



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA - MEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO E PÓS-GRADUAÇÃO – PRPG
PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO - PPGAN

**Marcos
Serra Luz**

Dissertação de Mestrado

***QUALIDADE NUTRICIONAL E
TECNOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* L.
Walp) DE GRÃOS PRETOS ANTES E
PÓS-COZIMENTO***

Teresina, Piauí. 2023.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO
MESTRADO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO

MARCOS SERRA LUZ

**QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-
CAUPI (*Vigna unguiculata* L. Walp.) DE GRÃOS PRETOS ANTES E PÓS-
COZIMENTO**

Teresina

2023

MARCOS SERRA LUZ

**QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-
CAUPI (*Vigna unguiculata* L. Walp.) DE GRÃOS PRETOS ANTES E PÓS-
COZIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição – PPGAN da Universidade Federal do Piauí – UFPI na área de concentração Química, Bioquímica e Qualidade de Alimentos, como requisito para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

Teresina

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do CCS
Serviço de Processamento Técnico

L979q Luz, Marcos Serra.
Qualidade nutricional e tecnológica de genótipos de feijão-caupi
(*Vigna unguiculata* L. Walp.) de grãos pretos antes e pós-cozimento /
Marcos Serra Luz. -- Teresina, 2023.
76 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, 2023.
“Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha”

1. *Vigna unguiculata*. 2. Composição centesimal. 3. Minerais. 4.
Tempo de cozimento. I. Rocha, Maurisrael de Moura. II. Título.

CDD 664

MARCOS SERRA LUZ

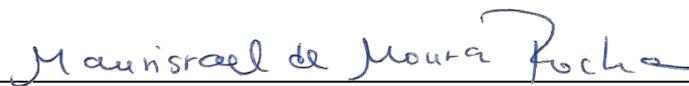
**QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-
CAUPI (*Vigna unguiculata* L. Walp.) DE GRÃOS PRETOS ANTES E PÓS-
COZIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição – PPGAN da Universidade Federal do Piauí – UFPI na área de concentração Química, Bioquímica e Qualidade de Alimentos, como requisito para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

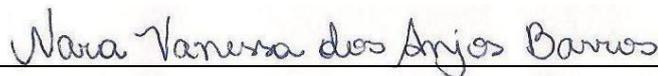
Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

Aprovado em 28 de agosto de 2023.

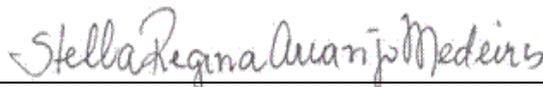
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha (UFPI / Embrapa Meio-Norte)
Orientador – Presidente



Prof.^a Dra. Nara Vanessa dos Anjos Barros (UFPI)
Examinadora Externa ao Programa



Prof.^a Dra. Stella Regina Arcanjo Medeiros (UFPI)
Examinadora Interna

À minha família, que representa o meu maior tesouro e incentivo. Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e da sabedoria. A Santo Antônio, pelo qual tenho devoção antes mesmo de nascer, a partir de uma promessa de minha mãe.

Aos meus amados pais, Milton Costa Luz e Maria de Nazaré Serra Luz, pela dedicação e incentivo ao longo de toda a minha vida. Essa conquista é de vocês.

À minha irmã, Mariana Serra Luz, e à minha sobrinha e afilhada Isabelle Serra Luz pelo companheirismo e por estarem sempre presentes no meu cotidiano e me apoiando nas minhas escolhas.

À toda minha família, pelo suporte e acolhimento de sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurisrael Rocha, por ter aceitado assumir a orientação deste trabalho, por todos os ensinamentos repassados, compreensão e paciência na condução do estudo.

À minha amiga, Janmylla Ribeiro, pelo acolhimento e pela disponibilidade de me receber em Teresina e por todo o auxílio durante a minha permanência no mestrado. Serei eternamente grato.

Às minhas amigas e colegas de trabalho, Lisandra Carvalho e Fátima Teixeira, pela ajuda durante as análises, pela parceria e pelo incentivo.

Aos servidores e estagiários da Embrapa Meio-Norte, em especial o Sr. Luís José Duarte Franco e Suzane Pereira, pela disponibilidade em ajudar-me na execução dos experimentos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, em especial ao Campus Zé Doca, meu local de trabalho, pela oportunidade de conceder-me dedicação exclusiva para cursar o mestrado.

À Universidade Federal do Piauí, por ter-me concedido a oportunidade de cursar uma pós-graduação que me permitiu qualificar-me profissionalmente.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pela disponibilização de fomento para a realização desta pesquisa, por meio do Programa Mais Qualificação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio-Norte pela oportunidade de estágio e disponibilização da estrutura necessária para a realização das análises desta pesquisa.

A todos os meus amigos/as, agradeço cordialmente por fazerem parte da minha vida.

MUITO OBRIGADO!

*“A massa que faz o pão
vale a luz do teu suor.
Lembra que o sono é sagrado
e alimenta de horizontes
o tempo acordado, de viver...”*

(Beto Guedes – Amor de Índio, 1978)

RESUMO

O feijão-caupi, além de ser uma importante fonte de proteína, é rico em outros nutrientes como carboidratos e minerais. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade nutricional e tecnológica de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto antes e pós-cozimento. A metodologia consistiu na avaliação da qualidade nutricional (umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, Valor Energético Total - VET, microminerais Ferro e Zinco) e tecnológica (retenção de nutrientes e qualidade de cozimento) de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, sendo 12 linhagens elite e 3 cultivares comerciais (Pretinho, BRS Tapaihum e BRS Guirá). As análises foram realizadas em triplicata nos grãos crus e após o cozimento. A umidade foi determinada por gravimetria em estufa a 105 °C. As cinzas foram analisadas por incineração em mufla a 550 °C. O teor de lipídeos foi determinado pelo método de extração intermitente de Soxhlet. O conteúdo de proteínas foi determinado pelo método de macro *Kjeldahl*. Os carboidratos totais foram calculados por diferença e o VET foi obtido pela soma das calorias multiplicados pelos fatores de conversão de Atwater. Os teores de Ferro e Zinco foram determinados por digestão nitro-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica de chama. A qualidade de cozimento foi determinada pelo percentual de grãos cozidos, utilizando-se panela de pressão elétrica, com o auxílio do cozedor de Mattson. O Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento (IQNC) foi utilizado para identificar os genótipos com alta qualidade nutricional e de cozimento. Os resultados foram expressos em base seca, como média \pm desvio-padrão, com as médias comparadas estatisticamente pelo teste t de *Student* e agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Após a cocção, percebeu-se aumento nos teores de umidade, lipídeos, proteínas e VET. Houve redução nos teores de cinzas, carboidratos totais, Ferro e Zinco. Os genótipos apresentaram as seguintes médias gerais na composição centesimal: umidade: 5,23 g 100g⁻¹ (grãos crus) e 5,85 g 100g⁻¹ (grãos cozidos); cinzas: 4,03 g 100g⁻¹ (grãos crus) e 2,61 g 100g⁻¹ (grãos cozidos); lipídeos: 1,53 g 100g⁻¹ (grãos crus) e 2,75 g 100g⁻¹ (grãos cozidos); teores de proteínas: 27,42 g 100g⁻¹ (grãos crus) e 29,15 g 100g⁻¹ (grãos cozidos); carboidratos: 61,79 g 100g⁻¹ (grãos crus) e 59,64 g 100g⁻¹ (grãos cozidos); VET: 370,61 Kcal 100g⁻¹ (grãos crus) e 379,64 Kcal 100g⁻¹ (grãos cozidos). Quanto aos teores de Ferro e Zinco, os genótipos apresentaram as seguintes médias: Ferro: 5,13 mg 100g⁻¹ (grãos crus) e 3,65 mg 100g⁻¹ (grãos cozidos); Zinco: 5,60 mg 100g⁻¹ (grãos crus) e 4,41 mg 100g⁻¹ (grãos cozidos). Os genótipos MNC10-982-3-7, Pretinho e MNC09-988B-20 apresentaram a melhor qualidade de cozimento, com 87, 86 e 85% de grãos cozidos, respectivamente. O cozimento, embora tenha reduzido os teores de alguns nutrientes, não provocou perdas relevantes. Os genótipos MNC09-988B-20, Pretinho e MNC09-988B-3 apresentaram melhor qualidade nutricional e de cozimento e maior retenção de nutrientes pós-cozimento. Esses genótipos podem ser utilizados como genitores em cruzamentos ou recomendados diretamente como cultivares comerciais, atendendo as necessidades do consumidor e constituindo-se em excelentes opções para o mercado de feijão-caupi de grãos pretos.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; composição centesimal; minerais; tempo de cozimento.

ABSTRACT

Cowpea, besides being an important protein source, is rich in other nutrients such as carbohydrates and minerals. The objective of this study was to evaluate the nutritional and technological quality of black cowpea genotypes before and after cooking. The methodology consisted of evaluating nutritional quality (moisture, ash, lipids, proteins, Total Energy Value - TEV, micronutrients Iron and Zinc) and technological quality (nutrient retention and cooking quality) of 15 cowpea genotypes from the commercial black class, including 12 elite lines and 3 commercial cultivars (Pretinho, BRS Tapaihum, and BRS Guirá). The analyses were conducted in triplicate on raw grains and after cooking. Moisture was determined by gravimetry at 105°C in an oven. Ash content was analyzed by incineration in a muffle furnace at 550°C. Lipid content was determined using the Soxhlet intermittent extraction method. Protein content was determined using the macro *Kjeldahl* method. Total carbohydrates were calculated by difference, and TEV was obtained by summing the calories multiplied by Atwater conversion factors. Iron and Zinc levels were determined by nitro-perchloric digestion and reading on a flame atomic absorption spectrophotometer. Cooking quality was determined by the percentage of cooked grains using an electric pressure cooker with the assistance of a Mattson cooker. The Nutritional and Cooking Quality Index (NCQI) was used to identify genotypes with high nutritional and cooking quality. The results were expressed on a dry basis as mean \pm standard deviation, with means compared statistically using Student's t-test and grouped by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). After cooking, an increase in moisture, lipids, proteins, and TEV was observed. There was a reduction in ash, total carbohydrates, Iron, and Zinc content. The genotypes had the following overall means in centesimal composition: moisture: 5.23 g 100g⁻¹ (raw grains) and 5.85 g 100g⁻¹ (cooked grains); ash: 4.03 g 100g⁻¹ (raw grains) and 2.61 g 100g⁻¹ (cooked grains); lipids: 1.53 g 100g⁻¹ (raw grains) and 2.75 g 100g⁻¹ (cooked grains); protein content: 27.42 g 100g⁻¹ (raw grains) and 29.15 g 100g⁻¹ (cooked grains); carbohydrates: 61.79 g 100g⁻¹ (raw grains) and 59.64 g 100g⁻¹ (cooked grains); TEV: 370.61 Kcal 100g⁻¹ (raw grains) and 379.64 Kcal 100g⁻¹ (cooked grains). As for Iron and Zinc levels, the genotypes had the following means: Iron: 5.13 mg 100g⁻¹ (raw grains) and 3.65 mg 100g⁻¹ (cooked grains); Zinc: 5.60 mg 100g⁻¹ (raw grains) and 4.41 mg 100g⁻¹ (cooked grains). Genotypes MNC10-982-3-7, Pretinho, and MNC09-988B-20 showed the best cooking quality, with 87%, 86%, and 85% of grains cooked, respectively. Although cooking reduced the levels of some nutrients, it did not cause significant losses. Genotypes MNC09-988B-20, Pretinho, and MNC09-988B-3 showed better nutritional and cooking quality and higher nutrient retention after cooking. These genotypes can be used as parents in crosses or recommended directly as commercial cultivars, meeting consumer needs and providing excellent options for the cowpea market of black grain.

Keywords: *Vigna unguiculata*; centesimal composition; minerals; fast cooking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classes e subclasses comerciais de feijão-caupi	24
Figura 2. Fluxograma do delineamento da pesquisa	35
Figura 3. Preparo das amostras de feijão-caupi para realização das análises. A) Grãos de feijão-caupi da classe comercial preto. B) Farinha obtida a partir da moagem do grão em moinho de bolas de zircônio	36
Figura 4. Espectrofotômetro de Absorção Atômica de Chama (modelo iCE 3000) utilizado para a determinação dos teores de Ferro e Zinco no grão	40
Figura 5. Grãos de feijão-caupi da classe comercial preto acondicionados em sacos de organza	40
Figura 6. Etapa de remolho dos grãos de feijão-caupi da classe comercial preto	41
Figura 7. Processo de cozimento dos grãos de feijão-caupi da classe comercial preto. A) Panela de pressão elétrica. B) Amostra de grãos acondicionada na panela de pressão elétrica	41
Figura 8. Amostras de grãos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto alocados no cozedor de Mattson.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do feijão-caupi quanto a cor e aspecto do tegumento do grão	23
Tabela 2. Composição centesimal (por 100 g de parte comestível) dos grãos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca	27
Tabela 3. Características nutricionais e culinárias dos grãos de algumas cultivares de feijão-caupi.....	32
Tabela 4. Nome e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto estudados.....	34
Tabela 5. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de umidade nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	45
Tabela 6. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de cinzas nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	47
Tabela 7. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de lipídeos nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	49
Tabela 8. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de proteínas nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	51
Tabela 9. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de carboidratos nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	53
Tabela 10. Médias e desvio-padrão (DP) para o Valor Energético Total (VET) nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	55

Tabela 11. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de Ferro (Fe) nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	56
Tabela 12. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de Zinco (Zn) nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022	59
Tabela 13. Médias e desvio-padrão (DP) para a porcentagem de grãos cozidos (PGC) de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2022.....	60
Tabela 14. Percentual de retenção de nutrientes pós-cozimento com base na composição centesimal de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2022	63
Tabela 15. Percentual de retenção de Ferro e Zinco pós-cozimento de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2022	63
Tabela 16. Índices de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados com base na seleção simultânea dos teores de proteínas, Ferro e Zinco e a porcentagem de grãos cozidos. Teresina, PI, 2022.....	64

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- ANOVA** – Análise de Variância
- ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- AOAC** – Association of Official Agricultural Chemists
- CONAB** – Companhia Nacional de Abastecimento
- DP** – Desvio-padrão
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- Fe** – Ferro
- g** – Grama
- IQN** – Índice de Qualidade Nutricional
- IQNC** – Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento
- Kcal** – Quilocaloria
- Kg** – Quilogramas
- LDL** – Low Density Lipoprotein
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- mg** – Miligrama
- mL** – mililitro
- PGC** – Percentual de Grãos Cozidos
- RNC** – Registro Nacional de Cultivares
- TACO** – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
- VDR** – Valor Diário Recomendado
- Zn** – Zinco
- %** - Porcentagem
- ®** - Marca registrada
- °C** – Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3 REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1 Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.)	20
3.1.1 Origem e introdução no Brasil.....	20
3.1.2 Cultivo	20
3.1.3 Importância econômica e social	21
3.1.4 Classificação comercial do feijão-caupi	22
3.1.5 Classe comercial preto.....	25
3.1.6 Composição centesimal do grão	27
3.1.7 Composição mineral do grão.....	28
3.2 Qualidade de cozimento do feijão-caupi	29
3.3 Melhoramento genético para a qualidade nutricional e de cozimento do feijão-caupi	31
4 METODOLOGIA	34
4.1 Local e período de condução do estudo	34
4.2 Tratamentos e delineamento experimental	34
4.3 Preparo das amostras	35
4.3.1 Grãos crus.....	35
4.3.2 Grãos cozidos	36
4.4 Determinação da composição centesimal	36
4.4.1 Teor de umidade	36
4.4.2 Teor de cinzas	37
4.4.3 Teor de lipídeos.....	37
4.4.4 Teor de proteínas.....	38
4.4.5 Teor de carboidratos totais.....	39
4.5 Determinação do Valor Energético Total (VET)	39
4.6 Determinação dos teores dos minerais Ferro e Zinco	39
4.7 Determinação da qualidade de cozimento	40
4.8 Retenção de nutrientes pós-cozimento	42
4.9 Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento	42
4.10 Análises estatísticas	44

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 Composição centesimal	45
5.1.1 Teor de umidade	45
5.1.2 Teor de cinzas	47
5.1.3 Teor de lipídeos.....	49
5.1.4 Teor de proteínas.....	50
5.1.5 Teor de carboidratos totais.....	52
5.2 Valor Energético Total (VET)	54
5.3 Teores de Ferro e Zinco	55
5.3.1 Teor de Ferro (Fe).....	55
5.3.2 Teor de Zinco (Zn).....	58
5.4 Qualidade de cozimento	60
5.5 Retenção de nutrientes pós-cozimento	62
5.5.1 Retenção de nutrientes pós-cozimento com base na composição centesimal	62
5.5.2 Retenção de Ferro e Zinco pós-cozimento	63
5.6 Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento	64
6 CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

As leguminosas, de modo geral, constituem-se como um alimento de fundamental importância na dieta alimentar, pois apresentam teores proteicos significativos e dessa forma, representam em termos econômicos, as principais fontes de proteína para as populações de países em desenvolvimento.

O feijão-caupi é uma planta Eudicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (ALLANTOSPERMUM, 2016). No Brasil apenas os cultigrupos *Unguiculata* e *Sesquipedalis* são cultivados, com destaque para o primeiro, que representa quase o total de cultivares melhoradas (FREIRE FILHO et al., 2005).

Os colonizadores portugueses foram os responsáveis pela introdução da cultura do feijão-caupi no Brasil por volta do século XVI, inicialmente no estado da Bahia, onde apresentou boa adaptação às condições climáticas, e posteriormente o seu cultivo se expandiu para os outros estados do país. Sua produção está concentrada nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, levando o Brasil a se tornar um dos maiores produtores e consumidores de feijão-caupi do mundo (PENHA FILHO et al., 2017).

