.; AGUILERA, J.M. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, v.72, p.21-32, 2007.

PHILLIPS, R.D.; MCWATTERS, K.H.; CHINANNAN, M.S.; HUNG, Y.; BEUCHAT, L.R.; SEFA-DEDEH, S et al. Utilization of cowpeas for human food. *Field Crops Research*, v.82, p. 193–213, 2003.

PLHAK, L.C.; CALDWELL, K.B.; STANLEY, D.W. Comparison of methods used to characterize water inhibition in hard-to-cook beans. *Journal of Food Science*, v.54, n.3, p.326-336, 1989.

PRASSAD, A.S. Zinc deficiency in elderly persons. *Nutrition*, v. 9, p.27-34, 1988.

PRASSAD, A.S. Zinc metabolism in patients with the syndrome of iron deficiency, anemia, hepatosplenomegaly, dwarfism and hypodonadism. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, v. 61, p.118-130, 1963.

PREET, K.; PUNIA, D. Proximate composition, phytic acid, polyphenols and digestibility (*in vitro*) of four brown cowpea varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, Oxford, v. 51, n. 3, p. 189-193, 2000.

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

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

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A.J.; COSTA, N.M.B.; REIS, F.P. Zinc bioavailability in different beans as affected by cultivar type and cooking conditions. *Food Research International*, v. 43, p.573-581, 2010.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A.J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n.1, p. 200-213, 2008.

RÁMIREZ- CÁRDENAS, L. de L. A. Valor nutricional, biodisponibilidade de ferro e zinco e efeitos funcionais de diferentes variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidas a tratamentos domésticos: estudo em ratos. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 171p.

RANG, H. P.; DALE, M. M.; MOORE, P. K. **Farmacologia**. 5ª. ed. Elsevier Editora Ltda, 2003.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; FARONI, L. R. D.; CECON, P. R. Avaliação da qualidade Tecnológica e Proteica do Feijão durante o armazenamento. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.2, p. 517-524, 2008.

RIBEIRO, V.Q.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SANTOS, A.A.; SOBRINHO, C.A. et al. Embrapa Meio-Norte. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/Feijaocaupi/in_dex.htm>. Acesso em fevereiro de 2012.

RINCON, F.; ROS, G.; COLLINS, J. Mineral loss in cowpeas (*vigna unguiculate* L.) by pressure heating in water. *Journal of Food Science*. USA, v. 58, n. 4, p. 856-859, 1993.

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

RIOS, A.O.; ABREU, C.M. P.; CORREA, A.D. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.26, n.3, p. 545-549, 2002.

RIOS, A. de O. **Avaliação da época de colheita e do armazenamento no escurecimento e digestibilidade de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 59p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, 2000.

ROCHA, M.M.; DAMASCENO-SILVA, K.J.; FREIRE FILHO, F.R.; CARVALHO, H. W.L. et al. Biofortificação do feijão-caupi no Brasil: resultados e perspectivas. In: **IV Reunião de Biofortificação no Brasil**, Teresina, Anais. Embrapa Agroindústria de Alimentos/Embrapa Meio-Norte, 1 CD-ROM, 2011.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; BARRETO, A. L. H. et al. Biofortificação do feijão-caupi no Brasil: estado atual e perspectivas. In: **REUNIÃO**

ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 3., 2009a, Aracaju, SE. Anais. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009a. 1 CD-ROM.

ROCHA, M.M.; SANTOS, A.M.F.; VILARINHO, A.A.; BARRETO, A.L.H. et al. Estimativas de parâmetros genéticos (G), ambientais (A) e da interação G x A para os conteúdos de ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi. In: **Reunião Anual de Biofortificação no Brasil**, 3., 2009b, Aracaju, SE. Anais. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009b. 1 CD-ROM.

ROCHA, M.M.; FREIRE FILHO, F.R.; DAMASCENO-SILVA, K.J.; RIBEIRO, V.Q. et al. Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 3p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 212). 2008a.

RODRIGUES, J.A.; RIBEIRO, N.D.; LONDERO, P.M.G.; FILHO, A.C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.1, p. 209-213, 2005a.

RODRIGUES, J.A.; RIBEIRO, N.D.; FILHO, A.C.; TRENTIN, M. et al. Qualidade para o cozimento de grãos de feijão obtidos em diferentes épocas de semeadura. *Bragantia*, v. 64, n.3, p. 369–376, 2005b.

