



Caracterização nutricional, funcional e digestibilidade proteica dos
grãos crus e cozidos de diferentes classes comerciais de
feijão-caupi. (*Vigna unguiculata* L. Walp.)



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

Ennya Cristina
Pereira dos
Santos Duarte

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) possui considerável valor nutritivo, e é uma importante fonte de ferro, zinco, proteínas, além de fibras alimentares e compostos bioativos, que são importantes para a nutrição e saúde. Objetivou-se avaliar a qualidade nutricional, funcional e digestibilidade proteica de grãos crus e cozidos em diferentes classes comerciais de feijão-caupi. Os resultados deste estudo evidenciaram que as cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro apresentaram grãos com alto valor nutritivo, funcional e de cozimento, além de boa digestibilidade proteica, e ratificaram o importante aporte de nutrientes e compostos bioativos que o feijão-caupi pode possibilitar quando inserido em uma alimentação equilibrada.

Tese de Doutorado

*Caracterização nutricional, funcional e digestibilidade proteica dos grãos crus e cozidos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.)*

2024

Teresina, Piauí. 2024.



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

TESE DE
DOUTORADO

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL, FUNCIONAL E DIGESTIBILIDADE
PROTEICA DOS GRÃOS CRUS E COZIDOS DE DIFERENTES CLASSES
COMERCIAIS DE FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.)**

ENNYA CRISTINA PEREIRA DOS SANTOS DUARTE

TERESINA
2024

ENNYA CRISTINA PEREIRA DOS SANTOS DUARTE

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL, FUNCIONAL E DIGESTIBILIDADE
PROTEICA DOS GRÃOS CRUS E COZIDOS DE DIFERENTES CLASSES
COMERCIAIS DE FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Piauí como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

ORIENTADOR: DR. MAURISRAEL DE MOURA ROCHA

COORIENTADORA: DR^a. REGILDA SARAIVA DOS REIS MOREIRA-ARAÚJO

TERESINA
2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

D812c Duarte, Ennya Cristina Pereira dos Santos.
Caracterização nutricional, funcional e digestibilidade proteica dos
grãos crus e cozidos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi
(*vigna unguiculata* (L.) WALP.) / Ennya Cristina Pereira dos Santos
Duarte -- 2024 .
102 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Piauí. Programa de Pós-
Graduação em Alimentos e Nutrição, 2024.
Orientador: Dr. Maurisrael de Moura Rocha
Coorientadora: Dr^a. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo”

1. Feijão-caupi. 2. Alimentos - características nutritivas. 3.
Nutrição - Feijão-caupi. I. Rocha, Maurisrael de Moura. II. Moreira-
Araújo, Regilda Saraiva dos Reis. III. Título.

CDD 613.2

ENNYA CRISTINA PEREIRA DOS SANTOS DUARTE

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL, FUNCIONAL E DIGESTIBILIDADE
PROTEICA DOS GRÃOS CRUS E COZIDOS DE DIFERENTES CLASSES
COMERCIAIS DE FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.)**

Tese apresentada ao Programa de
Pós- graduação em Alimentos e
Nutrição da Universidade
Federal do Piauí como parte dos
requisitos exigidos para a
obtenção do título de Doutor em
Alimentos e Nutrição.

DATA DA DEFESA: 20/02/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MAURISRAEL DE MOURA ROCHA**
Data: 27/03/2024 16:29:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Maurisrael de Moura Rocha (EMBRAPA/PPGAN)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **NARA VANESSA DOS ANJOS BARROS**
Data: 25/03/2024 15:46:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Nara Vanessa dos Anjos Barros (DN/ UFPI)
1º Examinador

Documento assinado digitalmente
 **IZABEL CRISTINA VERAS SILVA**
Data: 27/03/2024 13:45:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Izabel Cristina Veras Silva (DF/UFPI)
2º Examinador

Documento assinado digitalmente
 **JOSILENE LIMA SERRA**
Data: 25/03/2024 15:34:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Josilene Lima Serra (CG/IFMA)
3º Examinador

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRO DE LIMA**
Data: 03/04/2024 10:52:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Alessandro de Lima (CG/IFPI)
4º Examinador

Às minha Antônias: minha avó/mãe (*in memoriam*)
que sempre foi exemplo para mim e a minha filha,
para qual quero ser o melhor exemplo de mulher.
Dedico!

Agradecimentos

Foi um longo caminho, que se iniciou ainda em 2018 durante a seleção para o doutorado, mas até aqui me trouxe o Senhor e com a Sua Providência Divina fez tudo acontecer. Então, minha gratidão a DEUS é imensurável!

À minha família, pela torcida que se iniciou ainda durante a seleção e pelo efetivo apoio ao longo desses anos. Ao meu esposo, Raphael, que me incentivou a me inscrever e depois a fazer a prova, mesmo quando eu tive dúvidas se aquele era o momento, e do qual tive apoio incondicional em todos os meus projetos acadêmicos/profissionais ao longo dos anos. À minha mãe Eva e a minha sogra, Maria José, pela rede de apoio formada para que eu pudesse conciliar a maternidade com a vida acadêmica e profissional, sem a qual jamais teria conseguido ir em frente.

Às minhas mães Lúcia e Antonia (*in memoriam*), que sempre estiveram presentes, apesar da distância, apoiando da forma que fosse possível, assim como minha irmã, Ellen Cristina e prima/irmã, Mariana Roberta. Enfim, estendo meus agradecimentos a todos da família que seguem não só torcendo para que eu alcance meus objetivos, mas contribuindo seja direta ou indiretamente para que eu tenha êxito.

Um agradecimento especial a minha pequena Antônia, por ser mais uma razão para que eu pudesse seguir em frente, com ânimo e garra apesar das dificuldades. Obrigada por todas as vezes em que você pediu colo, me fez carinho e disse que amava a mamãe. Um abraço ou qualquer gesto seu faz toda a diferença no meu dia! Te amo! Gratidão também pelos meus filhinhos de quatro patas, pelo amor e carinho incondicional, sempre me recebendo com festa ao chegar em casa depois de um de muito trabalho.