Na região Nordeste do Brasil, apesar de sua posição geográfica, onde a maioria do seu território situa-se no semiárido, o uso de baixos recursos tecnológicos de manejo do solo e fatores ligados ao clima, limitam a produtividade dessa leguminosa, dificultando o seu cultivo. Ainda assim, essa região se destaca como a maior produção nacional de feijão-caupi, pois apresenta a maior área cultivada (DESRAVINES, 2022).

. No Nordeste brasileiro, os sistemas de produção estão associados à agricultura familiar (SOUSA, 2017). A preferência dos agricultores familiares e empresários do agronegócio pelo cultivo do feijão-caupi deve-se a algumas características específicas, tais como: ciclo curto, baixa exigência hídrica e de fertilidade do solo; além disso, é capaz de fixar o nitrogênio atmosférico, por meio da simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium*. Seus grãos apresentam elevado valor nutritivo, sendo considerado excelente fonte de proteína (23 a 25%) e carboidrato (62%), aminoácidos essenciais, vitaminas e fibras dietéticas (OLIVEIRA et al., 2017a). O valor nutritivo dos grãos pode variar em virtude de aspectos como a genética, condições agroclimáticas e técnicas de manejo pós-colheita (FROTA et al., 2009; CAVALCANTE et al., 2016; GONÇALVES et al., 2016).

Os programas de melhoramento genético de feijão-caupi têm sido relevantes, pois apresentam como objetivo a seleção de linhagens mais adaptadas às diferentes condições climáticas e o fortalecimento da cadeia produtiva de alimentos no Brasil. A Embrapa Meio-Norte lidera os trabalhos de pesquisa relacionados ao melhoramento genético do feijão-caupi e traz como finalidade a difusão de cultivares com potencial de atenderem a exigência comercial dos pequenos, médios e grandes produtores (ARAÚJO, 2019).

Carbonell et al. (2003) destacaram que certos requisitos de mercado têm sido atendidos e dentre eles, tão importantes quanto a produtividade dos grãos e a resistência às doenças, é a qualidade para os processos de cocção dos grãos comercializados que chegam ao consumidor final.

A qualidade tecnológica dos grãos de feijão é definida pelo seu comportamento quando submetidos ao processo de cozimento, que se caracteriza como um tratamento térmico que é utilizado tanto na indústria como no ambiente doméstico. Esse tratamento térmico é responsável pela alteração do teor de antioxidantes, redução ou inativação de compostos antinutricionais, promovendo a melhoria do valor nutricional, mas também pode favorecer a perda de nutrientes (macro e micronutrientes), especificamente algumas vitaminas e minerais. O cozimento confere qualidade sensorial (textura, sabor, aroma e cor) necessários a aceitabilidade dessa leguminosa (ÁVILA, 2014; BEZERRA, 2015).

Com o lançamento no mercado de cultivares melhorados, que constam no Registro Nacional de Cultivares (RNC), com alguns também em processo de proteção no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o segmento de mercado de feijão-caupi vem se mostrando mais seguro e atrativo para os produtores. As sementes certificadas ainda são pouco utilizadas, entretanto há grande demanda potencial, constituindo uma importante oportunidade de negócio (FREIRE FILHO et al, 2017).

O feijão preto, de modo geral, é um alimento importante da culinária brasileira, sendo utilizado principalmente no preparo da feijoada que é um prato bastante difundido em todas as regiões do país. No entanto, o feijão que tem sido utilizado para essa finalidade na região Nordeste do Brasil, principalmente no estado do Piauí, tem sido da espécie *P. vulgaris*, produzido nas regiões Sul e Sudeste, chegando ao Piauí a preços mais altos. A classe comercial preto do feijão-caupi faz parte do mercado de tipos especiais de grãos e ainda é pouco caracterizada quanto a qualidade nutricional antes e após o cozimento. Diante da importância econômica do feijão-caupi, por ser o tipo de feijão mais tradicional em cultivo e consumo pela população nordestina e devido à escassez de cultivares da classe comercial preto, torna-se necessário a realização de pesquisas visando avaliar o potencial de genótipos de feijão-caupi

dessa classe comercial para o mercado e para o consumidor nordestino, bem como também para as populações do sul e sudeste, com maior tradição no consumo do feijão-preto, como alternativa ao feijão preto da espécie *P. vulgaris*. Os resultados da pesquisa irão subsidiar o desenvolvimento das primeiras cultivares de feijão-caupi da classe comercial preto com adaptação mais ampla e com alto potencial para uso culinário e como fonte de proteínas e minerais de origem vegetal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto quanto à qualidade nutricional e tecnológica antes e pós-cozimento.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a composição centesimal e o valor energético total de genótipos de feijão-caupi de grãos pretos antes e pós-cozimento;
- Determinar os teores dos minerais Ferro e Zinco em genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto antes e pós-cozimento;
- Avaliar a qualidade de cozimento de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto;
- Determinar o percentual de retenção de nutrientes nos grãos dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto após o cozimento;
- Selecionar pelo menos um genótipo de feijão-caupi da classe comercial preto que apresente altos teores de proteína, Ferro e Zinco e excelente qualidade de cozimento.

3 REVISÃO DA LITERATURA

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

3.1.1 Origem e introdução no Brasil

De acordo com Koblitz (2011), o feijão é considerado como fundamental na alimentação humana, devido ao fornecimento de nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos, fibras e minerais, destacando-se o Ferro. É também conhecido como a principal fonte de proteínas da dieta das populações de média e baixa renda em vários países e constitui um produto com alta relevância nutricional, econômica e social.

A leguminosa pertencente a espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. apresenta alta variabilidade, o que lhe garante muita versatilidade de mercado e usos, além de possuir um grão bastante nutritivo. Geralmente essa espécie se desenvolve em regiões de clima equatorial e subtropical (FREIRE FILHO, 2011). O feijão-caupi é classificado como uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (FREIRE FILHO et al., 2005).

O feijão-caupi é originário do Oeste da África Central e foi introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses no século XVI. Inicialmente, o seu cultivo se deu no estado da Bahia e depois expandiu-se para outros estados do Nordeste e demais regiões brasileiras. Embora seja cultivado no país inteiro, o cultivo se concentra em maior parte nas regiões Nordeste e Norte, em razão da adaptação às condições de clima dos trópicos semiárido e úmido.

No Brasil, o feijão-caupi é conhecido por várias denominações, o que pode dificultar sua identificação, entre eles: feijão-caupi, feijão-de-corda, feijão macassar, feijão-fradinho, feijão-de-praia, feijão-da-colônia, feijão-de-estrada, feijão-miúdo, manteiguinha e feijão-gurutuba (FREIRE FILHO, 2011).

3.1.2 Cultivo

O feijão-caupi está entre as espécies de leguminosas cultivadas com mais adaptabilidade, versatilidade e potencial nutritivo, sendo considerado um alimento importante presente nos sistemas de produção das regiões secas dos trópicos que abrangem parte da Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e Américas Central e do Sul (SINGH et al., 2002).

O cultivo do feijão-caupi no Brasil é predominante na região Nordeste e em pequenas áreas da região Norte. Nessas regiões, a produção se dá tanto por médios e grandes produtores quanto por pequenos agricultores familiares que ainda utilizam práticas tradicionais. Já na

região Centro-Oeste, a produção se concentra largamente nas mãos de médios e grandes empresários, que utilizam tecnologia de ponta no cultivo, o que contribui para altos índices de produtividade dos grãos. O consumo ocorre nas fases plena de maturação dos grãos (grão secos) e, anterior, quando o produto é denominado “feijão-verde”, sendo utilizado amplamente na culinária regional (ANDRADE, 2010; RIBEIRO et al., 2010; ROCHA; DAMASCENO-SILVA; MENEZES-JÚNIOR, 2017).

O feijão-caupi é cultivado geralmente no final da época chuvosa, em virtude da baixa infraestrutura dos pequenos produtores para realizar o cultivo de forma irrigada nos meses mais secos, obtendo-se ainda um período de chuva para o crescimento e desenvolvimento das plantas e períodos mais secos ao fim do ciclo para favorecer a colheita e reduzir a probabilidade de doenças nas vagens (PAIVA, 2014).

Além da adaptabilidade e estabilidade, no momento da escolha de uma cultivar do feijão-caupi devem-se considerar a região de indicação de cultivo para evitar problemas de deficiência ou de excesso de precipitação, adequação ao sistema de cultivo (sequeiro ou irrigado), as condições de manejo (densidade populacional de plantas, adubação etc.), o potencial produtivo, a arquitetura da planta, resistência ao acamamento, resistência/tolerância ao principais estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (seca, calor, salinidade), a qualidade física e nutricional do grão, para que atenda às necessidades de mercado e do consumidor final (MEDEIROS FILHO; TEÓFILO, 2005).

3.1.3 Importância econômica e social

De acordo com Freire Filho (2011), a região Nordeste do Brasil tem a produção de feijão-caupi concentrada em locais semiáridos, onde culturas de outras leguminosas com ciclos anuais não se adaptam e não se desenvolvem em razão da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas. No país, são identificados três segmentos estabelecidos no mercado: grãos secos, feijão verde (vagem verde ou grão verde debulhado) e sementes.

O cultivo do feijão-caupi no Brasil tem passado por grandes mudanças, que vão do setor produtivo com a expansão do cultivo para outros territórios, até no setor comercial com uma melhoria da padronização dos grãos, devido ao início do processamento industrial e a entrada do produto em novos mercados internos e externos. A preferência por determinados tipos de grãos de feijão-caupi pode variar de país para país e, dentro do mesmo país, e de região para região (FREIRE FILHO, 2011).

O alto teor de proteínas e carboidratos, o teor de lipídeos relativamente baixo e o perfil de aminoácidos do feijão-caupi complementar aos grãos de cereais comuns, o tornam um alimento nutricional importante na dieta humana (JAYATHILAKE et al., 2018). O feijão-caupi tem grande importância como alimento e como gerador de emprego e renda. É rico em proteínas, minerais e fibras (FROTA et al., 2008; SINGH, 2007) e constitui-se como alimento básico das populações urbanas e rurais das regiões Norte e Nordeste do Brasil (FREIRE FILHO, 2011).

Na região Nordeste, o feijão-caupi tem grande relevância por apresentar alta demanda de consumo. O grão faz parte do hábito alimentar da população e isso gera um impacto expressivo na destinação das áreas que a região dispõe em comparação as demais regiões brasileiras. Na primeira safra do período 2021/2022, foram plantados na região Nordeste aproximadamente 395,7 mil hectares com a cultura, com uma produção estimada em 188,7 mil toneladas, (CONAB, 2022).

3.1.4 Classificação comercial do feijão-caupi

Considerando a necessidade de descrição de cultivares e fins comerciais, há alguns anos percebeu-se a importância da classificação dos grãos quanto a cor, forma, tamanho e quanto ao tipo de anel do hilo e halo. Atualmente, essa necessidade tem sido ainda maior, já que a cultura do feijão-caupi está em fase de expansão no mercado interno e externo (FREIRE FILHO, 2011).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008 (BRASIL, 2008), instituiu o novo Regulamento Técnico do Feijão, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem.

O novo Regulamento Técnico do Feijão estabelece que feijões são grãos provenientes das *Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e que os requisitos de qualidade serão definidos em função da coloração do tegumento (película) do grão e dos limites máximos de tolerância de defeitos estabelecidos no próprio regulamento (BRASIL, 2008).

Quanto à classificação, a Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008, define que o feijão será categorizado em grupos, classes e tipos. No Grupo I está abrangido o Feijão Comum, quando proveniente da espécie *Phaseolus vulgaris* L., e no Grupo II, o Feijão-Caupi (Feijão-de-Corda ou Feijão-Macassar), quando proveniente da espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (BRASIL, 2008).

De acordo com Brasil (2008), as classes do Grupo II (classe a qual pertence o feijão-caupi), são: a) branco: produto que contém, no mínimo, 90,00% de grãos de coloração branca; b) preto: produto que contém, no mínimo, 90,00% de grãos de coloração preta; c) cores: produto que contém, no mínimo, 90,00% de grãos de classe cores, admitindo-se até 10,00% de outras cultivares da classe cores, que apresentem contraste na cor ou no tamanho; e d) misturado: produto que não atende às especificações de nenhuma espécie das classes anteriores.

Em relação ao Tipo, a Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008, determina que de acordo com os percentuais de tolerância de defeitos previstos no Regulamento Técnico, o feijão do Grupo II será classificado em três tipos: Tipo 1 (alta qualidade), Tipo 2 (média qualidade) e Tipo 3 (baixa qualidade), podendo ainda ser enquadrado como Fora do Tipo ou Desclassificado (BRASIL, 2008). Como a legislação do MAPA limita-se apenas às classes, Freire Filho et al. (2000; 2005) subdividiram as classes branco e cores em subclasses, visando agregar o nome oficial e o nome conhecido popularmente. Uma modificação da definição de algumas subclasses (Tabela 1) foi realizada por Freire Filho (2011) e Freire Filho et al. (2017).

Tabela 1. Classificação do feijão-caupi quanto a cor e aspecto do tegumento do grão.

Classe ¹	Subclasse ²	Característica dos grãos
a) Branco	Branco Liso	Tegumento branco e liso.
	Branco Rugoso	Tegumento branco e rugoso.
	Fradinho	Tegumento branco, rugoso com halo preto.
	Olho-marrom	Tegumento branco, podendo ser liso ou rugoso com halo marrom.
	Olho-vermelho	Tegumento branco, podendo ser liso ou rugoso com halo vermelho.
b) Preto	Preto-fosco	Tegumento preto, liso e fosco.
	Preto-brilhoso	Tegumento preto, liso e brilhoso.
c) Cores	Mulato Liso	Tegumento marrom e liso.
	Mulato Rugoso	Tegumento marrom e rugoso.
	Canapu	Tegumento marrom-claro, liso, comprimidos nas extremidades.
	Sempre-verde	Tegumento esverdeado-claro e liso.
	Verde	Tegumento e/ou cotilédones verdes.
	Manteiga	Tegumento creme-amarelado, liso ou levemente enrugado.
	Vinagre	Tegumento vermelho e liso.
	Azulão	Tegumento azulado e liso.
	Corujinha	Tegumento mosqueado cinza ou azulado e liso.
Rajado	Tegumento de cor marrom, liso, com rajas longitudinais mais escuras.	
d) Misturado	Produto com grãos de diferentes classes e subclasses.	

¹Instrução Normativa Nº 12, de 28/03/2008 do MAPA (BRASIL, 2008); ²Adaptado de Freire Filho (2011); Freire Filho et al. (2017). Fonte: Barros (2019).

As classes e subclasses comerciais dos grãos de feijão-caupi podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1. Classes e subclasses comerciais de feijão-caupi.





Fonte: Freire Filho (2011).

Considerando que há preferências regionais e até mesmo locais, as classes comerciais do feijão-caupi no comércio a granel podem ser encontradas em sua totalidade quanto às classes e subclasses. Entre as subclasses, predominam a Mulato Liso, Branco Liso, Branco Rugoso, Canapu e Sempre-verde. No comércio de grãos empacotados, as subclasses Mulato Liso, Sempre-verde, Branco Liso, Branco Rugoso e Fradinho têm maior representatividade (FREIRE FILHO, 2011).

3.1.5 Classe comercial preto

No Brasil, são consumidos vários tipos de grãos de feijão, como o feijão jalo, roxo, mulatinho, carioca, carioquinha, enxofre, rosa, vermelho, caupi, entre outros, sendo que cada

região do país apresenta preferências diferenciadas. Embora o país seja um dos principais produtores de feijão do mundo, com estimativa de produção anual de 2,98 milhões de toneladas (CONAB, 2023), 70% da sua produção é voltada para o tipo comercial carioca (PEREIRA et al., 2012). O grupo comercial preto é o segundo mais consumido, com representação de cerca de 15%. As principais regiões produtoras de feijão preto são a Sul e Sudeste e a produção é caracterizada por cultivos sucessivos e irrigação do tipo pivô-central (PEREIRA et al., 2018).

O feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) é um produto que apresenta potencial de exportação, sendo bastante apreciado pela culinária internacional. Entre as vantagens do consumo de feijão preto, estão os benefícios a saúde devido as propriedades antioxidantes das antocianinas, que auxiliam na redução do dano oxidativo, que resulta em doenças relacionadas ao envelhecimento, incluindo câncer e doenças cardiovasculares (HU et al., 2014).

O grão de tegumento preto de *P. vulgaris* caracteriza-se pelo seu elevado valor nutricional, baixa concentração de gordura e consideráveis teores de carboidratos complexos, proteínas, vitaminas do complexo B, cálcio e fibras alimentares. Na composição centesimal dos grãos de feijão preto destaca-se o teor de proteínas que pode chegar a 18,4 g 100 g⁻¹ e o teor de carboidratos que pode chegar a 64,7 g 100 g⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2008).

No mercado brasileiro são reportadas apenas duas cultivares de feijão-caupi da classe comercial preto registradas no RNC/MAPA e lançadas, a BRS Tapaihum (SANTOS, 2011) e BRS Guirá (FREIRE FILHO et al., 2023).

Os grãos da cultivar BRS Tapaihum têm grande potencial para ser uma alternativa no uso culinário, enquanto a BRS Guirá tem um bom apelo visual e excelente paladar. Ambas podem ser utilizadas no preparo da tradicional feijoada, hoje preparada exclusivamente com o feijão *Phaseolus vulgaris*. No entanto, ambas as cultivares têm recomendação restrita, a primeira à região de Juazeiro/BA e Petrolina/PE, e a segunda ao estado do Pará.