RODRIGUES, M.A. C. **Formulação de produtos alimentícios à base de misturas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e sorgo granífera (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)**. Fortaleza, UFL, 1986. 82p. (Tese de Mestrado).

ROODENBURG, A.J.C. Iron supplementation during pregnancy. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, v.61, p.65-71, 1995.

ROUGHEAD, Z.K et al. “Initial uptake and absorption of nonheme iron and absorption heme iron in humans are unaffected by the addition of calcium as cheese to a meal with high iron bioavailability”. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.76, p. 419-25, 2002.

RUBY, M. V.; SCHOOF R.; BRATTIN W.; GOLDADE M.; POST G.; HARNOIS M.; MOSBY D. E.; CASTEEL S. W.; BERTI W.; CARPENTER M.; EDWARDS D.; CRAGIN D.; CHAPPELL D W. Advances in Evaluating the Oral Bioavailability of Inorganics in Soil for Use in Human Health Risk Assessment. *Environment Science Technology*, v. 33, p. 3697–3705, 1999.

SAHUQUILLO, A.; BARBERÁ, R.; FARRÉ, R. Bioaccessibility of calcium, iron and zinc from three legume samples. *Nahrung Food*, v. 47, n.6, p.438-441, 2003.

SANDBERG, A.S. Bioavailability of minerals in legumes. *British Journal of Nutrition*, v.88, Suppl. 3, S281–S285, 2002.

SATHE, S.K.; DESHPANDE, S.S.; SALUNKHE, D.K. Dry beans of Phaseolus. A review. Part 2. Chemical composition: carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Cleveland, v.21, n.2, p.41-91, 1984.

SCHOLZ, M.B.S.; FONSECA JÚNIOR, N.S. Efeitos de ambiente, dos genótipos e da interação genótipos x ambiente na qualidade tecnológica do feijão do grupo cores no Estado do Paraná. In: **Renafe – Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão**, 6. 1999, Salvador, BA. *Resumos expandidos* Goiânia: EMBRAPA-Arroz e Feijão, 1999a. v.1, p.339-342, (Documentos, 99).

SCHOLZ, M.B.S.; FONSECA JÚNIOR, N S. Influência ambiental, genotípica e sua interação na qualidade tecnológica do feijão do grupo preto no Paraná. In: **Renafe – Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão**, 6., 1999, Salvador, BA. *Resumos expandidos* (Documentos, 99),Goiânia: EMBRAPA-Arroz e Feijão, 1999b, p.389-392.

SCHUMANN, K.; CLASSEN, H. G.; HAGES, M.; PRINZ-LANGENOHL, R.; PIETRZIK, K.; BIESALSKI, H.K. Bioavailability of oral vitamins, minerals, and trace elements in perspective. *Arzneimittelforschung*, v.47, n.4, p.369-380,1997.

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. DERAL - Departamento de Economia Rural. Feijão - Análise da Conjuntura Agropecuária. Outubro de 2013. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/feijao_2013_14.pdf Acesso em junho de 2014.

SEFA-DEDEH, S.; STANLEY, D.W.; VOISEY, P.W. Effect of soaking time and cooking conditions on texture and microstructure of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Science*, v.43, p.1832-1838,1978.

SENA, K.C.M.; PEDROSA, L.F.C. Efeitos da suplementação com zinco sobre o crescimento, sistema imunológico e diabetes. *Revista de Nutrição*, v.18, n.2, p. 251-259, 2005.

SHANKAR, A.H.; PRASAD, A.S. Zinc and immune function: The biological basis of altered resistance to infection. *American Journal Clinical Nutrition*, v.68, (suppl. 2), p. 475- 635, 1998.

SHANKAR, A.H.; PRASAD, A.S. Zinc and immune function: The biological basis of altered resistance to infection. *American Journal of Clinical Nutrition*. v.68, (suppl.2), p. 475- 635,1998.

SHRIMPTON, R.; GROSS, R.; DARNTON-HILL, I.; YOUNG, M. Zinc deficiency: what are the most appropriate interventions? *British Medical Journal*, n.330, p. 347-349, 2005.

SILVA, A.P.R.; CAMARGO, C.N. Fortificação de alimentos: instrumento eficaz no combate a anemia ferropriva? *Comunicados em Ciências e Saúde*, n.17, (supl.1), p.53-61, 2006.