Obrigada ao professor Maurisrael de Moura Rocha, como sempre o chamo, pela orientação e os ensinamentos. Também pela compreensão e empatia, perante todos os acontecimentos desde 2020, que direta ou indiretamente tiveram impacto no meu percurso na pós-graduação. À professora Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo, que faz parte da minha vida acadêmica desde a graduação, e que me acompanha até aqui como co-orientadora, muito obrigada por tudo o que pude aprender e pelas perspectivas que tenho, com certeza sua trajetória é inspiração para mim.

A todos os professores do PPGAN que contribuíram para minha formação, e as funcionárias da secretaria do PPGAN, em especial, Ianca Emanuelle da Silva Abreu, meu muito obrigada.

Expresso minha gratidão também por todos os membros da banca examinadora por

disponibilizar seu tempo e colabora com seus conhecimentos. Agradecimentos especial as Dra. Dra. Nara Vanessa dos Anjos Barros e Dra. Izabel Veras pelas contribuições nessa reta final.

Gratidão aos amigos do PPGAN com os quais compartilhei e compartilho meus momentos de alegria, mas também de dúvidas e angústias. Fabrícia Gonçalves, Paulo Victor Lima e Mayara Storel, o que eu teria feito sem vocês?! Não posso deixar de agradecer a Ana Karine Soares, pela disponibilidade em sempre ajudar.

Agradeço a todos os colegas e técnicos de laboratório pela empatia e ajuda durante o período que estive no Laboratório de Bromatologia e Bioquímica de Alimentos da UFPI e no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, especialmente a Suzane Carvalho (Suzy), que sempre esteve disposta a tirar dúvidas e ajudar durante o período que estivemos juntas na Embrapa, e ao Sr. Luís José Duarte Franco, ao qual não tenho nem palavras para agradecer.

Obrigada, a todos os gestores e colegas com os quais eu tive a oportunidade de trabalhar durante meu período de doutoramento, pela compreensão e apoio.

Durante os meus anos de Nutrição UFPI (Graduação, Mestrado e Doutorado), contei com muitos amigos, que fizeram a diferença nessa jornada. Sr. Osvaldo P. de Santana, Dona Máisa de Jesus Oliveira da Silva, Gerciane Silva, Karoline de Melo e Thiago Silas, gratidão por todo esse tempo que estiveram comigo. Além disso, o doutorado me proporcionou uma experiência ímpar, que foi a de ser colega de sala de aula da minha querida orientadora de TCC, professora Martha Teresa Siqueira Marques Melo, pessoa que muito estimo. Sou grata por todos vocês fazerem parte da minha caminhada.

Obrigada à Embrapa Meio-Norte, a Universidade Federal do Piauí-UFPI e a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo suporte estrutural e financeiro.

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) possui considerável valor nutritivo, e é uma importante fonte de ferro, zinco e proteínas, e carboidratos de reservas, além de fibras alimentares e compostos bioativos, que são importantes para a nutrição e saúde. Porém também possui fatores antinutricionais que podem interferir na biodisponibilidade de minerais e na digestibilidade de proteínas. Objetivou-se avaliar a qualidade nutricional, funcional e digestibilidade proteica de grãos crus e cozidos em diferentes classes comerciais de feijão-caupi. A tese é composta por três capítulos, no formato de artigo científico, precedidos por introdução, referencial teórico, objetivos e metodologia, que detalha cada capítulo. O capítulo 1, sob o título “Qualidade nutricional e de cozimento de diferentes classes comerciais de feijão-caupi” apresenta resultados sobre a composição centesimal, valor energético total (VET), ferro (Fe), zinco (Zn) e selênio (Se), ácido fítico, qualidade de cozimento e índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) de 10 genótipos de feijão-caupi de diferentes classes comerciais (BRS Tumucumaque, Pretinho, IT-97K-1042-3, BR2 Bragança, BRS Verdejante, BRS Inhumana, BRS Exuberante, MNC11-1019E-15, BRS Imponente e BRS Olhonegro) e a seleção simultânea com base nos principais atributos dos melhores genótipos, via IQNC. O Capítulo 2, sob o título de “Polifenóis, fibras alimentares e atividade antioxidante dos grãos cru e cozido de cultivares de feijão-caupi”, apresenta resultados de caracterização de três cultivares de feijão-caupi de alta qualidade nutricional e de cozimento (BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro), selecionadas via o IQNC, quanto aos teores de fenólicos totais, fibras alimentares totais e atividade antioxidante, de suma importância, visto os benefícios desses compostos para a nutrição e saúde humana. O Capítulo 3, sob o título “Digestibilidade proteica dos grãos cru e cozido de cultivares de feijão-caupi” apresenta resultados sobre a digestibilidade proteica de três cultivares de feijão-caupi de alta qualidade nutricional, funcional e de cozimento (BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro), selecionadas a partir do IQNC. Os resultados apresentados nos capítulos 1, 2 e 3 demonstraram que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos para todas as características estudadas, com exceção do teor de carboidratos nos grãos crus. O teor de proteínas aumentou significativamente após o cozimento para o IT97KD-1042 e BRS Olhonegro. O cozimento reduziu o Fe e aumentou o Zn, não havendo diferença significativa para Se, e reduziu o ácido fítico de 10,43 a 30,64 g 100g⁻¹. A qualidade de cozimento foi superior a 52% para todos os genótipos. O teor de compostos fenólicos variou de 137,9 a 253,85 mg GAE 100 g⁻¹ e 65,8 a 65,8 mg GAE 100 g⁻¹; a atividade antioxidante de 285,81 a 321,62 μ mol TEAC 100 g⁻¹ e de 25,56 a 87,54 μ mol TEAC 100 g⁻¹; e o teor de fibras alimentares totais de 12,02 a 26,57 g 100g⁻¹ e de 21,60 a 27,31 g 100g⁻¹, para os grãos cru e cozido, respectivamente. As cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro sobressaíram-se em qualidade nutricional, funcional e de cozimento. Sobre a digestibilidade proteica, esta variou de 79,38 a 82,48% no grão cru e de 77,38 a 83,48 % no grão cozido. Os resultados deste estudo evidenciaram que as cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro apresentaram grãos com alto valor nutritivo, funcional e de cozimento, além de boa digestibilidade proteica, e ratificaram o importante aporte de nutrientes e compostos bioativos que o feijão-caupi pode possibilitar quando inserido em uma alimentação equilibrada.