Portanto, evidencia-se ainda uma escassez de cultivares de feijão-caupi de grãos pretos no mercado e com ampla adaptação para atender a todos os agricultores das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Além disso, quase todo feijão preto consumido na região Nordeste é oriundo da espécie *Phaseolus vulgaris* L., produzidos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, o que provoca um aumento nos preços devido aos custos dos fretes para transporte. O desenvolvimento de novas cultivares de feijão-caupi de grãos pretos com ampla adaptabilidade contribuirá para ofertar um produto mais barato na região Nordeste, bem como contribuirá para diversificar um mercado com predominância das classes cores e branco.

3.1.6 Composição centesimal do grão

A composição centesimal de um alimento refere-se à porcentagem em massa de alguns principais componentes que se encontram presentes: água, cinzas, proteínas, lipídeos e carboidratos. O termo composição centesimal é utilizado levando em consideração que o alimento é constituído somente por estes cinco componentes e, dessa forma, a soma das suas quantificações em porcentagem totaliza 100% (TOGNON, 2012).

Os grãos de feijão-caupi apresentam um valioso teor de proteínas, auxilia na redução de colesterol LDL, apresentam um conteúdo adequado de aminoácidos, vitaminas e minerais incluindo folato, tiamina e riboflavina, são digeridos mais lentamente que outros cereais e tubérculos e apresentam um baixo índice glicêmico (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002; PHILLIPS et al., 2003).

A qualidade e biodisponibilidade de nutrientes presentes nos grãos de feijão-caupi são importantes e impactam positivamente na saúde de quem o consome. A composição centesimal do grão é um fator importante na qualidade do produto e é bastante variável, podendo alterar-se de acordo com a cultivar, origem, localização, clima, condições ambientais, tipo de solo, armazenamento, processamento e modificações genéticas (ANDRADE, 2010).

Frota et al. (2008), ao estudarem a composição química da semente da cultivar de feijão-caupi BRS Milênio obtiveram resultados que indicaram atributos desejáveis com altos teores de energia, proteínas, fibras e minerais.

A composição centesimal dos grãos de diversos tipos comerciais de feijão-caupi, de acordo com a Tabela de Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição centesimal (por 100 g de parte comestível) dos grãos de feijão-caupi, analisados em base seca.

Tipo comercial	Umidade (%)	Proteínas (g)	Lipídeos (g)	Carboidratos (g)	Fibra alimentar (g)	Cinzas (g)
Grão branco cru (Fradinho)	12,7	20,2	2,4	61,2	23,6	3,5
Grão preto cru (Tapaihum)	-	25,12	-	-	-	-
Grão preto cru (Pretinho)	-	29,83	-	-	-	-
Grão preto cru (MNC06-901-14-3)	-	26,21	-	-	-	-
Grão branco cozido (Fradinho)	80,0	5,1	0,6	13,5	7,5	0,8

Fonte: TACO (2011); Barros (2019).

Entre as proteínas presentes no feijão-caupi, destacam-se a glutamina, asparagina e fenilalanina + tirosina. Há ainda a presença de arginina, leucina, lisina, valina, prolina e outros aminoácidos não essenciais (TSHOVHOTE et al., 2003; ADEBOOYE; SINGH, 2007; VASCONCELOS et al., 2010; CARVALHO et al., 2012a; GONÇALVES et al., 2016).

Quanto ao teor de carboidratos, é possível perceber na Tabela 2 que a quantificação teve seus valores reduzidos quando há comparação entre os grãos crus e cozidos. Bezerra et al. (2019) ao investigarem a composição química de oito cultivares de feijão-caupi observaram que a porcentagem de carboidratos nos grãos crus, apresentaram valores entre 60% e 67% e posteriormente ao cozimento, os teores sofreram redução, variando de 18% e 22%.

Ao analisarem o perfil lipídico de cultivares de feijão-caupi, Zia-Ul-Haq et al. (2010) obtiveram um resultado que apresentou um teor máximo de 3% de gordura para todas as cultivares analisadas. Os resultados demonstraram que as cultivares têm boa estabilidade em relação à oxidação e proteção durante o processo de armazenamento e processamento. Quanto ao perfil dos ácidos graxos encontrados, ressalta-se a presença de ácidos graxos saturados e insaturados, com predominância do ácido linoleico (41%) e palmítico (26,5%).

Ao longo do tempo, o valor nutricional do feijão ganhou uma nova dimensão por conta de efeitos positivos proporcionados pela ingestão de fibras alimentares. Os alimentos de origem vegetal contêm fibra solúvel e a insolúvel, em quantificações que variam de acordo com o alimento e com sua preparação (BONETT, 2007). Além de ser uma fonte proteica, o feijão-caupi é uma boa fonte de fibra dietética composta por celulose, polissacarídeos não amiláceos e lignina com valor médio aproximado de 18 g em 100 g de sementes. Tal característica torna o feijão-caupi um alimento funcional, pois as fibras auxiliam o funcionamento do trato gastrintestinal, além de auxiliar na redução do colesterol e na moderação da resposta glicêmica (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

3.1.7 Composição mineral do grão

Os minerais representam uma grande classe de micronutrientes considerados essenciais. São classificados como elementos inorgânicos que demonstram variados benefícios à saúde humana e que desempenham um papel importante nas funções relativas à ativação, regulação e controle de vias metabólicas, tendo assim grande relevância na dieta. No grão de feijão-caupi, o acúmulo e a retenção de alguns minerais são influenciados pela interação de diferentes fatores, como variedades, condições ambientais, parte do grão onde o mineral está concentrado e solubilidade de minerais durante a imersão e cozimento (BASSINELLO, 2009).

Outro fator importante no acúmulo e retenção de alguns minerais são as altas concentrações de taninos e fitatos presentes nos grãos. Carvalho et al. (2012b) destacaram que a presença de fitatos e taninos nas fibras vegetais pode ter impacto negativo na disponibilidade de Ferro e Zinco, assim como também no tempo de cozimento.

O mineral Ferro é essencial em vários processos fisiológicos em humanos, pois auxilia no desenvolvimento da função central durante o metabolismo energético celular, atua na produção de energia oxidativa, no transporte de oxigênio, além de atuar na inativação de radicais livres e na síntese de DNA (CANÇADO, 2010). Brito et al. (2003), verificaram que o feijão é a principal fonte de Ferro na dieta de indivíduos entre 7 e 17 anos em função do custo de consumo da carne vermelha. Os produtos de origem animal possuem um potencial de absorção de Ferro, entretanto, são considerados de alto custo, principalmente para as populações de baixa renda.

O Zinco é responsável pela manutenção de várias funções do organismo, atuando na proteção antioxidante, como cofator enzimático, no metabolismo energético e de vitamina A (KING; SHAMES; WOODHOUSE, 2000). O Valor Diário Recomendado para a ingestão de Zinco é de 11 mg/dia (BRASIL, 2020). Diversos fatores podem ser relacionados à carência de Zinco, entre os quais seu consumo inadequado, consumo excessivo de fitatos, nutrição parenteral, destruição energético-proteica, dietas hipocalóricas, alcoolismo, doenças crônicas, dentre outras (COZZOLINO, 2005).

O feijão-caupi contém quantidade significativa de Zinco, porém 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).

Informações sobre a composição de minerais em grãos pretos de feijão-caupi são escassos. Barros (2019), avaliando 24 genótipos dessa espécie, sendo três da classe preta (Prezinho, MNC06-901-14-3 e BRS Tapaihum) teores de Ferro de 6,49; 5,38 e 6,30 mg 100g⁻¹, respectivamente. Já para Zinco, os teores foram 4,42; 3,37 e 4,58 mg 100g⁻¹, respectivamente.

3.2 Qualidade de cozimento do feijão-caupi

A qualidade tecnológica e nutricional dos grãos de feijão pode ser estabelecida pelo comportamento frente aos tratamentos térmicos utilizados tanto na indústria quanto no consumo doméstico. Dessa forma, para a utilização eficaz de cultivares de feijão-caupi na nutrição humana e animal, vários estudos têm sido publicados sobre estratégias de processamento que utilizam como princípio o calor, capazes de reduzir ou eliminar totalmente a presença de fatores

indesejáveis (compostos antinutricionais), visando a melhoria dos valores nutricionais. A presença dessas substâncias em leguminosas é minimizada em vários graus com base no método de preparo e nas propriedades que as constituem (KALPANADEVII; MOHAN, 2013).

O cozimento do feijão é um processo hidrotérmico que resulta em gelatinização do amido, desnaturação das proteínas e solubilização de parte dos polissacarídeos presentes na parede celular dos grãos (CICHY et al., 2015; SHIGA et al., 2009). É responsável por conferir uma textura macia, tornando o feijão comestível, além de inativar fatores antinutricionais indesejáveis (SÁNCHEZ-ARTEAGA et al., 2015). Os estudos evidenciaram que o processo de cozimento reduz significativamente os fatores antinutricionais e, em alguns casos, a eliminação completa, sendo o tratamento térmico úmido o mais eficaz. Os efeitos do tratamento térmico sobre estes compostos podem variar conforme a cultivar, teor de antinutrientes, tipo de processamento e tempo de exposição (CARVALHO et al., 2023).

O tratamento térmico confere ao feijão-caupi aspectos positivos ao seu consumo, ocasionando alterações em diversas características sensoriais como textura, aroma, sabor e aparência. O tempo de cozimento do feijão-caupi está associado à origem genética do grão e pode apresentar variabilidade (CICHY et al., 2015). Além disso, o tempo de cocção é um fator muito importante para o consumidor, sendo a preferência por cultivares com rápido cozimento, que determinam maior agilidade no preparo do alimento e economia de tempo e energia (DAMASCENO-SILVA; ROCHA; MENEZES-JÚNIOR, 2016).

O tempo de cozimento do feijão-caupi está positivamente ligado com a quantidade de água absorvida antes do processo de cozimento propriamente dito. Os complexos formados pelos polissacarídeos, compostos fenólicos e proteínas são alterados durante a etapa de maceração, favorecendo a entrada de água e conseqüentemente interferindo no tempo de cozimento (SHIGA et al., 2009). Alguns fatores também podem interferir no tempo de cozimento de feijões, como a lignificação do tegumento ou a insolubilização dos polissacarídeos da parede celular, que podem impedir a entrada de água no cotilédone e aumentar o tempo gasto no processo de cocção (SIQUEIRA et al., 2016).

Os feijões, por serem disponibilizados comercialmente na forma seca, necessitam ser submetidos a um processo de hidratação antes do consumo. Essa reidratação pode ser realizada durante o cozimento, entretanto recomenda-se que os grãos sejam imersos em água antes da cocção. A etapa de remolho ou imersão consiste em deixar os grãos mergulhados em água para reidratar, abrandar a textura, amolecer os grãos, acelerar o cozimento e aumentar o valor nutricional (BARAMPAMA; SIMARD, 1995; ORNELLAS, 2007).

Devido a importância do consumo de feijão-caupi para atender as necessidades nutricionais da população a nível mundial, principalmente a mais carente, são ainda necessários mais estudos que demonstrem a sua qualidade nutricional e de cozimento, analisando principalmente os teores de minerais, proteínas, fibra alimentar e fatores antinutricionais, que interferem diretamente na qualidade dos grãos (FREITAS et al., 2022).

Pesquisas avaliando a qualidade de cozimento de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são raras na literatura. Barros (2019), avaliando 24 genótipos de feijão-caupi, sendo os genótipos Pretinho, MNC06-901-14-3 e BRS Tapaihum pertencentes a esta classe comercial, determinaram a qualidade de cozimento em termos de porcentagem de grãos cozidos de 59%, 39% e 59%, respectivamente.

3.3 Melhoramento genético para a qualidade nutricional e de cozimento do feijão-caupi

Diversas estratégias de intervenção foram realizadas com o objetivo de diminuir os níveis de desnutrição e déficits 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 objetivo a adição de nutrientes e já vem sendo executada pela indústria alimentar. Porém, essas estratégias têm como limitação a restrição por parte da população carente e os custos envolvidos na sua implementação (WHITE; BROADLEY, 2009).

O desenvolvimento de cultivares melhoradas é considerado 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).

Ao longo dos anos, o melhoramento genético tem provocado bons resultados em relação ao rendimento de diversos grãos para culturas, como feijão, milho e soja. O melhoramento genético instituiu ao feijão-caupi um aumento relevante de rendimento e incorporação de características que agregam valor a essa cultura, como porte da planta ereto, que permite a colheita de forma mecanizada (FREIRE FILHO, 2011; SILVA et al., 2012a).

As diversas características desejadas em uma cultivar ideal, geralmente estão presentes em cultivares diferentes. Dessa forma, surge a necessidade de reunir todas as características desejáveis em uma mesma cultivar. Outro aspecto é que os fatores bióticos e abióticos que formam o ambiente, como também as exigências dos produtores, comerciantes e consumidores, são dinâmicos. Além disso, a busca pelo aperfeiçoamento da exploração e melhoria dos índices

de produção e de qualidade exige um trabalho permanente de criação e seleção de novas cultivares. Assim, os objetivos dos programas de melhoramento vegetal incluem a seleção de cultivares que aliem o bom rendimento a outras características desejáveis pelos agricultores ou consumidores (CRUZ et al., 2012).

A recomendação de novas cultivares no Brasil se baseia principalmente em suas características agrônomicas como tamanho, aparência, resistência a doenças e pragas e a produção (CARBONELL et al., 2014; RAMALHO et al., 2016). Entretanto, aquelas relacionadas ao consumo humano devem receber aprovação dos produtores, e consumidores. À vista disso, os programas de melhoramento genético devem levar em conta a aparência e o tempo necessário para o processo de cozimento dos grãos. A junção da qualidade de cozimento na avaliação de cultivares de feijão-caupi poderia permitir aos pesquisadores estratégias que melhorem a qualidade nutricional e culinária do grão (RIBEIRO et al., 2014; CARVALHO et al., 2017).

Freire-Filho (2011) relata algumas características nutricionais e culinárias das cultivares de feijão-caupi lançadas mais recentemente (Tabela 3).

Tabela 3. Características nutricionais e culinárias dos grãos de algumas cultivares de feijão-caupi.

Cultivar	Teor de proteínas (%)	Teor de Ferro (mg kg ⁻¹)	Teor de Zinco (mg kg ⁻¹)	Tempo de cocção (min.)
BRS Xiquexique	23,2	77,4	53,7	22'00"
BRS Tumucumaque	23,5	60,6	51,6	13'23"
BRS Cauamé	23,9	56,8	46,5	21'07"
BRS Potengi	25,4	61,8	35,6	23'24"
BRS Pajeú	22,3	57,9	37,7	17'51"
BRS Juruá	26,8	65,6	40,9	13'31"
BRS Aracê	25,0	61,7	48,6	18'20"
BRS Itaim	21,5	48,8	43,4	20'55"
Média	24,0	61,3	44,7	18'26"

Fonte: Freire Filho (2011).

A média do teor de proteína foi de 24,0%, do teor de Ferro, 61,3 mg kg⁻¹, do teor de Zinco, 44,7 mg kg⁻¹ e do tempo de cocção, 18'26". Considerando-se o limite de 60 mg kg⁻¹ e de 40 mg kg⁻¹ para que uma cultivar seja considerada rica em Ferro e Zinco, respectivamente, constata-se que há cinco cultivares ricas em Ferro e seis ricas em Zinco. Dentre essas, verifica-se que as cultivares BRS Juruá, BRS Aracê, BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque são ricas em ambos os elementos, com destaque para a BRS Xiquexique, que apresenta os maiores teores.

A ampliação da rede de melhoramento genético do feijão-caupi para todas as regiões do Brasil alavancará a expectativa de que todos os produtores possam ter cultivares disponíveis para o cultivo. Além disso, essa expansão permitirá obter tipos de grãos que tenham ampla aceitação comercial de modo a facilitar a comercialização inter-regional do produto. Outra perspectiva é de que, por se tratar de um alimento com cozimento rápido, rico em proteína e minerais, sejam obtidas cultivares de feijão-caupi biofortificadas e que elas sejam disponibilizadas comercialmente em um breve espaço de tempo (FREIRE FILHO, 2011).

Iniciativas que aprimorem a qualidade nutricional dos alimentos, em especial aqueles que fazem parte da dieta da população brasileira, como o feijão, devem ser estimuladas, pois a maioria da parcela populacional carente não tem acesso aos produtos industrializados fortificados com minerais e vitaminas disponíveis no mercado, em função dos custos elevados. Dessa maneira, torna-se evidente a importância de avaliar o valor nutricional do feijão-caupi e contribuir com os programas de melhoramento genético na obtenção de linhagens com melhores atributos nutricionais, funcionais e de cozimento que levem a satisfazer as necessidades nutricionais de diferentes grupos da população (EMBRAPA, 1994).

4 METODOLOGIA

4.1 Local e período de condução do estudo

O cultivo dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto e as análises de composição centesimal, teores de minerais Ferro e Zinco e qualidade de cozimento foram realizadas no campo experimental (2021) e no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte (2022), ambos situados em Teresina/PI.

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

As amostras de grãos de feijão-caupi da classe comercial preto foram oriundas da Coleção de Trabalho do Programa de Melhoramento Genético do feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, em Teresina/PI, cultivadas sob as mesmas condições no ano de 2021, em sistema de irrigação, sendo doze linhagens elite e três cultivares comerciais (Pretinho, BRS Tapaihum e BRS Guirá), conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Nome e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto estudados.