SILVA, P.S.L.; OLIVEIRA, C.N. Rendimentos de feijão verde e maduro de cultivares de caupi. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.11, n.2, p. 133-135, 1993.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**, 2^o ed. Impr. Univ, UFV, Viçosa, 1990, 165p

SOARES, L.A.; BASSINELLO, P. Z.; KOAKUZU, S. N.; EIFERT, E. C.; PELOSO, M.J.D.; Fibra alimentar em feijão comum e feijão-caupi. Documentos, IAC, Campinas, v.85, p. 1185-1188,2008.

STANLEY, D.W.; AGUILERA, J.M. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes: the influence of structure and composition. *Journal of Food Biochemistry*, v.9, n.4, p.277-323, 1985.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Campinas: NEPAUNICAMP, 2004. 42p.

TAIWO, K.A.; AKANBI C.; AJIBOLA O.O.The effects of soaking and cooking time on the cooking properties of two cowpea varieties. *Journal Food Engineering*, v. 33, p.337-346, 1997.

THARANATHAN, R.; MAHADEVAMMA, S. Grain legumes – a boon to human nutrition. *Trends Food Science and Technology*, v.14, p.507–518, 2003.

TEIXEIRA,P.; NERY, C.; FUJIMORI, E. Conhecimentos e práticas de educadoras infantis sobre anemia. *Revista Brasileira Saude Materno Infantil*. Recife, v. 6, n.2, p. 209-216, 2006.

TOGNON, A.L. **Quantificação e avaliação da Bioacessibilidade in vitro de micro e macroelementos em frutas, hortaliças e cereais**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, 2012.

TORRES, M.A.A.; LOBO, N.F.; SATO, K. Fortificação do leite fluido na prevenção e tratamento da anemia carencial ferropriva em crianças menores de 04 anos. *Revista de Saúde Pública*, v. 30, n.4, p.350-357, 1996.

UNICEF. **Situação mundial da infância**. Brasília, 1998. p. 92-97.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Tabela de composição de alimentos. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br.2001>. Acesso em fevereiro de 2012.

VANNUCCHI, H.; MENEZES, E.W.; CAMPANA, A.O.; LAJOLO, F.M. Aplicação das recomendações nutricionais adaptadas a população brasileira. *Caderno de Nutrição*, São Paulo, v.2, p.1-155, 1990.

VELASQUEZ-MELENDZ, G.; SALAS MARTINS, I.; CERVATO, A.M., Consumo alimentar de vitaminas e minerais em adultos residentes em área metropolitana de São Paulo, Brasil. *Revista Saúde Pública*, v.31,n. 2, p.157-162, 1997.

VERSANTVOORT, C. H.; VAN DE KAMP, E.; ROMPELBERG, C.J. Development and applicability of an in vitro digestion model in assessing the bioaccessibility of contaminants from food. *RIVM report 320102002*. 2004.

VILARINHO, A.A.; FREIRE FILHO, F.R.; MOURA ROCHA, M.; RIBEIRO, V.Q. BRS Potengi – Nova Cultivar de Feijão-caupi de Porte Semi-ereto para Cultivo em Roraima. *Comunicado 36 Técnico ISSN 1980-4032 Dezembro, 2008. Boa Vista, RR*. Disponível em: www.cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/Sintese_2010/Feijao.pdf. Acesso em fevereiro de 2012.

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

ZILLI, J.E.; VILARINHO, A.A.; ALVES, J.M.A. **A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. 356 p.

WASSIMI, N.N.; HOSFIELD, G.L.; UEBERSAX, M.A. Combining ability of tannin content and protein characteristics of raw and cooked dry beans. *Crop Science*, v.28, n.3, p.452-458. 1988.

WELCH, R.; HOUSE, W.; BEEBE, S.; CHENG, Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.48, p.3576-3580, 2000.

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

WHO/UNICEF. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva: World Health Organization, WHO/NUT/98.1,1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Deficiências de Micronutrientes. Tópicos de Saúde. Regional Office of the Western Pacific, 2005. Disponível em: http://br.search.yahoo.com/language/translatedPage?tt=url&text=http%3a//www.wpro.who.int/health_topics/micronutrient_deficiencies/general_info.htm&lp=en_pt&intl=br&fr=FP-tab-webt. (2005). Acesso em fevereiro de 2012.

YEUNG, H.; EHLERS, J.D.; WANISKA, R.D.; ALVIOLA, J.N. et al. Rapid screening methods to evaluate cowpea cooking characteristics. *Field Crops Research*, v. 112 p.245-252, 2009.

YOKOYAMA, L. P. Importância econômica. Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção. Disponível em :
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/importancia.htm>>. Acesso em fevereiro de 2012.

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