Palavras-chaves: Feijão-de-corda; composição centesimal; minerais; polifenóis; fatores antinutricionais; digestibilidade proteica.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) has considerable nutritional value, and is an important source of iron, zinc and proteins, and reserve carbohydrates, in addition to dietary fiber and bioactive compounds, which are important for nutrition and health. However, they also contain anti-nutritional factors that can interfere with the bioavailability of minerals and protein digestibility. The objective was to evaluate the nutritional, functional quality and protein digestibility of raw and cooked grains in different commercial classes of cowpea.. The thesis is composed of three chapters, in the format of a scientific article, preceded by an introduction, theoretical framework, objectives and methodology, which details each chapter. Chapter 1, under the title “Nutritional and cooking quality of different commercial classes of cowpea” presents results on proximate composition data, total energy value (TEV), iron (Fe), zinc (Zn), and selenium (Se), phytic acid, cooking quality and nutritional and cooking quality index (IQNC) of 10 cowpea genotypes from different commercial classes (BRS Tumucumaque, Pretinho, IT-97K-1042-3, BR2 Bragança, BRS Verdejante, BRS Inhumá, BRS Exuberante, MNC11-1019E-15, BRS Imponente, and BRS Olhonegro) and simultaneous selection based on the main attributes of the best genotypes, via IQNC. Chapter 2, under the title “Polyphenols, dietary fiber and antioxidant activity of raw and cooked grains of cowpea cultivars”, presents characterization results of three cowpea cultivars of high nutritional and cooking quality (BRS Tumucumaque, BRS Imponente and BRS Olhonegro), selected via the IQNC, regarding the contents of total phenolics, total dietary fiber and antioxidant activity, which are of paramount importance, given the benefits of these compounds for human nutrition and health. Chapter 3, under the title “Protein digestibility of raw and cooked grains of cowpea cultivars” presents results on the protein digestibility of three cowpea cultivars of high nutritional, functional and cooking quality (BRS Tumucumaque, BRS Imponente, and BRS Olhonegro)”, which were selected from the IQNC. The results presented in chapters 1, 2 and 3 demonstrated that there was a significant difference ($p < 0.05$) between the genotypes for all characteristics studied, with the exception of the carbohydrate content in raw grains. The protein content increased significantly after cooking for IT97KD-1042 and BRS Olhonegro. Cooking reduced Fe and increased Zn, with no significant difference for Se, and reduced phytic acid from 10.43 to 30.64 g 100g⁻¹; antioxidant activity from 285.81 to 321.62 $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$ and from 25.56 to 87.54 $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$; and diet fiber content from 12.02 to 26.57 g 100g⁻¹ and from 21.60 to 27.31 g 100g⁻¹, for raw and cooked, respectively. The cultivars BRS Tumucumaque, BRS Imponente, and BRS Olhonegro highlighted in nutritional, functional, and cooking quality. Regarding protein digestibility, it ranged from 79.38 to 82.48% in raw grain and from 77.38 to 83.48% in cooked grain. The results of this study showed that the cowpea cultivars BRS Tumucumaque, BRS Imponente and BRS Olhonegro presented grains with high nutritional, functional and cooking value, in addition to good protein digestibility, and ratified the important contribution of nutrients and bioactive compounds that the Cowpea can make it possible when included in a balanced diet.

Keywords: rope bean; proximate composition; minerals; polyphenols; antinutritional factors; protein digestibility.

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

1 Feijão-caupi das classes comerciais Preto: Pretinho (1) e Branco: BRS Imponente (2), BRS Olhonegro (3), BRS Tumucumaque (4) e Cores (5): BRS Inhuma (6), IT-97K-1042- (7) e BRS Verdejante (8)..... 16

2 Grupo funcional Fenol (1); Estrutura básica de um composto fenólico (2). Fonte: Google Imagens, 2024.

METODOLOGIA

3 Genótipos de feijão-caupi avaliados no presente estudo..... 26

4 Hidratação dos grãos de feijão-caupi antes do cozimento..... 31

5 Panela de pressão elétrica utilizada para o cozimento (1) e grãos de feijão-caupi cozidos, imediatamente após serem retirados da panela (2)..... 31

6 Avaliação da porcentagem de grão cozidos utilizando o Cozedor de Mattson. Momento de disposição dos grãos de feijão-caupi (1), momento no qual os pinos perfuram os grãos cozidos (2). Fonte: Dados da pesquisa, 2024..... 32

7 Etapa de digestão enzimática em banho-maria (1) e etapa de destilação de nitrogênio (2)..... 37

CAPITULO 1

8 Genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) avaliados no presente estudo..... 43

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

1 Composição centesimal e valor energético total (VET) dos grãos crus cozidos de 10 genótipos de feijão-caupi. Teresina, Piauí, Brasil 2024	46
2 Teores dos minerais ferro (Fe), zinco (Zn), e selênio (Se) nos grãos crus e cozidos de 10 genótipos de feijão-caupi. Teresina, Piauí, Brasil, 2024	51
3 Teor e percentual de redução do ácido fítico após cocção de 10 genótipos pertencentes a diferentes classes/subclasses comerciais de feijão-caupi. Teresina, Piauí, 2024	54
4 Porcentagem de grãos cozidos (PGC) e Índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) d e 10 genótipos de feijão-caupi. Teresina, Piauí, Brasil, 2024	55

CAPÍTULO 2

5 Teor de fibras alimentares totais dos grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. Teresina, Piauí, Brasil, 2024	63
6 Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante observadas em grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. Teresina, Piauí, Brasil, 2024.....	67