Nome/Código	Genealogia	Subclasse comercial
MNC08-937C-6-1	(Pretinho x TE97-309G-9) x Pretinho	Preto opaco
MNC09-981B-1	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x BRS Guariba	Preto levemente brilhante
MNC09-981B-3	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x BRS Guariba	Preto levemente brilhante
MNC09-981B-6	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x Guariba} x BRS Guariba	Preto levemente brilhante
MNC09-981B-9	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x Guariba} x BRS Guariba	Preto levemente brilhante
MNC09-988B-3	IT85F-1045 x MNC01-689F-11	Preto opaco
MNC09-988-1B-3-20	IT85F-1045 x MNC01-689F-11	Preto opaco
MNC09-988B-20	IT85F-1045 x MNC01-689F-11	Preto opaco
MNC10-982B-3-7	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x Pretinho} x Pretinho	Preto levemente brilhante
MNC10-982B-11-1	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x Pretinho} x Pretinho	Preto levemente brilhante
MNC10-998B-8-1	F ₃ RC ₁ [Pretinho x TE97-309G-9) x Pretinho] x Pretinho	Preto levemente brilhante
MNC10-998B-20-3	F ₃ RC ₁ [Pretinho x TE97-309G-9) x Pretinho] x Pretinho	Preto levemente brilhante
Pretinho	Pretinho - Pará	Preto brilhante
BRS Tapaihum	Epace 11 x 293588	Preto brilhante
BRS Guirá	{[BRS Guariba x (Pretinho x TE97-309G-9)] x Guariba} x BRS Guariba	Preto levemente brilhante

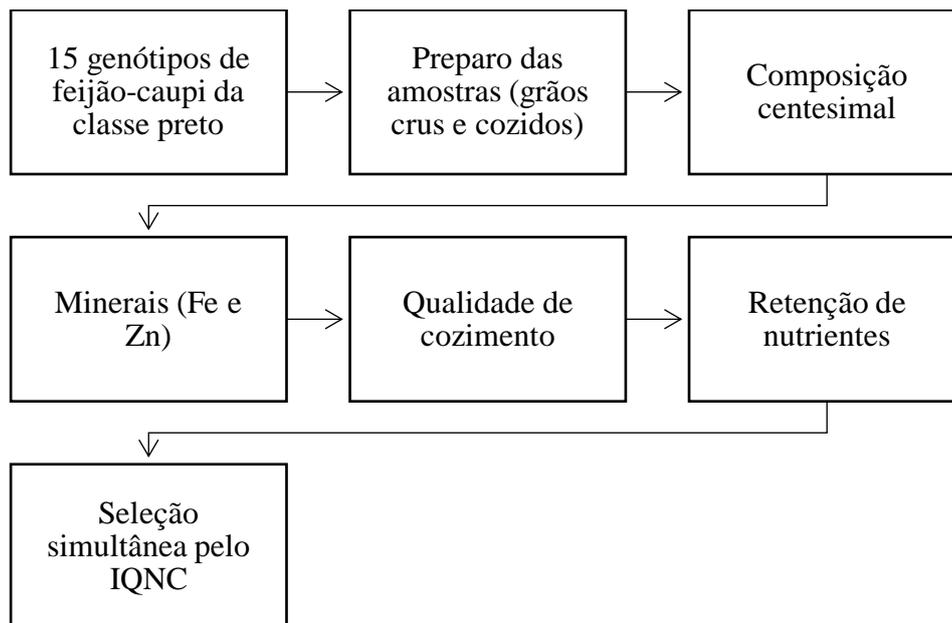
Fonte: Embrapa Meio-Norte.

A primeira etapa do trabalho consistiu na seleção manual de grãos sem danos físicos. Após o preparo das amostras, analisou-se a composição centesimal e minerais Ferro e Zinco a partir das farinhas obtidas dos grãos. Na segunda etapa, realizou-se a análise de qualidade do cozimento, o cálculo do percentual de retenção de nutrientes pós-cozimento e a seleção dos

genótipos com melhor perfil simultâneo para proteína, Ferro, Zinco e qualidade de cozimento, a partir do Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento (IQNC).

As análises foram realizadas em triplicata para as determinações da composição centesimal e de minerais; e em duplicata para a qualidade de cozimento. Os resultados obtidos nas análises de determinação da composição centesimal, Ferro e Zinco foram expressos em base seca. O fluxograma com o delineamento da pesquisa é mostrado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do delineamento da pesquisa.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

4.3 Preparo das amostras

4.3.1 Grãos crus

As amostras de grãos crus dos genótipos foram lavadas com água destilada para a remoção de sujidades, alocadas em sacos de papel e levadas para a estufa de secagem por circulação de ar (Nova Ética[®], modelo 410/3ND) a 60 °C durante 48 horas para preservar as condições ideais dos grãos, direcionando a um posterior processamento (CARVALHO, 1994). Os grãos secos foram triturados (≤ 200 mesh) em um moinho de bolas de zircônio (Retsch[®], modelo MM200) para obtenção de farinhas (Figura 3). As farinhas foram acondicionadas em tubos de ensaio de polipropileno devidamente fechados com tampa, identificadas e mantidas sob temperatura de refrigeração a 4 °C.

Figura 3. Preparo das amostras de feijão-caupi para realização das análises. A) Grãos de tegumento preto de feijão-caupi. B) Farinha obtida a partir da moagem dos grãos em moinho de bolas de zircônio.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

4.3.2 Grãos cozidos

As amostras de grãos crus sem danos físicos foram lavadas com água destilada para a remoção de sujidades e alocadas em sacos de organza, devidamente identificados. Os sacos foram individualmente submersos em um béquer contendo água deionizada, durante 1 hora para a etapa de remolho. Em seguida, as amostras foram cozidas uma por vez em panela de pressão elétrica (Electrolux[®], modelo PCE20). O nível de água utilizado foi de 2/5 da capacidade total do recipiente da panela, aproveitando-se a água de remolho durante o cozimento. Os grãos foram cozidos durante 30 minutos. Após a cocção, retirou-se 50 grãos de cada amostra para a realização da análise de qualidade do cozimento. A quantidade restante de grãos foi transferida para a estufa de secagem por circulação de ar (Nova Ética[®], modelo 410/3ND) a 60 °C durante 48 horas. Os grãos cozidos e secos foram triturados (≤ 200 mesh) em um moinho de bolas de zircônio (Retsch[®], modelo MM200) para obtenção de farinhas. As farinhas foram acondicionadas em tubos de ensaio de polipropileno devidamente fechados com tampa, identificadas e mantidas sob temperatura de refrigeração a 4 °C. O tempo de remolho e de cozimento foram pré-determinados em testes preliminares realizados por Barros (2019).

4.4 Determinação da composição centesimal

4.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade foi analisado por método gravimétrico em estufa a 105 °C, até obter peso constante das amostras (AOAC, 2008). Utilizou-se cápsulas de porcelana previamente lavadas com água destilada, secas em estufa a 105 °C por 4 horas, resfriadas em dessecador por

30 minutos e pesadas em balança analítica (BEL Engineering[®], modelo MARK M). Pesou-se 2 g de cada amostra em triplicata em cápsula de porcelana anteriormente tarada. As amostras foram colocadas em estufa (FANEM[®], modelo 320 – SE) a 105 °C por 4 horas, e em seguidas transferidas para um dessecador e mantidas por 30 minutos para resfriamento. O teor de umidade (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Teor de umidade (\%)} = 100 \times N/P \quad (1)$$

Sendo:

N = n° de gramas de umidade (perda de massa em g);

P = n° de gramas de amostra.

4.4.2 Teor de cinzas

As cinzas (resíduo mineral total) foram determinadas pelo método de cinza seca por meio da técnica de incineração em mufla à temperatura de 550 °C (AOAC, 2008). Foram pesados 2 g da amostra, em triplicata, em cadinho de porcelana previamente tarado. Os cadinhos com as amostras foram colocados na mufla (Novatecnica[®], modelo NT 380) inicialmente a 250 °C por 4 horas, para sua carbonização, e após esse tempo, a temperatura da mufla foi elevada a 550 °C até incineração completa de toda a matéria orgânica. Em seguida, os cadinhos com a amostra incinerada foram transferidos para um dessecador por 40 minutos, para serem resfriados e pesados. O teor de cinzas (%) foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = 100 \times N/P \quad (2)$$

Sendo:

N = n° de gramas de cinzas;

P = n° de gramas da amostra.

4.4.3 Teor de lipídeos

Para a determinação de lipídeos, adotou-se o método de extração intermitente de Soxhlet, utilizando o solvente Éter de Petróleo P.A. (AOAC, 2008). Em triplicata, pesou-se 3 g da amostra, transferindo-as para os cartuchos. O extrator (ACB Labor[®]) foi acoplado a um balão previamente tarado a 105 °C e pesado. Em seguida, adicionou-se 150 mL de Éter de Petróleo. Os balões foram mantidos em extração contínua por seis horas. Após o término da extração, o

solvente foi recuperado e o balão com o resíduo extraído foi transferido para a estufa a 105 °C durante 2 horas, e depois resfriado em dessecador por 30 minutos e pesado. O teor de lipídeos (%) foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de lipídeos (\%)} = 100 \times N/P \quad (3)$$

Sendo:

N = nº de gramas de lipídeos;

P = nº de gramas da amostra.

4.4.4 Teor de proteínas

A determinação de proteínas foi realizada pelo método de macro *Kjeldahl*, baseado em três etapas: digestão, destilação e titulação, onde a matéria orgânica é decomposta e o nitrogênio existente é transformado em amônia. O fator 6,25 foi utilizado para converter o teor nitrogênio total em proteínas (AOAC, 2008).

Pesou-se cerca de 0,2 g da amostra em papel manteiga e em seguida transferiu-se para os tubos de digestão. Adicionou-se 2 g de mistura catalítica (96% de sulfato de potássio e 4% de sulfato de cobre) e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, levando em seguida para aquecimento em bloco digestor a uma temperatura de 430 °C por 1h40, até a solução se tornar esverdeada límpida, livre de material não digerido. Após o resfriamento dos tubos, adicionou-se 10 mL de água destilada. O tubo foi acoplado no destilador de nitrogênio (TECNAL®, modelo TE – 0363). Em um erlenmeyer foram adicionados 10 mL de ácido bórico como indicador e inserido no equipamento para recolhimento do destilado.

No equipamento, adicionou-se ao tubo com a amostra, 15 mL de solução de hidróxido de sódio a 50% até garantir um ligeiro excesso de base. Após a ebulição ocorreu a destilação até a obtenção de 100 mL do destilado. Após essa etapa, o destilado foi titulado com ácido clorídrico 0,02N. O teor de proteína foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de proteínas} = V \times 0,14 \times F/P \quad (4)$$

Sendo:

V = volume de ácido sulfúrico utilizado menos o volume de hidróxido de sódio utilizado na titulação;

F = fator de conversão para proteína vegetal (6,25);

P = peso da amostra.

4.4.5 Teor de carboidratos totais

O teor de carboidratos totais foi determinado por diferença dos demais constituintes da composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas e lipídeos), conforme AOAC (2008). O teor de carboidratos totais foi calculado pela fórmula:

$$\text{Teor de carboidratos} = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídeos}) \quad (5)$$

4.5 Determinação do Valor Energético Total (VET)

O valor energético total foi obtido pela soma das calorias (kcal) fornecidas por carboidratos, lipídeos e proteínas, multiplicados por seus respectivos fatores de conversão de Atwater (lipídeos = 9 kcal; proteínas = 4 kcal; carboidratos = 4 kcal), segundo Watt e Merrill (1963). O valor energético total foi calculado pela fórmula:

$$\text{Valor energético total} = [(\text{lipídeos} \times 9) + (\text{proteínas} \times 4) + (\text{carboidratos} \times 4)] \quad (6)$$

4.6 Determinação dos teores dos minerais Ferro e Zinco

Para a determinação dos teores de Ferro e Zinco nos grãos dos genótipos de feijão-caupi, inicialmente foram preparados os extratos. Pesou-se 0,2 g da amostra em papel manteiga e em seguida transferiu-se para o tubo de digestão. Adicionou-se 5 mL de solução digestora nitro-perclórica (2:1). Os tubos foram colocados no digestor, onde permaneceram em aquecimento por 2 horas a 200 °C. Após a digestão, os extratos se apresentaram límpidos e com volume aproximado de 2 mL. Após resfriamento, adicionou-se 20 mL de água deionizada e fez-se a agitação dos tubos em um agitador de soluções (Phoenix[®], modelo AP56).

A quantificação dos teores de Ferro e Zinco foi executada utilizando o método proposto por Silva e Queiroz (2002). Após o preparo dos extratos, realizou-se a leitura direta em espectrofotômetro de absorção atômica de chama (Thermo Scientific[®], modelo iCE 3000 Series, AA Spectrometer) (Figura 4), onde o comprimento de onda específico de cada elemento foi selecionado previamente.

Figura 4. Espectrofotômetro de Absorção Atômica de Chama (modelo iCE 3000) utilizado para a determinação dos teores de Ferro e Zinco no grão.



Fonte: Embrapa Meio-Norte, 2023.

4.7 Determinação da qualidade do cozimento

A qualidade do cozimento foi realizada a partir da metodologia proposta por Carvalho et al. (2017), com adaptações para os grãos de feijão-caupi realizadas por Barros (2019) e Freitas et al. (2022). Duas amostras com 50 grãos de cada genótipo sem danos mecânicos foram acondicionadas em sacos de organza e identificados. Foram utilizados dois sacos por genótipos, sendo assim, a análise foi realizada em duplicata (Figura 5).

Figura 5. Grãos de feijão-caupi da classe comercial preto acondicionados em sacos de organza.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Os sacos, individualmente, foram colocados em um béquer com água destilada durante 60 minutos para a etapa de remolho (Figura 6).

Figura 6. Etapa de remolho dos grãos de feijão-caupi da classe comercial preto.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Para o cozimento, os sacos foram alocados no fundo de uma panela de pressão elétrica (Electrolux[®], modelo PCE20) (Figura 7). O nível de água foi verificado de tal modo que os sacos se encontrassem completamente embebidos (2/5 da capacidade do recipiente da panela), conforme a Figura 6. As amostras foram cozidas uma por vez, a fim de não haver interação entre os genótipos, durante 30 minutos, sendo retiradas imediatamente para resfriamento após a conclusão do processo. O tempo de remolho e de cozimento foram pré-determinados em testes preliminares realizados por Barros (2019).

Figura 7. Processo de cozimento dos grãos dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. A) Panela de pressão elétrica. B) Amostra de grãos acondicionada na panela de pressão elétrica.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

A avaliação da porcentagem de grãos cozidos foi verificada com o auxílio do cozedor de Mattson (Figura 8), com 25 varetas sobrepostas aos grãos cozidos. Foram utilizados 25 grãos

por tratamento de amostra, escolhidos aleatoriamente. Os pinos foram colocados sobre os grãos para a verificação de perfuração imediata. Os genótipos foram considerados cozidos quando pelo menos 13 das 25 varetas, ou seja, 52%, perfuraram os grãos (MATTSON, 1946).

Figura 8. Amostra de grãos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto alocados no cozedor de Mattson.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

4.8 Retenção de nutrientes pós-cozimento

A retenção do teor de nutrientes é um dado importante a ser determinado, pois visa observar a porcentagem de ganho, perda ou manutenção de um nutriente após a etapa de cozimento. Para o cálculo desse percentual, utilizou a metodologia descrita por Murphy et al. (1975), com adaptações, fazendo uso da seguinte fórmula:

$$\% \text{ de retenção} = N_{\text{coz}} / N_{\text{cru}} \times 100 \quad (7)$$

Sendo:

N_{coz} = Teor de nutriente (g) na amostra cozida;

N_{cru} = Teor de nutriente (g) na amostra crua.

Os dados obtidos foram organizados em tabelas e expressos em porcentagem.

4.9 Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento

A seleção simultânea para as principais características avaliadas no estudo foi realizada utilizando-se o Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento (IQNC), que se baseou no

Índice de Qualidade Nutricional (IQN) utilizado por Pereira (2013), com adaptações de Freitas et al. (2022).

Foram considerados os atributos: teores de proteínas, Ferro e Zinco e a qualidade de cozimento. O teor de proteínas foi escolhido pelo fato de que os feijões são, em geral, fonte desse nutriente. Os teores de Ferro e Zinco foram escolhidos em razão de que parte da população apresenta quadros de deficiência dos mesmos e o feijão faz parte da dieta básica da população brasileira (PEREIRA, 2013). A qualidade de cozimento foi escolhida por ser um atributo importante para a aceitação do consumidor e que tem impacto na economia de energia e tempo de preparo das refeições (Freitas et al., 2022).

O IQNC de cada genótipo foi determinado a partir dos valores encontrados nos grãos após o cozimento (grãos cozidos). Foram adotados os seguintes pesos para os atributos de acordo com a sua importância nutricional e culinária: 4 para os teores de proteína; 3 para os teores de Ferro e Zinco; 2 para a qualidade de cozimento. Os pesos foram considerados positivos, pois são características que se buscam aumentar com o melhoramento genético. A soma algébrica de cada termo (produto entre o máximo ou excesso e o respectivo peso de cada característica) foi então dividido pela soma dos pesos. O IQNC foi calculado pela fórmula:

$$IQNC_i = \frac{[4(P - Xp)] + [3(Fe - XFe)] + [3(Zn - XZn)] + [2(Qc - XQc)]}{4 + 3 + 3 + 2} \quad (8)$$

Sendo:

$IQNC_i$ = índice de qualidade nutricional e de cozimento do *i*-ésimo genótipo;

P = Teor de proteína do *i*-ésimo genótipo;

Xp = Média geral do teor de proteínas;

Fe = Teor de ferro do *i*-ésimo genótipo;

XFe = Média geral do teor de ferro;

Zn = Teor de zinco do *i*-ésimo genótipo;

XZn = Média geral do teor de zinco;

Qc = Porcentagem de grãos cozidos do *i*-ésimo genótipo;

XQc = Média geral da porcentagem de grãos cozidos.

Quanto maior o IQNC, melhor o genótipo em termos de qualidade nutricional e de cozimento.