CAPÍTULO 3

7 Digestibilidade de proteínas (<i>in vitro</i>) nos grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. Teresina, Piauí, Brasil, 2024	80
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 FEIJÃO-CAUPI (<i>VIGNA UNGUICULATA</i> (L.) WALP.).....	14
2.1.1 Composição química do grão de feijão-caupi.....	16
2.2 POLIFENÓIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM LEGUMINOSAS.....	17
2.3 DIGESTIBILIDADE DE PROTEÍNAS EM FEIJÃO.....	19
2.4 FATORES ANTINUTRICIONAIS EM LEGUMINOSAS.....	21
2.4.1 Tipos de processamentos que influenciam os teores de ácido fítico e taninos em feijão-caupi: uma revisão sistemática	23
3 OBJETIVOS.....	24
3.1 GERAL.....	24
3.2 ESPECÍFICOS.....	24
4 METODOLOGIA.....	25
4.1 Capítulo 1.....	26
4.1.1 Umidade.....	26
4.1.2 Cinzas.....	27
4.1.3 Proteínas.....	27
4.1.4 Lipídeos.....	28
4.1.6 Carboidratos.....	28
4.1.7 VET.....	28
4.1.8 Ácido fítico.....	29
4.1.9 Minerais (Fe, Zn e Se).....	29
4.1.10 Qualidade de Cozimento.....	29
4.1.11 Índice de qualidade nutricional e de cozimento.....	31
4.1.12 Análise estatística.....	32
4.2 Capítulo 2.....	32
4.2.1 Compostos fenólicos.....	32
4.2.1.1 Obtenção dos extratos para análise de compostos fenólicos e atividade antioxidante.....	32
4.2.1.2 Preparo da curva padrão com ácido gálico.....	33
4.2.1.3 Determinação de fenólicos totais	33

4.2.2 Atividade antioxidante.....	33
4.2.3 Fibras alimentares totais.....	34
4.2.3.1 Amido.....	34
4.2.4 Análises estatísticas.....	35
4.3 Capítulo 3.....	35
4.3.1 Digestibilidade de proteínas.....	35
4.3.2 Análises estatísticas.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
Capítulo 1: Qualidade nutricional e de cozimento dos grãos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi	38
Capítulo 2: Fibras alimentares, polifenóis e atividade antioxidante dos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi	61
Capítulo 3: Digestibilidade de proteínas dos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão- caupi	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS.....	88
Anexo.....	95

1 INTRODUÇÃO

Considerado como fundamental na alimentação humana, o feijão fornece nutrientes essenciais ao ser humano como proteínas, carboidratos, fibras alimentares e minerais, destacando-se o ferro. Além disso, representa a principal fonte de proteínas na dieta das populações de média e baixa renda em vários países e constitui um produto de destacada importância nutricional, econômica e social (Koblitz, 2011).

O feijão-caupi é uma leguminosa cultivada em muitos países, em sua maioria nas regiões tropicais, especialmente na África Ocidental (Coulibaly; Lowenberg-DeBoer 2002; Abaidoo et al., 2017). É uma cultura alimentar cultivada pelos brasileiros desde o início da colonização. O Brasil, historicamente, é o terceiro maior produtor mundial, precedido pela Nigéria e por Níger, e o maior produtor e consumidor da América Latina, e a região Nordeste é a maior produtora do País (Freire Filho; Ribeiro, 2023).

O feijão-caupi é cultivado e comercializado no Brasil predominantemente nas regiões Norte e Nordeste, e recebe diferentes nomes, como feijão-de-corda, macassar, feijão fradinho, feijão miúdo, dentre outras nomenclaturas que variam dependendo da região (Rocha *et al.*, 2006).

O cultivo do feijão-caupi no Brasil é realizado especialmente para a produção de grãos secos ou verdes, para o consumo humano, *in natura*, na forma de conserva ou desidratado, representando, assim, um alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro (Rocha, Silva; Menezes Junior, 2017).

Os grãos de feijão-caupi constituem uma importante fonte de ferro, zinco e proteínas em muitos países do mundo, incluindo o continente africano e a América Latina (FAO, 2013), possuindo como matéria de reserva também carboidratos, especialmente o amido (Brito, 2008). Contêm diferentes compostos bioativos, como carotenoides, vitaminas, antocianinas, compostos fenólicos e taninos (Choung *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2004).

Por muito tempo, os compostos fenólicos foram considerados como fatores antinutricionais, no entanto, nos últimos anos, o conhecimento das propriedades antioxidantes dos fenólicos despertou um novo interesse em relação aos seus possíveis efeitos benéficos à saúde (Huber; Rodriguez-Amaya, 2008). Esses compostos tendem a apresentar atividade antioxidante e, segundo Moreira-Araújo *et al.* (2018), os estudos de antioxidantes em alimentos tem sido atualmente difundidos e tornou-se importante a determinação e identificação desses fitoquímicos.

Elhardallou *et al.* (2015) e Sreerama *et al.* (2012), destacaram que o uso do grão do feijão-caupi como alimento rico em proteínas e qualidade e sua utilização na elaboração de alimentos funcionais, tem sido limitado devido à baixa digestibilidade dos grãos, deficiência de aminoácidos sulfurados, além da presença de fatores antinutricionais.

Assim, é necessária a caracterização de linhagens de feijão-caupi, que podem ser as próximas cultivares a serem cultivadas pelos agricultores, identificando quais delas possuem altos teores de nutrientes e baixo teor de ácido fítico e, assim, serem uma opção para substituição de fontes proteicas e minerais de maior custo (De-Paula *et al.*, 2017).

Tendo em vista que o feijão-caupi é uma leguminosa de suma importância para a nutrição e saúde humana, reitera-se o fato de que é essencial o constante estudo de todas as características possíveis dessa leguminosa que possam contribuir para a seleção e melhoramento de novas cultivares com o intuito de fornecer mais nutrientes e/ou compostos bioativos, e que proporcionem melhor aproveitamento deste pelos consumidores. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade nutricional, funcional e digestibilidade proteica em grãos crus e cozidos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* L. WALP.)

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é cultivado principalmente nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e em pequenas áreas da região Norte do Brasil. Nessas regiões, a sua produção advém principalmente dos agricultores familiares que ainda utilizam práticas tradicionais. Porém, na região Centro-Oeste, o seu cultivo tem sido realizado em larga escala por médios e grandes empresários, que utilizam alta tecnologia no cultivo, o que contribui para altos níveis de produtividade de grãos (Freire Filho, 2011; Rocha; Silva; Menezes-Júnior, 2017).

Segundo Paiva (2014), o cultivo do feijão-caupi ocorre no final do período chuvoso, em função da baixa infraestrutura dos pequenos produtores para realizar o cultivo irrigado nos meses mais secos. Esse cultivo pode ocorrer num período de chuva para o crescimento e desenvolvimento das plantas e períodos mais secos ao fim do ciclo para favorecer a colheita e diminuir a incidência de doenças nas vagens.

O feijão-caupi possui grande importância agrônômica e econômica por ser muito consumido no Brasil, servindo de base para a preparação de diversos pratos da culinária brasileira, em especial, da cultura nordestina (Medeiros, 2004). Vale ressaltar que, além do baixo custo de produção, essa leguminosa destaca-se também pelo alto valor nutritivo, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar, especialmente na zona rural (Embrapa Meio-Norte, 2003).

Segundo Freire Filho (2011), o feijão-caupi é conhecido popularmente por diversos nomes de acordo com as diferentes regiões do país, tais como: feijão-macassa e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul; e ainda feijão-fradinho nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro.

Devido a sua plasticidade, adaptação a uma ampla faixa de ambientes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, seu alto valor nutritivo, além de ser um alimento básico em vários países, e considerando ainda as perspectivas de mudanças climáticas e a necessidade de alimento em todo o mundo, pode-se afirmar que o feijão-caupi é uma cultura de grande potencial atual e estratégico (Xiong *et al.*, 2016).

De acordo com Timko e Shing (2008), os variados tipos de feijão-caupi cultivados possuem sementes com peso entre 8 g e 32 g, e formatos que variam do arredondado ao

reniforme. As vagens podem conter entre oito (08) e dezoito (18) sementes, e o formato pode ser cilíndrico e curvado, ou reto. Quanto ao tegumento da semente, pode haver variação na textura (liso ou rugoso), na coloração (branco, creme, verde, amarelo-claro, vermelho, marrom e preto), e na uniformidade, além disso, pode haver grãos brancos com uma área circular de formato irregular, preta ou vermelha, a qual circunda o hilo, dando à semente a aparência de um olho.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008, e por meio do Ato Nº 4, de 19 de agosto de 2010, instituiu o novo Regulamento Técnico do Feijão (Brasil, 2008) e os descritores de cultivares de feijão-caupi (Brasil, 2010), respectivamente.

A Instrução Normativa MAPA Nº 12, de 28-03-2008, que define o padrão de classificação dos feijões no Brasil, traz o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) no Grupo II, dividido em quatro classes comerciais: branco (mínimo de 90% de grãos brancos), preto (mínimo de 90% de grãos pretos), cores (mínimo de 90% de grãos da classe cores, admitindo-se até 10% de outras cultivares da classe cores) e misturado (quando não atende às especificações de nenhuma das classes anteriores) (Knabben; Costa, 2012) (Figura 1). É importante destacar que a classificação não se limita a classes comerciais, sendo que cada classe possui várias subclasses.



Figura 1. Feijão-caupi das classes comerciais Preto: Pretinho (1), Branco: BRS Imponente (2), BRS Olhonegro (3), BRS Tumucumaque (4) e Cores: BRS Inhuma (5), IT-97K-1042-3 (6) e BRS Verdejante (7) e Misturado (8*). Fonte: Dados da pesquisa, 2023. Foto*: Francisco Rodrigues Freire Filho.

Essa necessidade de caracterização e classificação dos grãos de feijão-caupi quanto à cor, forma, tamanho do grão e quanto ao tipo de anel do hilo e halo vem sendo percebida há anos, não somente para fins de descrição de cultivares, mas, principalmente, para fins

comerciais (Freire Filho, 2011). Também é de extrema importância que se aperfeiçoe e aprofunde os conhecimentos sobre essa leguminosa também no que diz respeito ao seu teor nutritivo, fatores antinutricionais e as substâncias bioativas presentes em sua composição.

2.1.1 Composição química do grão de feijão-caupi

O feijão-caupi possui considerável valor nutritivo, e é cultivado especialmente para a produção de grãos (secos ou verdes), para o consumo humano, *in natura*, na forma de conserva ou desidratado. Representa assim, um alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro (Rocha, Silva; Menezes Junior, 2017).

Seus grãos possuem como matéria de reserva proteínas e carboidratos, especialmente o amido (Brito, 2008). Estes também contêm diferentes compostos bioativos, como carotenoides, vitaminas, antocianinas, taninos e compostos fenólicos (Choung *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2004).

A composição química do grão de feijão-caupi é em média 23% a 25% de proteínas, contendo todos os aminoácidos essenciais, e cerca de 60% de carboidratos (62% em média), apresentando grande quantidade de fibras alimentares, teor de lipídios de 2% em média, além de vitaminas e minerais (Rocha; Silva; Menezes-Júnior, 2017). De acordo com Lima *et al.* (2014), os grãos de feijão-caupi são ricos, principalmente em potássio (25-30% do teor total de minerais), fósforo (cerca de 0,4%), ferro (cerca de 0,007%), cálcio, zinco e magnésio.

Os feijões, de forma geral, são uma excelente fonte de fibras alimentares, que ajudam na redução do colesterol total e contribuem com a redução do risco de doenças cardiovasculares. Além disso, as fibras alimentares podem favorecer um melhor funcionamento do trato gastrointestinal (Cuppari, 2005; Raupp *et al.*, 1999).