4.10 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram organizados em tabelas com as respectivas médias e desvios-padrão de cada variável avaliada. Realizou-se análise de variância e as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste t de *Student* ($p < 0,05$) para determinação da diferença significativa entre duas médias (comparação entre grão cru e grão cozido), utilizando-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2011). Para verificar a existência de diferenças entre as médias de três ou mais amostras (agrupamento de médias) utilizou-se o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Composição centesimal

5.1.1 Teor de umidade

As médias e desvios-padrões dos teores de umidade analisados em base seca nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de umidade nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Teor de umidade (g 100 ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	4,78 ± 0,13b C	6,19 ± 0,07a C
MNC09-981B-1	4,99 ± 0,38a C	5,39 ± 0,05a E
MNC09-981B-3	5,22 ± 0,47a B	5,69 ± 0,04a D
MNC09-981B-6	5,78 ± 0,31a A	6,03 ± 0,09a C
MNC09-981B-9	5,66 ± 0,22a A	5,85 ± 0,05a D
MNC09-988B-3	4,58 ± 0,10b C	5,37 ± 0,08a E
MNC09-988B-20	5,26 ± 0,11a B	5,36 ± 0,32a E
MNC09-988-1B-3-20	4,84 ± 0,07b C	5,31 ± 0,18a E
MNC10-982B-11-1	5,97 ± 0,39a A	6,42 ± 0,09a B
MNC10-982B-3-7	5,68 ± 0,09a A	5,78 ± 0,34a D
MNC10-998B-20-3	5,10 ± 0,12b C	5,37 ± 0,08a E
MNC10-928B-8-1	5,45 ± 0,13b B	5,83 ± 0,15a D
Pretinho	4,48 ± 0,14b C	7,15 ± 0,20a A
BRS Tapaihum	5,35 ± 0,44b B	6,40 ± 0,16a B
BRS Guirá	5,35 ± 0,42a B	5,57 ± 0,09a E
Média geral	5,23b	5,85a

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de Student) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Nos grãos crus, a umidade variou de 4,48 g 100 g⁻¹ (Pretinho) a 5,97 g 100 g⁻¹ (MNC10-982B-11-1) com diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) e média geral de 5,23 g 100 g⁻¹. Nos feijões cozidos a umidade apresentou variação de 5,31 g 100 g⁻¹ (MNC09-988-1B-3-20) a 7,15 g 100 g⁻¹ (Pretinho) com diferença estatisticamente significativa entre os genótipos ($p < 0,05$) e média geral de 5,85 g 100 g⁻¹.

Resultados próximos aos encontrados neste estudo foram analisados por Oliveira (2016) ao analisar doze genótipos de feijão-caupi, obtendo valores com variação de 5,49 a 5,78 g 100g⁻¹, e média geral de 5,67. Freitas et al. (2022), ao determinar o potencial de linhagens de feijão-caupi para a qualidade nutricional e de cozimento também encontrou resultados semelhantes, com médias de umidade variando de 4,62 a 7,51 g 100g⁻¹ para feijões crus analisados em base seca.

Ao determinar as características químicas, granulométricas e tecnológicas de farinhas integrais de feijão-caupi, Rios et al., (2018) encontrou resultados superiores em relação ao teor de umidade, com variação de 7,13 a 11,19 g 100 g⁻¹. Teores maiores de umidade também foram observados por Cavalcante et al., (2017), apresentando médias que variaram de 10,7 a 11,4 g 100g⁻¹.

Cabe destacar que, os valores inferiores de umidade encontrados neste estudo comparados a outros trabalhos se justificam, segundo Oliveira (2016), pelo fato de que as vagens com grãos após a colheita passam por um processo prévio de secagem ao sol, explicando assim teores de umidade muito baixos. Outra situação relevante é que os grãos antes de serem moídos passam por uma lavagem e uma pré-secagem em estufa, que também retira umidade do grão.

Os teores de umidade dos genótipos de feijão-caupi de grãos pretos avaliados expressam diferença significativa ($p < 0,05$) quando são comparados antes e após o cozimento. É possível perceber que os grãos cozidos apresentam maiores teores de umidade, isso se deve à capacidade de absorção de água pelos grãos durante o cozimento em água sob pressão. Esse fato também foi observado por Cavalcante et al., (2017) quando analisou o efeito do processamento térmico nas composições químicas de feijão-caupi.

A capacidade de absorção de água é influenciada pelas características do tegumento dos grãos: espessura, peso, aderência aos cotilédones, elasticidade, porosidade e propriedades coloidais (CAVALCANTE et al., 2017).

Abeas (1998) relata que diversos são os fatores que tem influência na composição dos alimentos de origem vegetal e entre eles pode-se citar: a constituição genética, condições de crescimento (solo, clima, irrigação, uso de fertilizantes, temperatura, luz solar etc.), idade ou maturação na época da colheita e condições de armazenagem. Vegetais da mesma variedade e grau de maturação podem apresentar composição desigual, por causa da atividade fisiológica não controlada. O teor de água exerce uma importante influência, tanto que as mudanças fisiológicas pós-colheita são mais lentas nos cereais, leguminosas, nozes e sementes, que têm baixo teor de água.

O teor de umidade é um índice frequentemente utilizado para determinar a estabilidade e qualidade de um alimento. O teor de água contido nos alimentos é de grande importância no controle da elaboração e da qualidade dos alimentos. Além disso, a água desempenha um papel primordial em muitas das reações de deterioração que são sofridas pelos alimentos (ABEAS, 1998).

O Regulamento Técnico do Feijão, estabelecido pela Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008 (BRASIL, 2008) determina que o percentual de umidade tecnicamente recomendável para fins de comercialização do feijão deve ser de até 14,00%, portanto, os teores de umidade determinados nos genótipos de feijão-caupi de grãos pretos estão em consonância com a legislação vigente.

5.1.2 Teor de cinzas

As médias e desvios padrões dos teores de cinzas avaliados em base seca nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto encontram-se expressos na Tabela 6.

Tabela 6. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de cinzas nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Teor de cinzas (g 100 ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	4,21 ± 0,12a A	2,62 ± 0,11b B
MNC09-981B-1	4,27 ± 0,07a A	2,93 ± 0,02b A
MNC09-981B-3	4,01 ± 0,08a C	2,78 ± 0,09b A
MNC09-981B-6	4,13 ± 0,10a B	2,58 ± 0,03b B
MNC09-981B-9	4,12 ± 0,09a B	2,49 ± 0,03b B
MNC09-988B-3	3,97 ± 0,09a C	2,28 ± 0,08b C
MNC09-988B-20	4,13 ± 0,03a B	2,40 ± 0,18b C
MNC09-988-1B-3-20	3,97 ± 0,05a C	2,32 ± 0,09b C
MNC10-982B-11-1	3,94 ± 0,05a C	2,59 ± 0,09b B
MNC10-982B-3-7	3,72 ± 0,10a D	2,38 ± 0,14b C
MNC10-998B-20-3	4,24 ± 0,06a A	2,62 ± 0,02b B
MNC10-928B-8-1	3,81 ± 0,08a D	2,88 ± 0,03b A
Pretinho	3,93 ± 0,07a C	2,34 ± 0,05b C
BRS Tapaihum	4,06 ± 0,12a B	3,04 ± 0,03b A
BRS Guirá	3,87 ± 0,04a C	2,93 ± 0,07b A
Média geral	4,03a	2,61b

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de Student) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias (p<0,05).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Nos grãos crus, o teor de cinzas variou de 3,72 g 100g⁻¹ (MNC10-982B-3-7) a 4,27 g 100g⁻¹ (MNC09-981B-1) com diferença significativa entre os genótipos ($p < 0,05$) e média geral de 4,03 g 100g⁻¹. Após o cozimento o teor de cinza apresentou variação de 2,28 g 100g⁻¹ (MNC09-988B-3) a 3,04 g 100g⁻¹ (BRS Tapaihum), com diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) e média geral de 2,61 g 100g⁻¹. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) na comparação das médias do teor de cinzas dos grãos crus e grãos cozidos, indicando uma diminuição dos valores na etapa de pós-cozimento.

Resultados com valores próximos (3,33 g 100g⁻¹) foram encontrados por Lovato et al. (2018) ao determinar a composição centesimal de feijão preto comum cru. Médias de 2,96 a 4,34 g 100g⁻¹ foram determinadas por Freitas et al. (2022) em genótipos de feijão-caupi e média de 3,23 g 100g⁻¹ foi verificada por Silva (2020) em farinhas integrais de feijão-caupi.

O teor de cinzas em um alimento representa o conteúdo total de minerais podendo, portanto, ser utilizado como medida geral da qualidade, e frequentemente é utilizado como parâmetro na identificação de alimentos. O conteúdo de cinzas se torna indispensável ao analisar alimentos ricos em certos minerais, implicando diretamente no seu valor nutricional (ZAMBLAZI, 2010).

Verifica-se que nos grãos cozidos houve redução do teor de cinzas quando comparado ao teor determinado nos grãos crus. Bezerra et al. (2019) observaram condição similar também apresentando redução nos teores de cinzas após o cozimento do feijão-caupi, obtendo valores com variação de 3,20 a 4,74 g 100g⁻¹ para feijão cru e de 0,95 a 1,26 g 100g⁻¹ para feijão cozido. A mesma situação também foi relatada por Barros (2014) com médias de 3,55 a 4,03 g 100g⁻¹ antes do cozimento e de 1,42 a 1,69 g 100g⁻¹ após a cocção.

A redução no teor de cinzas após o cozimento pode ser atribuída à perda de minerais por difusão na água utilizada pelo tratamento térmico (BARAMPAMA; SIMARD, 1995). Além disso, a redução no conteúdo de cinzas também pode estar relacionada à etapa de remolho por conta da hidrossolubilidade e consequente lixiviação dos minerais para a água (MILLER, 1996). A manutenção das quantidades do teor de minerais em um alimento é um desafio, visto que, na etapa de pós-colheita, reações químicas e físicas passam a ocorrer e podem influenciar na qualidade, e os principais determinantes das perdas são os métodos de cozimento, pois a temperatura e a escolha do método de preparo controlam diretamente a qualidade final desses nutrientes (AHVENAINEN, 1996).

5.1.3 Teor de lipídeos

As médias e desvios padrões dos teores de lipídeos nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preta antes e pós-cozimento são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de lipídeos nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe preta, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Teor de lipídeos (g 100 g ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	1,51 ± 0,28b C	2,66 ± 0,43a D
MNC09-981B-1	1,59 ± 0,18a C	1,61 ± 0,14a F
MNC09-981B-3	1,60 ± 0,13b C	2,22 ± 0,30a E
MNC09-981B-6	1,23 ± 0,05b D	1,85 ± 0,03a F
MNC09-981B-9	1,99 ± 0,03b B	2,78 ± 0,10a D
MNC09-988B-3	1,50 ± 0,24b C	2,27 ± 0,12a E
MNC09-988B-20	0,86 ± 0,12b E	3,64 ± 0,16a B
MNC09-988-1B-3-20	1,44 ± 0,19b C	4,23 ± 0,11a A
MNC10-982B-11-1	1,49 ± 0,06b C	3,09 ± 0,09a C
MNC10-982B-3-7	1,57 ± 0,28b C	3,64 ± 0,54a B
MNC10-998B-20-3	1,85 ± 0,14b B	3,71 ± 0,13a B
MNC10-998B-8-1	1,29 ± 0,26b D	3,22 ± 0,26a C
Pretinho	2,25 ± 0,04a A	2,25 ± 0,13a E
BRS Tapaihum	1,54 ± 0,12b C	2,49 ± 0,42a D
BRS Guirá	1,29 ± 0,07b D	1,53 ± 0,02a F
Média geral	1,53b	2,75a

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de *Student*) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Quanto ao teor de lipídeos dos genótipos, observa-se que nos grãos crus a média variou de 0,86 g 100g⁻¹ (MNC09-988B-20) a 2,25 g 100g⁻¹ (Pretinho), com média geral de 1,53 g 100g⁻¹, apresentando diferença significativa entre si ($p < 0,05$). Os grãos cozidos apresentaram médias variando de 1,53 g 100g⁻¹ (BRS Guirá) a 4,23 g 100g⁻¹ (MNC09-988-1B-3-20) com média geral de 2,75 g 100g⁻¹ e diferença significativa entre os genótipos ($p < 0,05$).

Ao comparar estatisticamente as médias dos grãos crus e cozidos dos genótipos analisados, observa-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre genótipos. De modo geral, observa-se que ocorreu um aumento no teor de lipídeos nas amostras analisadas após o cozimento, destacando-se o genótipo MNC09-988-1B-3-20 como o que apresentou o maior aumento no teor de lipídeos após a cocção. Ressalta-se que os grãos foram cozidos somente com água, sem adição de qualquer matéria graxa. Uma possível causa para esse aumento do

conteúdo de lipídeos pode ser a liberação dos lipídeos das células das sementes provocada pelo aumento da temperatura durante o processamento térmico.

Rios et al. (2018), determinando as características químicas de farinhas integrais de cultivares de feijão-caupi, relataram resultados superiores ao encontrado nesse estudo, quando comparados aos valores referentes aos grãos crus, com exceção da cultivar BRS Cauamé, que apresentou o teor de lipídeos de $1,53 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, semelhante ao que foi encontrado na presente pesquisa.

Em grãos cozidos de feijão-caupi, Barros (2014) relatou teores variando de 1,70 a 2,07 $\text{g } 100\text{g}^{-1}$, inferiores aos que foram encontrados nos genótipos de feijão-caupi de grãos pretos analisados no presente trabalho. Dentre as amostras avaliadas por Barros (2014), a cultivar BRS Tumucumaque foi a única que apresentou aumento no teor de lipídeos. Fato semelhante também foi observado por Pereira (2013), que ao analisar a composição centesimal de grãos crus e cozidos de feijão-caupi, observou que apenas um genótipo (MNC03-737F-5-4) apresentou aumento na fração lipídica de $1,63 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ nos grãos crus para $2,22 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ nos grãos cozidos. No estudo de Affrifah, Phillips e Saalia (2021) houve redução no teor de lipídeos após o processamento térmico, de 1,26 para $0,53 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

5.1.4 Teor de proteínas

As médias e respectivos desvios-padrão dos teores de proteínas nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são mostrados na Tabela 8. Nos grãos crus o teor de proteínas variou de 23,35 (BRS Tapaihum) a $29,80 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ (MNC09-988-1B-3-20), com média geral de $27,42 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$. Nos grãos cozidos o teor proteico sofreu variação de 24,72 (BRS Tapaihum) a $33,70 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ (MNC09-988-1B-20-3), com média geral de $29,15 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

Nos grãos crus, o genótipo que apresentou maior teor de proteínas foi o MNC09-988-1B-3-20, com média de $29,80 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$; já nos grãos cozidos, destacou-se o genótipo MNC10-998B-20-3, apresentando o maior valor entre as médias, com $33,70 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ de proteínas. O feijão-caupi é bastante conhecido por possuir bons teores de proteínas. Ao analisarem o teor proteico em cultivares de feijão-caupi, os seguintes autores encontraram valores semelhantes aos que foram determinados neste estudo: 28,5 a $29,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (ANJOS et al., 2016); 27,96, 26,04 e $25,13 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (DAVID et al., 2017) e 21,73 a $25,77 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (RIOS et al., 2018). O melhoramento genético aplicado ao feijão-caupi pode originar cultivares com teores de proteínas acima de 30% (SILVA et al., 2018).

Tabela 8. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de proteínas nos grãos crus e cozidos de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Teor de proteínas (g 100 g ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	26,58 ± 0,32b E	28,48 ± 0,23a E
MNC09-981B-1	26,29 ± 0,82b E	28,32 ± 0,20a E
MNC09-981B-3	27,70 ± 0,17b D	28,50 ± 0,45a E
MNC09-981B-6	28,32 ± 0,42b C	29,10 ± 0,16a D
MNC09-981B-9	28,35 ± 0,08b C	29,53 ± 0,28a D
MNC09-988B-3	29,27 ± 0,13a B	29,46 ± 0,11a D
MNC09-988B-20	28,81 ± 0,27b B	30,34 ± 0,31a C
MNC09-988-1B-3-20	29,80 ± 0,13b A	31,66 ± 0,27a B
MNC10-982B-11-1	29,34 ± 0,19b B	31,34 ± 0,21a B
MNC10-982B-3-7	23,98 ± 0,26b G	27,15 ± 0,39a G
MNC10-998B-20-3	29,75 ± 0,20b A	33,70 ± 0,01a A
MNC10-998B-8-1	26,38 ± 0,12b E	28,06 ± 0,31a E
Pretinho	27,51 ± 0,32b D	29,23 ± 0,31a D
BRS Tapaihum	23,35 ± 0,33b H	24,72 ± 0,41a H
BRS Guirá	25,83 ± 0,30b F	27,72 ± 0,20a F
Média geral	27,42 b	29,15 a

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de Student) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Ao comparar as médias dos genótipos de grãos crus, observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos analisados (Tabela 5), fato que também pode ser visualizado entre as médias dos genótipos obtidas para os grãos cozidos. De acordo com Haider et al. (2018), a composição química dos grãos está diretamente ligada às condições ambientais, propriedades do solo e as práticas de cultivo, o que pode evidenciar a razão da variação entre os valores de proteína obtidos, além de que, cada genótipo, embora pertençam à classe preta, possuem características individuais que podem também influenciar nesse parâmetro avaliado.

Os teores de proteína apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grãos crus e cozidos dos genótipos analisados. Essa diferença estatística também foi verificada por Barros (2014), que analisou a influência do cozimento na composição centesimal de cultivares de feijão-caupi. Em seu estudo foi possível observar que as cultivares BRS Milênio e BRS Aracê obtiveram teores de proteínas, respectivamente, 22,05 e 24,00 g 100 g⁻¹ nos grãos crus, enquanto após o cozimento esses teores aumentaram para 24,03 e 26,37g 100 g⁻¹.

Por outro lado, alguns estudos observaram diminuição no teor de proteínas pós-processamento térmico. Bezerra et al. (2019), avaliando a composição química de oito cultivares de feijão-caupi, observaram teores médios de proteínas nos grãos crus e cozidos de 32,29 e 9,19 g 100 g⁻¹, respectivamente. Affrifah, Phillips e Saalia (2021), revisando o perfil nutricional, métodos de processamento e produtos de feijão-caupi, observaram média de 23,52 g 100 g⁻¹ nos grãos crus e 7,73 g 100 g⁻¹ nos grãos cozidos.

Os processamentos térmicos como o cozimento aplicados ao feijão-caupi podem ocasionar modificações físico-químicas nas proteínas, amido e outros componentes dos grãos e, dessa forma, afetar o valor nutritivo. O aumento do teor de proteínas após o cozimento do feijão-caupi pode ser atribuído ao processamento térmico, em decorrência do calor úmido que provoca a desnaturação de fatores antinutricionais de natureza proteica e, ao mesmo tempo, evita a degradação exacerbada dos aminoácidos essenciais (POEL et al., 1990; RAMÍREZ-CÁRDENAS et al., 2008).

O aumento no conteúdo proteico após a etapa de cozimento demonstra que houve a liberação da matriz alimentar de compostos nitrogenados proteicos e não proteicos que podem ser detectados pelo método de *Kjeldahl*, que foi utilizado neste estudo para a análise de proteínas. A determinação de proteínas pelo método de *Kjeldahl* pode superestimar o conteúdo em um alimento, pois os resultados são mensurados de acordo com a quantificação de nitrogênio livre (CECCHI, 2003; HORNES et al., 2010).

A Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 da Anvisa que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados (BRASIL, 2020), determina que o Valor Diário Recomendado (VDR) de proteínas é de 50 gramas dias⁻¹. Considerando que os teores médios de proteína neste estudo foram de 27,42 g 100 g⁻¹ nos grãos crus e 29,15 g 100 g⁻¹ nos grãos cozidos, pode-se classificar os grãos como “alto teor proteico” por apresentarem teores superiores a 20% do VDR (10 g). Assim sendo, as médias correspondem a 54,84% do VDR nos grãos crus e 58,30% do VDR nos grãos cozidos.

5.1.5 Teor de carboidratos totais

Os teores de carboidratos nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são mostrados na Tabela 9. Nos grãos crus, as médias do teor de carboidratos totais variaram de 59,07 g (MNC10-998B-20-3) a 65,70 g 100g⁻¹ (BRS Tapaihum), com média geral de 61,79 g 100g⁻¹, diferenciando-se significativamente ($p < 0,05$) entre si para alguns genótipos. Nos genótipos que foram submetidos ao processamento térmico, as médias dos

teores de carboidratos totais apresentaram variação de 54,59 g (MNC10-998B-20-3) a 63,35 g 100g⁻¹ (BRS Tapaihum), também com diferença significativa ($p < 0,05$) entre alguns genótipos.

Esses resultados estão de acordo com os de Bezerra et al. (2019), que observaram valores de 60 e 67 g 100g⁻¹. Já Gondwe et al. (2019) encontraram valores de 45,64 a 57,12 g 100g⁻¹, menores ao observado neste estudo. Outros trabalhos também registraram médias semelhantes aos teores de carboidratos totais relatados nesta pesquisa: 60,03 g 100g⁻¹ (ABEBE et al., 2022); 60,03 g 100g⁻¹ (AFFRIFAH et al., 2021); 58,08 a 64,02g 100g⁻¹ (RIOS et al., 2018); 61,36 a 64,46 g 100g⁻¹ (OLIVEIRA, 2016); 59,70 a 61,28 g 100g⁻¹ (BARROS, 2014).

Tabela 9. Médias e desvio-padrão (DP) para os teores de carboidratos nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Teor de carboidratos (g 100 g ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	62,92 ± 0,52a B	60,05 ± 0,55b D
MNC09-981B-1	62,86 ± 1,07a B	61,75 ± 0,13a B
MNC09-981B-3	61,46 ± 0,50a C	60,80 ± 0,22a C
MNC09-981B-6	60,53 ± 0,86a D	60,43 ± 0,23a D
MNC09-981B-9	59,88 ± 0,16a E	59,36 ± 0,17b E
MNC09-988B-3	60,68 ± 0,29a D	60,63 ± 0,08a C
MNC09-988B-20	60,94 ± 0,49a D	58,26 ± 0,64b F
MNC09-988-1B-3-20	59,96 ± 0,14a E	56,48 ± 0,59b G
MNC10-982B-11-1	59,26 ± 0,47a E	56,56 ± 0,26b G
MNC10-982B-3-7	65,06 ± 0,04a A	61,05 ± 0,80b C
MNC10-998B-20-3	59,07 ± 0,41a E	54,59 ± 0,24b H
MNC10-998B-8-1	63,06 ± 0,26a B	60,01 ± 0,29b D
Pretinho	61,83 ± 0,23a C	59,04 ± 0,36b E
BRS Tapaihum	65,70 ± 0,86a A	63,35 ± 0,22b A
BRS Guirá	63,65 ± 0,64a B	62,26 ± 0,26b B
Média geral	61,79a	59,64b

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de Student) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Ao comparar as médias nos grãos crus e cozidos, é possível visualizar diferença significativa ($p < 0,05$) na maioria dos genótipos, entretanto, de modo geral, houve redução do teor de carboidratos. Essa diminuição pode ser evidenciada a partir do aumento no teor proteico, no teor lipídico e na umidade nos genótipos após o cozimento.

A redução no teor de carboidratos totais em feijão-caupi foi observada por Pereira (2013) ao verificar que a cultivar Pingo de Ouro obteve, nos grãos crus, $60,93 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, enquanto nos grãos cozidos apresentou $42,48 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ de carboidratos totais. Esse comportamento também foi relatado por Bezerra et al. (2019), que apresentou teores de carboidratos de $66,28 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ e $22,98 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ nos grãos crus e cozidos, respectivamente, da cultivar BRS Itaim.

Conforme Freitas et al. (2022), a maior fração centesimal de feijão é composta por carboidratos. Por ser determinado através da diferença entre os outros nutrientes da composição centesimal, o menor valor de carboidrato total revela uma quantificação maior de outro nutriente. O alto valor de carboidratos encontrado nos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto reafirma a importância dessa leguminosa como fonte de energia na dieta da população.

5.2 Valor Energético Total (VET)

As médias e desvios padrões do Valor Energético Total (VET) nos grãos crus e cozidos dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são apresentados na Tabela 10.

Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grãos crus dos genótipos avaliados, com variação de $366,50 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$ (MNC09-981B-6) a $377,63 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$ (Pretinho) e média geral de $370,61 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$. Após o cozimento, observou-se também diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos, com variação de médias entre $373,30 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$ (Pretinho) e $390,60 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$ (MNC09-988-1B-3-20) e média geral de $379,64 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$.

Comparando as médias do VET entre os grãos crus e grãos cozidos, observa-se também diferença significativa ($p < 0,05$) entre as duas formas de grãos, evidenciando-se que o processamento térmico afeta significativamente o teor de VET.

Freitas et al. (2022), Coelho et al. (2023) e Oliveira et al. (2023), ao analisarem a composição centesimal de grãos crus de genótipos de feijão-caupi observaram médias de VET variando de $359,22$ a $367,89 \text{ Kcal } 100\text{g}^{-1}$, um pouco abaixo da média encontrada neste estudo.

Após a cocção, observou-se que os genótipos apresentaram aumento no VET, exceto nos grãos da cultivar Pretinho. Melo et al. (2017) ao determinar a composição química de grãos verdes crus e cozidos de cultivares biofortificadas de feijão-caupi observaram de modo geral uma diminuição no VET após o cozimento, porém, na cultivar BRS Guariba verificou-se um aumento. Os autores afirmaram que o aumento do VET após a cocção ocorreu devido ao

aumento de macronutrientes, como proteínas e carboidratos. Considerando que foi observada uma elevação nos teores de lipídeos e proteínas após o cozimento dos grãos dos genótipos, isso contribuiu para o aumento do teor de VET nos grãos cozidos.

Tabela 10. Médias e desvio-padrão (DP) para o Valor Energético Total (VET) nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	VET (Kcal 100g ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	371,53 ± 1,49b D	377,64 ± 1,83a D
MNC09-981B-1	370,95 ± 1,47b D	374,77 ± 0,95a F
MNC09-981B-3	371,04 ± 2,06b C	377,22 ± 1,45a E
MNC09-981B-6	366,50 ± 1,47b C	374,28 ± 0,63a E
MNC09-981B-9	370,43 ± 1,10b B	380,52 ± 0,55a C
MNC09-988B-3	373,33 ± 1,57b B	380,74 ± 0,60a D
MNC09-988B-20	366,75 ± 0,33b C	387,16 ± 2,14a B
MNC10-988-1B-3-20	371,99 ± 0,84b B	390,60 ± 0,44a A
MNC10-982B-11-1	367,83 ± 1,17b B	376,06 ± 5,84a B
MNC10-982B-3-7	370,26 ± 1,36b F	385,55 ± 4,11a C
MNC10-998B-20-3	371,92 ± 0,60b A	386,59 ± 0,28a A
MNC10-998B-8-1	369,43 ± 1,47b E	381,29 ± 0,68a C
Pretinho	377,63 ± 0,50b B	373,30 ± 1,29a D
BRS Tapaihum	370,07 ± 1,09b F	374,68 ± 1,55a G
BRS Guirá	369,56 ± 1,52b E	373,66 ± 0,11a F
Média geral	370,61b	379,64a

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de *Student*) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Apesar de demonstrarem aumento no VET após o cozimento, os genótipos de feijão-caupi de grãos pretos são capazes de manter características nutricionalmente relevantes após o preparo para consumo, dessa forma, fornecendo energia para quem os consome, sendo fonte energética para todos os grupos etários.

5.3 Teores de minerais Ferro e Zinco

5.3.1 Teor de Ferro (Fe)

As médias e desvios padrões do teor de Fe nos grãos crus e cozidos dos genótipos de feijão-caupi de grãos pretos são mostrados na Tabela 11. Nos grãos crus, a maior média do teor de Fe foi de 5,87 mg 100g⁻¹ (MNC09-981B-3), seguida de 5,80 mg 100g⁻¹ (MNC08-937C-6-1), enquanto a menor média foi de 4,11 mg 100g⁻¹ (MNC10-998B-8-1). A média geral nos grãos crus foi de 5,13 mg 100g⁻¹.

Tabela 11. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor de Ferro (Fe) nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Teor de Fe (mg 100 g ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937C-6-1	5,80 ± 0,10a A	3,28 ± 0,11b D
MNC09-981B-1	5,26 ± 0,12a B	3,92 ± 0,44b B
MNC09-981B-3	5,87 ± 0,12a A	3,88 ± 0,05b B
MNC09-981B-6	5,30 ± 0,21a B	3,57 ± 0,08b C
MNC09-981B-9	5,42 ± 0,37a B	3,95 ± 0,15b B
MNC09-988B-3	5,65 ± 0,57a A	3,75 ± 0,01b B
MNC09-988B-20	5,73 ± 0,40a A	4,29 ± 0,11b A
MNC09-988-1B-3-20	4,73 ± 0,02a C	3,06 ± 0,08b D
MNC10-982B-11-1	5,63 ± 0,10a A	3,56 ± 0,01b C
MNC10-982B-3-7	5,05 ± 0,06a C	3,78 ± 0,18b B
MNC10-998B-20-3	4,77 ± 0,36a C	3,30 ± 0,25b D
MNC10-998B-8-1	4,11 ± 0,36a D	3,58 ± 0,04a C
Pretinho	4,52 ± 0,43a D	3,52 ± 0,04b C
BRS Tapaihum	4,31 ± 0,14a D	3,73 ± 0,05b B
BRS Guirá	4,86 ± 0,14a C	3,63 ± 0,10b C
Média geral	5,13a	3,65b

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de *Student*) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Valores abaixo do encontrado neste estudo foram relatados por Rios et al. (2018) e Freitas et al. (2022) que, ao determinarem o teor de Fe em grãos crus de genótipos de feijão-caupi, observaram médias de 4,80 e 4,66mg 100g⁻¹, respectivamente. Já Barros (2019), Coelho et al. (2021) e Oliveira et al. (2023), ao caracterizarem a composição de minerais em grãos crus de cultivares de feijão-caupi, demonstraram teores de Fe superiores, com médias gerais variando de 6,01 a 6,18 mg 100g⁻¹. Essa variação em relação aos teores encontrados neste trabalho, também comparados aos resultados dos demais autores, pode ser explicada pela variabilidade genética da cultura, condições edafoclimáticas (ambiente) e a interação genótipo com o ambiente (SILVA et al., 2012b).

Observou-se que os teores de Fe diminuíram nos grãos dos genótipos após o cozimento (Tabela 11) com diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparados com os teores presentes nos grãos crus, indicando que o processo de cozimento influencia negativamente nos teores desse micronutriente.

As médias do teor de Fe nos grãos cozidos variaram de $3,06 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (MNC09-988-1B-3-20) a $4,29 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (MNC09-988B-20), com uma média geral de $3,65 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (tabela 11), expressando uma redução média de 28,84% no teor de Fe quando comparado aos grãos crus.

Perdas no teor de Fe após o cozimento também foram observadas por outros autores. Barros (2014), ao analisar a influência do cozimento na composição mineral de cultivares de feijão-caupi, também observou redução no teor de Fe após o cozimento em panela de pressão, destacando-se a cultivar BRS Milênio que na forma crua apresentou média de $5,57 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, enquanto após o cozimento esse valor foi reduzido para $2,92 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Silva et al. (2017), quando estudou a retenção de minerais após o cozimento em genótipos de feijão-caupi, também demonstraram redução nos teores de Fe, com média de $57,4 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ no grão cru e de $55,7 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ no grão cozido.

Segundo Bassinello (2011) os diversos métodos de preparo de um alimento afetam o teor e a retenção de minerais. No feijão, o aproveitamento ou não da água de remolho durante o processo de cocção pode influenciar na retenção de minerais importantes como Fe e Zn. Os minerais que se perdem nos grãos cozidos se concentram na água de cozimento, sendo que o caldo pode conter até 73% dos minerais dos grãos crus, dependendo da cultivar e do mineral.

A Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 da Anvisa que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados (BRASIL, 2020), determina que o Valor Diário Recomendado (VDR) de Fe é de 14 miligramas dias⁻¹. Considerando que os teores médios de Fe foram de $5,13 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para os grãos crus e $3,65 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para os grãos cozidos, pode-se classificar os teores nos grãos crus dos genótipos avaliados como “possuidores de alto conteúdo de Fe”, por apresentarem teores superiores a 30% do VDR (4,2 mg); e os grãos cozidos como “fonte de Ferro”, por apresentarem teores acima de 15% do VDR (2,1 mg). Assim sendo, as médias do teor de Fe observadas no presente trabalho correspondem a 36,64% do VDR nos grãos crus e 26,07% do VDR nos grãos cozidos.

A ingestão de Fe é um fator de elevada importância na redução dos casos de anemia, pois estima-se que 50% dos casos são decorrentes da deficiência desse micronutriente. O Fe que se encontra presente no feijão é do tipo não-heme, e sua absorção pelo organismo depende da solubilização deste no estômago e redução para a forma ferrosa no intestino. A absorção do

Ferro não-heme é de aproximadamente 2 a 10% e é muito influenciada por vários componentes da dieta, como quantidade, consumo de alimentos em conjunto que podem facilitar ou dificultar a absorção, estado de saúde e estado nutricional de Fe do indivíduo (WHO, 1989; BORTOLINI e FISBERG, 2010).

A seleção de cultivares produtivas de feijão-caupi biofortificadas, com alto teor de minerais e outros nutrientes, adaptadas aos diversos ambientes de cultivo e que estejam disponíveis para agricultores e consumidores é cada vez mais necessária, pois vários estudos comprovam que essa leguminosa representa uma importante alternativa como fonte de Fe, diante dos altos custos das demais fontes, principalmente de origem animal, como a carne vermelha.

5.3.2 Teor de Zinco (Zn)

As médias e desvios padrões do teor de Zinco (Zn) nos grãos crus e cozidos dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são apresentadas na Tabela 12. Nos grãos crus, a média do teor de zinco variou de 4,85 mg 100g⁻¹ (MNC10-998B-8-1) a 6,62 mg 100g⁻¹ (MNC10-998B-20-3), com média geral de 5,60 mg 100g⁻¹. Já nos grãos que passaram pelo tratamento térmico de cocção, a variação do teor de Zinco foi de 3,13 mg 100g⁻¹ (BRS Tapaihum) a 5,71 mg 100g⁻¹ (MNC10-998B-20-3).

Os teores médios de Zn encontrados nos grãos crus dos genótipos avaliados se assemelham aos relatados por Pereira et al. (2014), que observaram uma média de 5,14 mg 100g⁻¹. Já Oliveira et al. (2017b) e Oliveira et al. (2023) registraram teores de Zn menores do que os observados no presente estudo, com médias de 4,46 e 4,3 mg 100g⁻¹, respectivamente. Barros (2014), ao comparar os teores de Zinco nos grãos antes e após o cozimento de cultivares de feijão-caupi, encontrou teores inferiores nos grãos crus, sendo a maior delas determinada na cultivar BRS Aracê, com 4,19 mg 100g⁻¹.

Após a cocção, observou-se que o teor de Zn nos grãos sofreu redução de aproximadamente 21,25% com diferença significativa (p<0,05) em relação aos grãos crus. Esse comportamento também foi observado por Barros (2014) com os teores de Zinco após o cozimento da cultivar de feijão-caupi BRS Aracê, que apresentou 4,19 mg 100g⁻¹ e 2,27 mg 100g⁻¹ nos grãos crus e cozidos, respectivamente.

Essa redução nos teores de Zn após o cozimento dos grãos pode ser explicada pelo fato de que os minerais são estáveis ao calor, portanto não sendo destruídos durante o cozimento, mas podem ser lixiviados na água de cozimento durante o processo (WAINAINA et al., 2021),

o que justifica esse comportamento, considerando que o caldo resultante da cocção foi desprezado. Além disso, embora os minerais não sejam alterados quimicamente pelo processamento térmico, sua bioacessibilidade e biodisponibilidade podem ser afetadas (OLIVEIRA et al., 2018).