Porém, a presença de fatores antinutricionais tem sido identificada como um dos principais fatores limitantes ao consumo do grão cru de feijão-caupi como alimento humano, já que comprometem a qualidade nutricional da proteína (Brito, 2008), pois podem interferir na digestibilidade das proteínas em leguminosas. Outro ponto considerado limitante para o seu consumo, está relacionado ao tempo de cozimento, e segundo Rocha, Damasceno-Silva e Menezes-Júnior (2017) e Addy *et al.* (2020), o cozimento rápido tem o potencial de fornecer um alimento altamente nutritivo em menor tempo de preparo e menor gasto energético.

Por muito tempo os compostos fenólicos foram considerados como fatores antinutricionais, mas o conhecimento das propriedades antioxidantes dos fenólicos despertou

um novo interesse em relação aos possíveis efeitos benéficos à saúde (Huber; Rodriguez-Amaya, 2008). Os fenólicos são os metabólitos secundários mais encontrados nas plantas, e essas substâncias fenólicas, ou polifenóis, contém diversas variedades de compostos. De forma que existem cerca de cinco mil fenóis, destacando-se os flavonóides, ácidos fenólicos, fenóis simples, cumarinas, taninos, ligninas e tocoferóis (Shahidi; Naczki, 1995).

Nos feijões, os compostos polifenólicos estão concentrados primeiramente no tegumento da semente, com quantidades baixas ou insignificantes e, em segundo lugar, nos cotilédones (Sathe; Salunkhe, 1984). São diversos os compostos fenólicos presentes no feijão-caupi. Em um estudo realizado por Moreira-Araújo *et al.* (2018) com a cultivar BRS Xiquexique, os autores constataram a presença de compostos fenólicos como catequina ($2,07 \pm 0,33 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), epicatequina ($0,48 \pm 0,13 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), ácido gálico ($67,19 \pm 6,20 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), ácido ferúlico ($32,07 \pm 0,75 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e ácido clorogênico ($3,08 \pm 0,49 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), comprovando também a atividade antioxidante dessa leguminosa.

Butterfield *et al.* (2002), afirmaram que os compostos fenólicos no feijão-caupi e a capacidade antioxidante podem, portanto, assumir papel relevante na diminuição do risco de doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, mal de Alzheimer e Parkinson.

Além dos compostos fenólicos e dos fatores antinutricionais, a digestibilidade proteica também influencia no aproveitamento nutricional das leguminosas por quem as consomem, sendo esta característica temática de interesse para estudos em feijões.

2.2 POLIFENÓIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM LEGUMINOSAS

Os compostos fenólicos (Figura 2) de vegetais são classificados como fenóis simples ou polifenóis com base no número de unidades de fenol na molécula (Soto-Vaca *et al.*, 2012). Podem também serem divididos em flavonoides e os não flavonoides.

Os flavonoides são compostos que apresentam a estrutura química C6-C3-C6 e os não flavonóides são classificados como os derivados das estruturas químicas C6-C1 específicas dos ácidos hidroxibenzoico, gálico e elágico; os derivados das estruturas químicas C6-C3 específicas dos ácidos cafeico e p-cumárico hidroxicinâmicos e os derivados das estruturas químicas C6-C2-C6 específicas do trans resveratrol, cis-resveratrol e trans-resveratrol-glucosídeo (Melo; Guerra, 2002; Burns *et al.*, 2001).

De acordo com Rong (2010), os polifenóis são um grupo de compostos naturais com características estruturais fenólicas. "Polifenóis" é um termo coletivo para vários subgrupos de

compostos fenólicos, porém, o uso desse termo tem sido um pouco confuso e suas estruturas químicas implícitas são muitas vezes vagas, mesmo para os pesquisadores.

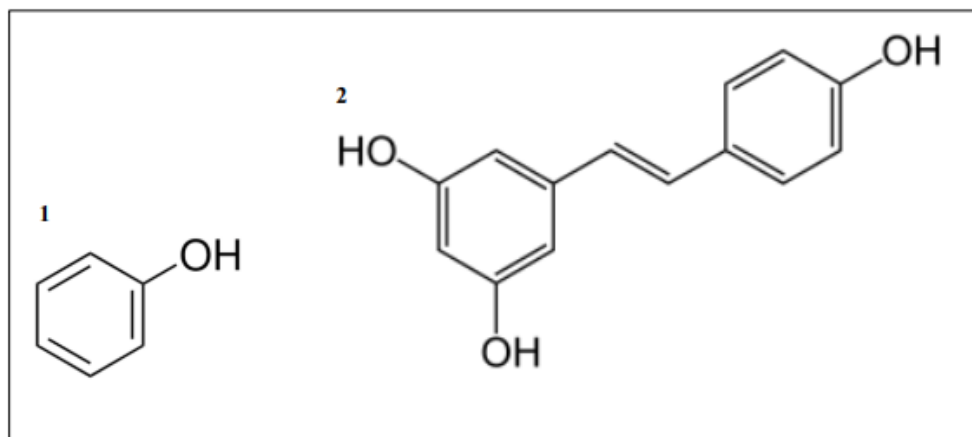


Figura 02. Grupo funcional Fenol (1); Estrutura básica de um composto fenólico (2). Fonte: Google Imagens, 2024.

Os polifenóis são definidos quimicamente como substâncias que possuem anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais (Lee *et al.*, 2005). Embora sejam quimicamente caracterizados como compostos com características estruturais fenólicas, esse grupo de produtos é muito diverso e possui vários subgrupos de compostos fenólicos. Além disso, a maioria dos polifenóis nas plantas existe como glicosídeos com diferentes unidades de açúcar e açúcares acilados em diferentes posições do polifenolesqueletos (Rong, 2010).