Tabela 12. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor de Zinco (Zn) nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, analisados em base seca. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Zn (mg 100 g ⁻¹)	
	Grão cru Média ± DP	Grão cozido Média ± DP
MNC08-937-C-6-1	6,20 ± 0,02a B	4,08 ± 0,28b E
MNC09-981B-1	5,80 ± 0,07a D	5,03 ± 0,15b B
MNC09-981B-3	5,20 ± 0,06a F	3,97 ± 0,03b F
MNC09-981B-6	5,13 ± 0,02a G	4,75 ± 0,00b C
MNC09-981B-9	5,81 ± 0,06a D	4,57 ± 0,05b C
MNC09-988B-3	6,29 ± 0,03a B	4,91 ± 0,03b B
MNC09-988B-20	5,99 ± 0,14a C	4,89 ± 0,05b B
MNC09-988-1B-3-20	5,83 ± 0,05a D	4,70 ± 0,04b C
MNC10-982B-11-1	5,61 ± 0,13a E	4,34 ± 0,05b D
MNC10-982B-3-7	5,17 ± 0,14a G	4,14 ± 0,03b E
MNC10-998B-20-3	6,62 ± 0,16a A	5,71 ± 0,02b A
MNC10-998B-8-1	4,85 ± 0,03a H	3,78 ± 0,02b F
Pretinho	5,28 ± 0,05a F	3,84 ± 0,18b F
BRS Tapaihum	5,05 ± 0,01a G	3,14 ± 0,03b G
BRS Guirá	5,24 ± 0,06a F	4,31 ± 0,16b D
Média geral	5,60a	4,41b

*Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão.

Letras minúsculas iguais na mesma linha (Teste *t* de Student) e letras maiúsculas iguais na mesma coluna (Teste de Scott-Knott) não apresentam diferença estatisticamente significativa entre as médias ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

O Zn é um mineral importante presente na dieta humana e sua deficiência pode interferir no crescimento e desenvolvimento normal das crianças, os sentidos físicos como olfato e paladar, podendo resultar em anorexia e doenças de pele (CHESTERS, 1997). A deficiência de Zn moderada tem sido cada vez mais registrada, principalmente nos países em desenvolvimento, onde estudos bem delineados têm mostrado a relevância clínica deste estado de deficiência, onde observa-se os seguintes problemas de saúde: retardo no crescimento, diarreia, pneumonia, malária e efeito prejudicial ao desenvolvimento cerebral (HAMBIDGE, 2000).

A Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 da Anvisa que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados (BRASIL, 2020), preconiza que o Valor Diário Recomendado (VDR) de Zinco é de 11 miligramas dias⁻¹. Considerando que os teores médios de Zinco foram de 5,60 mg 100g⁻¹ para os grãos crus e 4,41 mg 100g⁻¹ para os grãos cozidos, pode-se classificar os genótipos como possuidores de “alto teor de Zinco” por apresentarem teores superiores a 30% do VDR (3,3 mg). Dessa forma, as médias equivalem a 50,90% do VDR nos grãos crus e 40,09% do VDR nos grãos cozidos.

A partir dos resultados acima, evidencia-se que o consumo de feijão-caupi de grãos pretos pode auxiliar no combate à deficiência de Zn no organismo, evitando o surgimento de inúmeras complicações no quadro de saúde da população, por apresentar teores elevados desse micronutriente, além de configurar-se como uma fonte de baixo custo e ampla aceitabilidade.

5.4 Qualidade do cozimento

A porcentagem de grãos cozidos (PGC), que mede a qualidade de cozimento dos genótipos de feijão-caupi avaliados é mostrada na Tabela 13.

Tabela 13. Médias e desvio-padrão (DP) para a porcentagem de grãos cozidos (PGC) de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	PGC (%)
MNC08-937C-6-1	31 ± 1,41f
MNC09-981B-1	53 ± 1,41e
MNC09-981B-3	77 ± 1,41b
MNC09-981B-6	65 ± 4,24d
MNC09-981B-9	81 ± 4,24b
MNC09-988B-3	82 ± 2,82b
MNC09-988B-20	85 ± 4,24a
MNC09-988-1B-3-20	78 ± 2,82b
MNC10-982B-11-1	65 ± 1,41d
MNC10-982B-3-7	87 ± 1,41a
MNC10-998B-20-3	71 ± 1,41c
MNC10-998B-8-1	63 ± 1,41d
Pretinho	86 ± 2,82a
BRS Tapaihum	73 ± 4,24c
BRS Guirá	69 ± 1,41c
Média geral	71,07

*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).
Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Observou-se diferença significativa entre os genótipos avaliados quanto à qualidade de cozimento, com média geral de 71,07%. O teste de Scott-Knott permitiu agrupar os genótipos avaliados em seis grupos (a, b, c, d, e, f), sendo o grupo “a” o que apresentou os melhores resultados quanto ao percentual de qualidade de cozimento.

De acordo com o método de Mattson (1946) de determinação do tempo de cocção, quando 13 das 25 varetas, ou seja, 52%, perfuram os grãos, considera-se a amostra cozida. O procedimento utilizado neste estudo para avaliar a qualidade de cozimento de genótipos teve como referência a metodologia adotada por Carvalho et al. (2017), com adaptações de Barros (2019) e Freitas et al. (2022). Essa metodologia permitiu avaliar a qualidade de cozimento de um número satisfatório de genótipos em um tempo otimizado.

Os genótipos MNC10-982B-3-7, Pretinho e MNC09-988B-20, pertencentes ao grupo “a”, apresentaram os melhores índices de porcentagem de grãos cozidos, 87%, 86% e 85% respectivamente. Entre os quinze genótipos avaliados, verifica-se que quatorze deles demonstraram boa qualidade de cocção, apresentando percentuais acima de 52% de perfuração de grãos, destacando-se como genótipos promissores para o desenvolvimento e comercialização de cultivares com bons atributos ligados ao consumo. Por outro lado, o genótipo MNC08-937C-6-1, apresentando o menor percentual de grãos cozidos (31%), apresentando, assim, baixa qualidade de cozimento. O menor percentual de grãos cozidos indica que este genótipo gastará mais tempo e energia (gás, lenha ou energia elétrica) para o cozimento, sendo indesejável para o consumidor.

A etapa de remolho por 60 minutos foi fundamental para o cozimento dos grãos dentro do tempo pré-determinado de 30 minutos, pois de acordo com Bellido et al. (2006), a imersão ou remolho tem como finalidade amaciar os grãos, reduzindo assim o tempo geral de cozimento e gerando economia nos custos de energia. Isso se deve ao aumento da disponibilidade de água que facilita reações como a gelatinização do amido durante o cozimento.

O tempo de cozimento do feijão é influenciado por diversos fatores, tais como genéticos, ambientais, de pré-processamento e processamento. A variabilidade genética do tempo de cozimento tem sua causa evidenciada nos diversos fatores físicos e químicos que diferem entre os vários tipos de sementes, como espessura e composição do tegumento da semente, bem como a composição do cotilédone (WAINAINA et al., 2021). Além disso, Valle et al. (1992), relatam que a espessura do tegumento do grão influencia na taxa de absorção de água, sendo maior nos grãos de cor clara em comparação com os grãos mais escuros, fato que pode explicar em parte, a baixa qualidade de cozimento do genótipo MNC08-937C-6-1. Em consonância com Smýkal et al. (2014), a complexidade na penetração da água nos grãos com tegumentos mais escuros se

dá pelo revestimento mais espesso devido à deposição de polifenóis que supostamente desempenham um papel na permeabilidade do tegumento do grão.

Freitas et al. (2022), utilizando a mesma metodologia deste estudo, avaliaram a qualidade de cozimento de 100 genótipos de feijão-caupi e observaram uma média de 68,7% de grãos cozidos, menor que a encontrada neste estudo, mas ainda superior ao percentual de referência para a classificação de grão cozido de acordo com Mattson (1946), indicando que, no geral, os genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto estudados demonstraram boa qualidade de cocção.

Wainaina et al. (2021) relatam que não há protocolos padronizados para o cozimento do feijão e as escassas diretrizes existentes variam dependendo da classe de mercado ou variedade de feijão. Na ausência de um procedimento de cozimento validado, o determinante para a escolha de um método de preparo adequado é a acessibilidade e a conveniência ligadas ao tempo e custos de energia.

5.5 Retenção de nutrientes pós-cozimento

5.5.1 Retenção de nutrientes pós-cozimento com base na composição centesimal

Os percentuais de retenção de nutrientes após processo de cocção com base na composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos totais e Valor Energético Total) dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são mostrados na Tabela 14.

Nota-se que os teores de umidade, lipídeos, proteínas e VET apresentaram-se com retenção acima de 100%, indicando que não ocorreram perdas, mas sim aumento do conteúdo desses atributos nos genótipos após o cozimento. Quanto à redução do conteúdo de cinzas após o cozimento, evidencia-se que este fato ocorreu em decorrência da perda de minerais que foram lixiviados para o caldo durante a cocção. Já a redução do conteúdo de carboidratos totais é justificada pelo aumento nos teores de proteínas e lipídeos nos grãos cozidos.

Tabela 14. Percentual de retenção de nutrientes pós-cozimento com base na composição centesimal de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Retenção (%)					
	Umidade	Cinzas	Lipídeos	Proteínas	Carb. Totais	VET
MNC08-937C-6-1	129,50	62,23	176,16	107,15	95,44	101,64
MNC09-981B-1	108,02	68,62	101,26	107,72	98,23	101,03
MNC09-981B-3	109,00	69,33	138,75	102,89	98,93	101,67
MNC09-981B-6	104,33	62,47	150,41	102,75	99,83	102,12
MNC09-981B-9	103,36	60,44	139,70	104,16	99,13	102,72
MNC09-988B-3	117,25	57,43	151,33	100,65	99,92	101,98
MNC09-988B-20	101,90	58,11	423,26	105,31	95,60	105,57
MNC09-988-1B-3-20	109,71	58,44	293,75	106,24	94,20	105,00
MNC10-982B-11-1	107,54	65,74	207,38	106,82	95,44	102,24
MNC10-928B-3-7	101,76	63,98	231,85	113,22	93,84	104,13
MNC10-998B-20-3	105,29	61,79	200,54	113,28	92,42	103,94
MNC10-998B-8-1	106,97	75,59	249,61	106,37	95,16	103,21
Pretinho	159,60	59,54	100,00	106,25	95,49	100,33
BRS Tapaihum	119,63	74,88	161,69	105,87	96,42	101,25
BRS Guirá	104,11	75,71	118,60	107,32	97,82	101,11

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

5.5.2 Retenção de Ferro e Zinco pós-cozimento

O percentual de retenção dos microminerais Ferro e Zinco nos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto após a cocção é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Percentual de retenção de Ferro (Fe) e Zinco (Zn) pós-cozimento de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	Retenção (%)	
	Fe	Zn
MNC08-937C-6-1	56,55	65,81
MNC09-981B-1	74,52	86,72
MNC09-981B-3	66,10	76,35
MNC09-981B-6	67,36	92,59
MNC09-981B-9	72,88	78,66
MNC09-988B-3	66,37	78,06
MNC09-988B-20	74,87	81,64
MNC09-988-1B-3-20	64,69	80,62
MNC10-982B-11-1	63,23	77,36
MNC10-982B-3-7	74,85	80,08
MNC10-998B-20-3	69,18	86,25
MNC10-998B-8-1	87,10	77,94
Pretinho	77,88	72,73
BRS Tapaihum	86,54	62,18
BRS Guirá	74,69	82,25

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Com relação aos teores de Ferro e Zinco, é possível observar que embora o cozimento tenha afetado negativamente o conteúdo desses microminerais, ainda assim observa-se que os percentuais de retenção nos genótipos mostraram-se satisfatórios, com todos os índices acima de 50%, indicando que após o cozimento, o conteúdo mineral se mantém com bons resultados.

5.6 Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento

O índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, determinado a partir dos teores de proteína, Ferro e Zinco e a porcentagem de grãos cozidos encontram-se expressos em ordem decrescente na Tabela 16.

Tabela 16. Índices de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto avaliados com base na seleção simultânea dos teores de proteínas, Ferro e Zinco e a porcentagem de grãos cozidos. Teresina, PI, 2022.

Genótipo	IQNC
MNC09-988B-20	2,99
Pretinho	2,34
MNC09-988B-3	2,07
MNC10-982B-3-7	1,95
MNC09-988-1B-3-20	1,91
MNC09-981B-9	1,89
MNC10-998B-20-3	1,74
MNC09-981B-3	0,71
MNC10-982B-11-1	-0,32
BRS Guirá	-0,85
MNC09-981B-6	-0,96
BRS Tapaihum	-1,45
MNC10-998B-8-1	-1,88
MNC09-981B-1	-3,06
MNC08-937C-6-1	-7,07

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Observa-se que os genótipos MNC09-988B-20, Pretinho e MNC09-988B-3 apresentaram os maiores valores de IQNC (2,99; 2,34 e 2,07, respectivamente), bem como sinais positivos, enquanto os genótipos MNC10-998B-8-1 (-1,88), MNC09-981B-1 (-3,06) e MNC08-937C-6-1 (-7,07) exibiram os menores valores de IQNC e sinais negativos.

Os genótipos com valores maiores e positivos de IQNC evidenciam que estes conseguiram agregar maiores teores de proteínas, Ferro e Zinco e maior qualidade de cozimento no sentido de aumento desses atributos nos grãos dos genótipos com a seleção, o que é desejável no melhoramento para alta qualidade nutricional e rápido cozimento. Já os genótipos que

apresentaram valores de IQNC menores e negativos, contrariamente, demonstram que agregam pouco esses atributos, pois contribuem mais para diminuir os valores, sendo indesejáveis do ponto de vista do melhoramento genético para associação simultânea dessas características.

Freitas et al. (2022), avaliando 100 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, utilizaram o IQNC e identificaram um genótipo com melhor perfil nutricional e de cozimento (MNC11-1023E-28), demonstrando que esse índice é um bom critério para a seleção simultânea de vários atributos do grão de feijão-caupi. Esses autores relataram que genótipos com esse perfil se constituem em uma excelente opção alimentar para os consumidores que exigem um preparo rápido das refeições, além de uma alternativa para combater a deficiência de Ferro e Zinco na população brasileira.

Os resultados obtidos evidenciaram que os genótipos que apresentaram os melhores perfis de qualidade nutricional e cozimento (MNC09-988B-20, Pretinho e MNC09-988B-3) podem ser utilizados em programas de melhoramento de feijão-caupi como parentais em futuros cruzamentos ou lançados como novas cultivares comerciais, atendendo as necessidades do consumidor. No entanto, para que esses genótipos sejam lançados no mercado como novas cultivares, devem também apresentar alto potencial agrônomico e adaptação ao ambiente de cultivo, que são demandas dos agricultores.

6 CONCLUSÕES

Os genótipos de feijão-caupi de grãos pretos avaliados apresentaram altos teores de proteínas, Ferro e Zinco, nos grãos crus e altos teores de proteínas e Zinco e fonte de Ferro após o cozimento, de acordo com as referências preconizadas na legislação vigente.

O processo de cozimento dos grãos pretos dos genótipos de feijão-caupi avaliados influencia positivamente, aumentando os teores de proteínas e negativamente, reduzindo os teores de Ferro e Zinco, mas os grãos ainda permanecem com teores satisfatórios desses microminerais.

Dentre os genótipos de feijão-caupi de grãos pretos avaliados, MNC09-988B-20, Pretinho e MNC09-988B-3 apresentam melhor qualidade nutricional e de cozimento e maior retenção de nutrientes pós-cozimento. Esses genótipos podem ser utilizados como genitores em cruzamentos ou recomendados diretamente como cultivares comerciais, atendendo as necessidades do consumidor e constituindo-se em excelentes opções para o mercado de feijão-caupi de grãos pretos.

REFERÊNCIAS

- ABEBE, B. K.; ALEMAYEHU, M. T. A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) for human and animal diets. **Journal of Agriculture and Food Research**, v.10, 2022.
- ADEBOOYE, O.C.; SINGH, V. Effect of cooking on the profile of phenolics, tannins, phytate, amino acid, fatty acid and mineral nutrients of whole-grain and decorticated vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Journal of Food Quality**, v. 30, p. 1101-1120, 2007.
- AFFRIFAH, N. S.; PHILLIPS, R. D.; SAALIA, F. K. Cowpeas: nutritional profile, processing methods and products – a review. **Legume Science**, v. 4, n.3, p. 1-12, 2021.
- AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, v.7, n. 6, p. 179-187, 1996.
- ALLANTOSPERMUM, A. et al. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.
- ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédones verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17-20, jan./abr. 2002.
- ANJOS, F.; VAZQUEZ-ANON, M.; DIERENFELD, E. S.; PARSONS, C. M.; CHIMONYO, M. Chemical composition, amino acid digestibility, and true metabolizable energy of cowpeas as affected by roasting and extrusion processing treatments using the cecectomized rooster assay. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 25, p. 85-94, 2016.
- AOAC, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 17. ed. Arlington: AOAC, 2008.
- ARAÚJO, K. C. **Avaliação de linhagens melhoradas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) na região noroeste fluminense para estudo de valor de cultivo e uso**. 2019. 115 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR – ABEAS. **Módulo 9 – Análises químicas, físicas e microbiológicas de sucos e polpas tropicais**. Brasília: ABEAS, 1998. 124 p.
- ÁVILA, B. P. **Efeito dos processamentos nas propriedades tecnológicas, sensoriais e nutricionais de feijão comum e caupi e sua aplicação em panificação**. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

BARAMPANA, 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**, v.48, n.4, p.349-365, 1995.