Segundo Babbar *et al.* (2014), os fenólicos são os metabólitos secundários mais encontrados nas plantas, e essas substâncias fenólicas, ou polifenóis, contém diversas variedades de compostos. De forma que existem cerca de cinco mil fenóis, destacando-se os flavonóides, ácidos fenólicos, fenóis simples, cumarinas, taninos, ligninas e tocoferóis (Shahidi; Naczki, 1995).

Em alguns casos, os polifenóis são considerados antinutrientes devido à propriedade que apresentam em formar complexos principalmente com proteínas. Esses compostos podem interferir na digestibilidade e absorção dos nutrientes ou serem tóxicos, dependendo da quantidade em que são consumidos (Naves *et al.*, 2010).

Caracterizam-se como fontes ricas de polifenóis os vegetais como frutas, grãos integrais e outros tipos de alimentos e bebidas como chá, chocolate e vinho (Rong, 2010). Outra fonte são os feijões, que além da importância proteica na dieta, contém compostos fenólicos, que possuem a capacidade antioxidante e, portanto, podem assumir papel relevante na diminuição

do risco de doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, Mal de Alzheimer e Parkinson (Butterfield *et al.*, 2002).

Moreira-Araújo *et al.* (2018) identificaram vários compostos fenólicos nos grãos de feijão-caupi, dentre eles, o ácido gálico (45,4 e 93,4 mg 100g⁻¹), catequina (5,57 e 6,48 mg100g⁻¹), epicatequina (8,67 e 2,95 mg 100g⁻¹), ácido ferúlico (11,1 e 13,8 mg 100g⁻¹) e ácido clorogênico (2,39 e 0,59 mg 100g⁻¹) nos grãos da cultivar BRS Tumucumaque e da linhagem Pingo de Ouro 1-2, respectivamente.

Os compostos fenólicos têm a capacidade de doar um átomo de hidrogênio ou um elétron ao radical livre para formar intermediários estáveis, reduzindo a oxidação, sendo que estão presentes em uma grande variabilidade de leguminosas e depende da origem das sementes, da região de cultivo das mesmas, dentre outros (Amarowicz; Pegg, 2008).

De acordo com Zeb (2020), antioxidantes são substâncias orgânicas e inorgânicas que estão presentes em pequenas quantidades nos alimentos e podem inibir, interromper ou controlar a oxidação de um substrato, consequentemente evitando a deterioração e prolongando a vida útil dos alimentos.

Os compostos com atividade antioxidante presentes no feijão, além de atuarem na captura dos radicais livres, podem estar envolvidos em outros mecanismos fisiológicos que estimulam a atividade das enzimas antioxidantes ou como sinalizadores celulares que ativam e/ou inibem a expressão de algumas enzimas relacionadas com o processo cancerígeno (Shahidi; Ho, 2007). Os polifenóis de leguminosas e cereais são predominantemente taninos de origem flavonoides (Deshpande; Cheryan, 1985; Silva; Silva, 1999).

Sabe-se que a capacidade antioxidante das leguminosas depende do teor de fenólicos totais neste material vegetal e de outros compostos que desempenham atividades antioxidantes. Ademais, peptídeos e proteínas podem possuir atividades antioxidantes, haja vista que certos aminoácidos possuem a capacidade de atuarem como quelantes de metais e doadores de hidrogênio (Torres-Fuentes *et al.*, 2015).

2.3 DIGESTIBILIDADE DE PROTEÍNAS EM FEIJÃO

Proteínas são importantes para a dieta humana, exercendo um papel crucial como elementos estruturais e funcionais de sistemas vivos. São moléculas essenciais aos animais, e precisam estar presentes em quantidades adequadas na alimentação (Assis *et al.*, 2017). De acordo com Naia (2015), as leguminosas são uma boa fonte de proteína, embora tenham limitações relacionadas com o equilíbrio aminoacídico, uma vez que têm um déficit em

aminoácidos sulfurados, metionina e cistina, também são boa fonte de vitaminas, em especial do Complexo B e minerais, ricas em fibras alimentares, possui baixo teor de gorduras e um teor considerável de carboidratos complexos.

A composição de aminoácidos de uma proteína é comparada com a de um padrão de aminoácidos referência obtendo-se o escore químico de aminoácidos, que mede o conteúdo de aminoácidos presentes em uma fonte de proteína e compara os valores com uma proteína, esta que representa as necessidades de aminoácidos essenciais do ser humano (Pires *et al.*, 2006). Porém, mesmo que o perfil de aminoácidos seja um primeiro parâmetro observado quando se avalia a qualidade nutricional de uma proteína, sua digestibilidade pode ser de maior importância, já que garante a liberação destes aminoácidos para absorção através dos enterócitos (Oste, 1991).

Avaliar a qualidade proteica dos alimentos é um procedimento relevante, uma vez que o efeito benéfico da proteína sobre o metabolismo depende de alguns aspectos como sua composição, digestibilidade, biodisponibilidade de aminoácidos essenciais, presença ou ausência de toxicidade e de fatores antinutricionais (Monteiro *et al.*, 2004).

A digestibilidade proteica é um parâmetro nutricional que avalia a utilização e o aproveitamento das proteínas pelo sistema digestório podendo ser influenciada por vários fatores, tais como tratamento térmico com calor, presença de inibidores de proteínas e compostos fenólicos (Mesquita; Correa; Abreu, 2007; Toledo; Canniatti-Brazaca, 2008).

Mendes *et al.* (2007), relataram que a digestibilidade pode ser definida como um processo que engloba a hidrólise de proteínas pelas enzimas digestivas até aminoácidos e posterior absorção dos mesmos pelo organismo, sendo expressa em porcentagem.

Todas as técnicas de medidas de digestibilidade *in vitro* se baseiam em digerir a amostra com enzimas proteolíticas em condições padronizadas. A diferença básica entre os métodos são a quantidade e natureza das enzimas, a combinação de enzimas utilizadas e a medida final, que se realiza para quantificar a digestibilidade (Hernández; Hernandez; Martinez, 1996).