BARROS, E. K. C. **Caracterização e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi com base nos teores de proteínas, ferro e zinco e na qualidade de cocção**. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

BARROS, N. V. A. **Influência do cozimento na composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão-caupi**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

BASSINELLO, P. Z. Qualidade nutricional, funcional e tecnológica do feijão. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

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.

BELLIDO, G.; ARNTFIELD, S. D.; CENKOWSKI, S.; SCANLON, M. Effects of microzination pretreatments on the physicochemical Properties of navy and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **LWT – Food Science and Technology**, v. 39, n. 7, p. 779-787, 2006.

BEZERRA, J. M. **Quantificação de compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi**. 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2015.

BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; DOS SANTOS, A. F.; FARIAS, E. T. R.; LOPES, M. F.; SOUZA, A. S. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 41-47, 2019.

BONETT, L. P.; BAUMGARTNER, M. S. T.; KLEIN, A. C.; SILVA, L. I. Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Ciência e Saúde Unipar**, v. 11, n. 3, p. 235-246, 2007.

BORTOLINI, G. A.; FISBERG, M. Orientação nutricional do paciente com deficiência de ferro. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 32, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Instrução Normativa nº 75, de 08 de outubro de 2020**. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ed. 195, Seção 1, p. 113, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 mar. 2008. Seção 1, p. 11-14.

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.

CANÇADO, R. D. Deficiência de ferro: causas, efeitos e tratamento. **Revista Brasileira de Medicina**, p. 17-26, 2010.

CARBONELL, S. A. M. et al. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; BOLONHEZI, D.; BARROS, V. L. N. P.; BORGES, W. L. B.; TICELLI, M.; GALLO, P. B.; FINOTO, E. L.; SANTOS, N. C. B. 'IAC Milênio' – Common bean cultivar with high grain quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 273-276, 2014.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, p. 81-88, 2012a.

CARVALHO, B.; RAMALHO, M.; JÚNIOR, I.; ABREU, A. New strategy for evaluating grain cooking quality of progenies in dry bean breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 115-123, 2017.

CARVALHO, L. M. J. et al. Iron and zinc retention in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) after home cooking. **Food & Nutrition Research**, v. 56, n. 1, p. 1-6, 2012b.

CARVALHO, L. M. S.; LUZ, M. S.; FREIRE, L. S.; ROCHA, M. M. Influência do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi. **Nutrivisa**, v. 10, p. 1-13, 2023.

CARVALHO, N. M. **A secagem de sementes**. J. Jaboticabal: FUNEP, p. 165, 1994.

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Effect of thermal processing on chemical compositions, bioactive compounds, and antioxidant activities of cowpea cultivars. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1050-1058, 2017.

CAVALCANTE, R. B. M.; MORGANO, M. A.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Cheese bread enriched with biofortified cowpea flour. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 1, p. 97-108, 2016.

CECHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2 ed rev. Campinas, São Paulo: editora UNICAMP, 2003.

CHESTERS, J. K. Zinc. In: O'DELL B. L.; SUNDE R. A. (Eds). **Handbook of nutritionally essential mineral elements**. Missouri: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 1997. p.185-320.

CICHY, K. A.; WIESINGER, J. A.; MENDOZA, F. A. Genetic diversity and genome wide association analysis of cooking time in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Theoretical and Applied Genetic**, v. 128, p. 1555-1557, 2015.

COELHO, R. C.; BARSOTTI, R. C. F.; MALTEZ, H. F.; C.; LOPES JÚNIOR, C. A.; BARBOSA, H. S. Expanding information on the bioaccessibility and bioavailability of iron and zinc in biofortified cowpea seeds. **Food Chemistry**, v. 347, p. 1-9, 2021.

COELHO, R. C.; SILVA, D. S. N.; SILVA, H. C.; ROCHA, M. M.; BARSOTTI, R. C. F.; MALTEZ, H. F.; DANTAS, C.; LOPES JÚNIOR, C. A.; BARBOSA, H. S. Revealing the extended effect of biofortification on seed of cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 119, p. 1-9, 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 9, n. 9 - Safra 2021/2022 – 9º levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2022. 98 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 10, n. 5 - Safra 2022/2023 – 5º levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2023. 84 p.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. Barueri, SP: Editora Manole Ltda. 2005.p.76-87.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 514 p.

DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; MENEZES-JÚNIOR, J. A. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. (Ed.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. 1. ed. Teresina, PI: EMBRAPA, 2016. v. 1, cap. 1, p. 6-12.

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

DAVID, O.; ACKA, G. K.; ACKA, A. Quality evaluation of noodles with cowpea substitution. **International Journal of Innovative Research and Advanced Studies**, v. 4, n. 6, p. 464-473, 2017.

DESRAVINES, R. P. **Produção otimizada de feijão-caupi imaturo sob adubação orgânica em ambiente semiárido**. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

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

- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi**: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 29-92.
- FREIRE FILHO, F. R.; RODRIGUES, J. E. L. F.; GOMES JÚNIOR, R. A.; AZEVEDO, R.; RIBEIRO, V. Q.; BOARI, A. J.; NOGUEIRA, M. S. R.; BENCHIMOL, R. L.; CARVALHO, A. V.; HUSNY, J. C. E. **BRS Guirá**: primeira cultivar de feijão-caupi com grãos de tegumento preto para o estado do Pará. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2023. 12 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 349).
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. L. F.; VIEIRA, P. F. M. J. Cultura: aspectos socioeconômicos. In: Do VALE, J. C.; BERTINI, C. H. M.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão-caupi**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. p. 9-34.
- FREIRE FILHO, F. R. (coord.) **Feijão-caupi no Brasil**: produção, melhoramento genético e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.
- FREITAS, T. K. T.; GOMES, F. O.; ARAÚJO, M. S.; SILVA, I. C. V.; SILVA, D. J. F.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M. Potential of cowpea genotypes for nutrient biofortification and cooking quality. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, p. 1-11, 2022.
- FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Utilização de farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 44-50, 2009.
- 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**, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.
- GONÇALVES, A.; GOUFO, P.; BARROS, A.; DOMÍNGUEZ-PERLES, R.; TRINDADE, H.; ROSA, E. A.; FERREIRA, L.; RODRIGUES, M. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 2941-2951, 2016.
- GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYADIXON, B. (2019). cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2019.
- HAIDER, M. U.; FAROOQ, M.; NAWAZ, A.; HUSSAIN, M. Foliage applied zinc ensures better growth, yield and grain bio fortification of mungbean. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 20, n. 12, p. 2817-2822, 2018.
- HAMBIDGE, M. Human zinc deficiency. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1344-1349, 2000.
- HORNES, M.; SILVA, A.G.; MITTERER, M.L.; QUEIROZ, M.I. Influência dos compostos nitrogenados na concentração de proteína da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 364-371. 2010.

HU, N.; ZHENG, J.; LI, W.; SUO, Y. Isolation, stability, and antioxidant activity of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murray and *Nitraria tangutorum* Bobr of Qinghai-Tibetan plateau. **Separation Science and Technology**, v. 49, n. 18, p. 2897-2906, 2014.

JAYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, U.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B. C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018.

KALPANADEV, V.; MOHAN, V. R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. unguiculata. **Food science & technology**, v. 51, n. 2, p. 455-461, 2013.

KING, J. C.; SHAMES, D. M.; WOODHOUSE, L. R. Zinc homeostasis in Humans. **The Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1360-1366, 2000.

KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. 301 p.

LOVATO, F.; KOWALESKI, J.; DA SILVA, S. Z.; HELDT, L. F. S. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biofortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1-5, 2018.

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloid-chemical and biochemical study. **Acta Agriculturae Suecana**, v. 2, p. 185-190, 1946.

MEDEIROS FILHO, S.; TEÓFILO, E.M. Tecnologia de produção de sementes. In: FREIRE FILHO, F. R.; ARAUJO LIMA, J. A.; RIBEIRO, V. Q. (Eds.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 449-519.

MELO, N. Q. C.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M. Chemical characterization of green grain before and after thermal processing in biofortified cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**. v. 48, n. 5. p. 811-816, 2017.

MILLER, D.D. Minerals. In: FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 3.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 618-649.

MURPHY, E. W.; CRINER, P. E.; GRAY, B. C. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. **J. Agric. Food Chem.**, v. 23, n. 6, p. 1153-1157, 1975.

OLIVEIRA, A. B.; MESQUITA, R. O.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; SILVA, T. M. Exigências edafoclimáticas e Ecofisiologia. In: DO VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017a. p. 52-69.

OLIVEIRA, A. M. C.; JEAN, A.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; FRANCO, L. J. D.; ROCHA, M. M. Proximate composition, minerals, tannins, phytates and cooking quality of commercial cowpea cultivars. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 3, p. 702-710, 2023.

OLIVEIRA, A. P.; MATEÓ, B. S. O.; FIOROTO, A. M.; OLIVEIRA, P. V.; NAOZUKA, J. Effect of cooking on the bioaccessibility of essential elements in different varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 67, p.135-140, 2018.

OLIVEIRA, D. S. V. **Caracterização química, minerais, tempo de cocção e produtividade de genótipos de feijão-caupi**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

OLIVEIRA, D. S. V.; FRANCO, L. J. D.; MENEZES-JÚNIOR, J. A. N.; DAMASCENOSILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; NEVES, A. C.; SOUSA, F. M. Adaptability and stability of the zinc density in cowpea genotypes through GGE-Biplot method. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 783-791, 2017b.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; LONDERO, P. M. G. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1912-1918, 2008.

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

PADOVANI, R. M.; AMAYA-FARFÁN, J.; COLUGNATI, F. A. B.; DOMENE, S. M. A. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. **Revista de nutrição**, v.19, n. 6, p. 741-760, 2006.

PAIVA, T. S. S. **Tolerância à salinidade em cultivares de feijão-caupi**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Área de Concentração em Fitotecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2014.

PENHA FILHO, N.; SOUSA, L. L.; DOS SANTOS, T. M.; RODRIGUES, W. A. D.; DA CAMARA, F. T. Estudo sobre a produtividade de feijão-caupi “verde” consorciado com milho em função da colheita parcelada das vagens. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, p. 246-254, 2017.

PEREIRA, E. J.; CARVALHO, L. M. J.; DELLAMORA-ORTIZ, G. M.; CARDOSO, F. S. N.; CARVALHO, J. L. V.; VIANA, D. S.; FREITAS, S. C.; ROCHA, M. M. Effects of cooking methods on the iron and zinc in cowpea (*Vigna unguiculata*) to combat nutritional deficiencies in Brazil. **Food and Nutrition Research**, v. 58, p. 1-7, 2014.

PEREIRA, H. S.; ALMEIDA, V. M.; MELO, L. C.; WENDLAND, A.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; MAGALDI, M. C. S. Influência do ambiente em cultivares de feijoeiro-comum em cerrado com baixa altitude. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 165-172, 2012.

PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; WENDLAND, A.; COSTA, J. G. C.; SOUZA, T. L. P.; MELO, L. C. Genotype by environment interaction for disease resistance and other important agronomic traits supporting the indication of common bean cultivars. **Euphytica**, v. 214, n. 1, p. 12, 2018.

PEREIRA, R. F. **Caracterização bioquímica, nutricional e funcional de genótipos elite de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* L. Walp.]**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

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.

POEL, T. F. B. V. D.; BLONK, J.; ZUILICHEM, D. J. V.; OORT, M. G. V. Thermal inactivation of lectins and trypsin inhibitor activity during steam processing of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) and effects on protein quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 53, n. 2, p. 215-228, 1990.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S.; MELO, L. C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PEREIRA, H. S.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; DEL GIÚDICE, M. P.; VIEIRA, R. F. BRSMG Uai: common bean cultivar with carioca grain type and upright plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 261-264, 2016.

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.

RIBEIRO, N. D.; RODRIGUES, J. A.; PRIGOL, M.; NOGUEIRA, C. W.; STORCK, L.; GRUHN, E. M. Evaluation of special grains bean lines for grain yield, cooking time and mineral concentrations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 1, p. 15-2, 2014.

RIBEIRO, N. M.; SANTOS, W. P. C.; CONCEIÇÃO, D. S.; PAIXÃO, C. B.; NETO, R. J. G. Análise de constituintes químicos do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*). In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 5., 2010, Alagoas. **Anais...** Alagoas: Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, 2010.

RIOS, M. J. B. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; SILVA, M. G. M. S.; BARROS, N. V. A.; PORTO, R. G. C. L. Chemical, granulometric and technological characteristics of whole flours from commercial cultivars of cowpea. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 217-224, 2018.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MENEZES-JÚNIOR, J. A. N. Cultivares. In: DoVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Eds). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 111-142.

SÁNCHEZ-ARTEAGA, H. M.; URÍAS-SILVA, J. E.; ESPINOSA-ANDREWS, H.; GARCÍA-MÁRQUEZ, E. Effect of chemical composition and thermal properties on the cooking quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **CyTA – Journal of Food**, v. 13, p. 385-391, 2015.

SANTOS, C. A. F. **Feijão-caupi BRS Tapaihum**: cultivar de grão de tegumento preto, precoce e porte ereto para o Vale do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido. 2011. 1 Folder.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS/STAT software 9.3**. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2011.

SHIGA, T. M.; CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M. Effect of cooking on non-starch polysaccharides of hard-to-cook beans. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, p. 100-109, 2009.

SILVA, A. C.; ROCHA, M. M.; D'AREDE, L. O.; BARROS, H. S. D.; MORAIS, C. B.; SILVA, C. J.; SANTOS, J. L. Variabilidade genética para o florescimento e caracteres relacionados à arquitetura de plantas de feijão-caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2012, Belém, PA. **Anais...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2012a.

SILVA, A.C.; SANTOS, D.C.; TEIXEIRA-JÚNIOR, D.L.; SILVA, P.B.; SANTOS, R.C.; SIVIERO, A. Cowpea: a strategic legume species for food security and health. In: JIMENEZLOPEZ, J.C.; CLEMENTE, A. (Ed.) **Legume seed nutraceutical Research**. London: Intechopen, 2018. p. 47-65.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; CORRÊA, A. D. Interaction genotype by season and its influence on the identification of beans with high content of zinc and iron. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 336-341, 2012b.

SILVA, D. O. M.; SANTOS, C. A. F.; SEIDO, S. L.; COELHO, W. C. P.; AQUINO, D. A. L. Retention of proteins and minerals after cooking in cowpea genotypes. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 47, n. 3, p. 353-359, 2017.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2002. 235 p.

SILVA, I. C. V. **Potencial tecnológico, nutricional e funcional de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) e sua aplicabilidade na indústria alimentícia**. 2020. 180 f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2020.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S.A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (Ed.). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p. 22-40.

SINGH, B. B. Recent progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.752, p. 69-76, 2007.

SIQUEIRA, B. S.; BASSINELLO, P. Z.; MALGARESI, G.; PEREIRA, W. J.; FERNANDES, K. F. Analyses of technological and biochemical parameters related to the HTC phenomenon in carioca bean genotypes by the use of PCA. **LWT – Food Science and Technology**, v. 65, 939-945, 2016.

SMÝKAL, P.; VERNOUD, V.; BLAIR, M. W.; SOUKUP, A.; THOMPSON R. D. The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1-19, 2014.

SOUSA, F. M. **Risco de recomendação de cultivares de feijão-caupi no Brasil**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

TACO - Tabela brasileira de composição de alimentos. 4. ed. revisada e ampliada. **Campinas**: UNICAMP/NEPA, 2011. 161 p.

TOGNON, A. L. **Quantificação e avaliação da bioacessibilidade in vitro de micro e macroelementos em frutas, hortaliças e cereais**. 2012. 11 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

TSHOVHOTE, N. J.; NESAMVUNI, A. E.; RAPHULU, T.; GOUS, R. M. The chemical composition, energy and amino acid digestibility of cowpeas used in poultry nutrition. **South African Journal of Animal Science**, v. 33, p. 65-69, 2003.

VALLE, J. M. D.; STANLEY D. W.; BOURNE M. C. Water absorption and swelling in dry bean seeds. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 16, n. 2, p. 75-98, 1992.

VASCONCELOS, I. M.; MAIA, F. M. M.; FARIAS, D. F.; CAMPELLO, C. C.; CARVALHO, A. F. U.; MOREIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 1, p. 54-60, 2010.

WAINAINA, I.; WAFULA, E.; SILA, D.; KYOMUGASHO, C.; GRAUWET, T.; LOEY, A. V.; HENDRICKX, M. Thermal treatment of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Factors determining cooking time and its consequences for sensory and nutritional quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, p. 1-29, 2021.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington DC: Consumer and Food Economics Research, 1963. (Agriculture Handbook, 8).

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 – World Health Organization. **The prevalence of anaemia through primary health care: a guide for health administrators and programme managers**. Geneva: Demayer EM e cols. World Health Organization, 1989.

ZAMBIAZI, R. C. **Análise físico-química de alimentos**. Pelotas: Editora Universitária/UFPEL, 2010. 202 p.

ZIA-UL-HAQ, M.; AHMAD, S.; CHIAVARO, E.; MEHJABEEN; AHMED, S. Studies of oil from cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars commonly grown in Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 2, p. 1333-41, 2010.

O presente estudo avaliou a qualidade nutricional e tecnológica de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto antes e pós-cozimento. A metodologia consistiu na determinação da composição centesimal e teores de Fe e Zn antes e pós-cozimento. Também foi avaliada a qualidade de cozimento, retenção de nutrientes pós-cozimento e a seleção simultânea para as principais características (proteínas, Fe, Zn e qualidade de cozimento) pelo Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento. Os resultados demonstraram que os genótipos avaliados podem ser utilizados como genitores em melhoramento genético ou recomendados diretamente como cultivares comerciais, atendendo as necessidades do consumidor e constituindo-se como excelentes opções para o mercado de feijão-caupi de grãos pretos.