Em relação a digestibilidade de leguminosas, geralmente os grãos crus apresentam maiores teores de compostos antinutricionais em relação aos mesmos grãos cozidos. Assim, uma desnaturação das proteínas tende a melhorar a digestibilidade, por melhorar a flexibilidade das proteínas e facilitar o acesso das enzimas proteolíticas. Além disso, a maceração de grãos seguidos de cocção pode aumentar a digestibilidade em 7 a 12%. Porém, o tratamento térmico em excesso pode diminuir a digestibilidade da proteína pela formação de ligações cruzadas (Martín-Cabrejas *et al.*, 2009).

Além disso, leguminosas como o feijão tem como característica ser uma boa fonte de polifenóis. Estes compostos livres, segundo Delfino e Canniatti-Brazaca (2008), inibem várias enzimas digestivas em sistemas *in vitro* e estão envolvidos nas da linha com carboidratos da parede celular e essa associação reduz a digestibilidade.

Os estudos sobre digestibilidade proteica em feijão evidenciaram uma variação de 30 a 84,95% de digestibilidade *in vitro* (El-Jasser, 2011; Carvalho *et al.*, 2012; Jakkanwar *et al.*, 2018; Teka *et al.*, 2020). No entanto, a digestibilidade proteica verdadeira também tem sido avaliada, como no estudo de Frota *et al.* (2017), que avaliaram a cultivar de feijão-caupi BRS Milênio e observaram uma digestibilidade proteica verdadeira de 86,70%. Estudos diferenciando a digestibilidade proteica do grão de feijão-caupi cru e grão cozido são escassos (Rivas-Veja *et al.*, 2006; Khrisanapant *et al.*, 2021).

2.4 FATORES ANTINUTRICIONAIS EM LEGUMINOSAS

O termo “fator antinutricional” é usado para descrever compostos ou classes de compostos presentes em alimentos de origem vegetal, que quando consumidos, diminuem a biodisponibilidade de nutrientes, comprometendo assim o valor nutritivo dos alimentos (Santos, 2006; Campos *et al.*, 2011).

Segundo Souza *et al.* (2019) “fatores antinutricionais” são apenas componentes naturais responsáveis por exercerem funções fisiológicas nos vegetais, isso não necessariamente significa que eles não poderiam ter efeitos deletérios em humanos; todavia, com as evidências atualmente disponíveis, não é possível afirmar que, nas quantidades normalmente ingeridas, seu consumo seria capaz de causar problemas. Considerando-se a possibilidade de que eles tragam mais benefícios do que prejuízos, há muito tempo sugere-se que o termo “antinutricional” seja revisto.

Os fatores antinutricionais podem ser divididos em quatro grandes grupos: 1) fatores afetando a utilização e digestão de proteínas; 2) fatores afetando a utilização de minerais; 3) antivitaminas; e 4) substâncias diversas (Francis *et al.*, 2001).

Nota-se que os fatores antinutricionais, na verdade, não são tão “antinutricionais” assim. Lecitinas e inibidores de protease podem causar efeitos gastrointestinais adversos e atrapalhar a digestão de proteínas, respectivamente, porém podem ser inativados por métodos de cocção convencionais, e os fitatos, apesar de praticamente não ser afetado pelo calor, não se configura como um problema real na absorção e aproveitamento de nutrientes, desde que a alimentação

seja variada, balanceada e rica em alimentos *in natura* ou minimamente processados (Souza *et al.*, 2019).

Embora estudos defendam que o consumo de pequenas quantidades de alguns desses antinutrientes possam trazer benefícios ao organismo humano, as doses adequadas para promover tais benefícios ainda não foram estabelecidas. Portanto, é muito importante investigar e selecionar processamentos simples e eficazes na redução dos teores dos antinutrientes presentes nos alimentos (Naves *et al.*, 2010).

A síntese e acúmulo dos fatores antinutricionais ocorrem, nas leguminosas, durante a maturação da semente, para o processo germinativo ou como mecanismo de defesa da planta. E sua concentração difere de acordo com a época da colheita, etapa de desenvolvimento da planta, tipo de solo e depende da sua adubação (Fuentes, 2013).

De acordo com Silva e Silva (2000), as leguminosas são fontes importantes de energia e proteínas para a dieta em algumas regiões do mundo, portanto a toxicidade de compostos como os inibidores de proteases e lectinas são de considerável interesse, principalmente onde as leguminosas fazem parte do hábito alimentar, uma vez que o valor nutritivo destes alimentos pode ser limitado pela presença de fatores antinutricionais.

De acordo com Benevides *et al.* (2011), o feijão, assim como outras leguminosas, apresenta alguns atributos indesejáveis como os fatores antinutricionais. Nos grãos das leguminosas verifica-se a ocorrência natural de fatores antinutricionais do tipo inibidores de enzimas proteolíticas, como por exemplo, a tripsina. A ação destes inibidores no trato gastrointestinal leva à redução da disponibilidade dos aminoácidos (Ojimelukwe, Onuoha; Obanu, 1995).

Considerando-se a toxicidade desses fatores antinutricionais, como os inibidores de proteases e lectinas, destaca-se que a maior parte destas substâncias parece ser inativada ou inibida quando são utilizados tratamentos térmicos adequados (Silva; Silva, 2000). Além dos inibidores de tripsinas, segundo Fernandes *et al.* (2012) as leguminosas também possuem oligossacarídeos, como a rafinose e estaquiose, ácido fítico e taninos (especialmente nos feijões), e outros polifenóis.

Nas leguminosas, predominantemente, os polifenóis são taninos de origem flavonoide (Deshpande; Cheryan, 1985). Esses taninos podem ser classificados como hidrolisáveis e não hidrolisáveis (Singleton; Kratzer, 1973) e seu efeito negativo tem a ver com sua interferência na digestão de proteínas, devido se ligarem a proteína da dieta em uma forma não digerível (Bressani *et al.* 1982).

Segundo Sandberg *et al.* (2002), o fitato ou ácido fítico, é considerado como fator antinutricional devido formar complexos com minerais, como cálcio, zinco, ferro e magnésio, interferindo na biodisponibilidade desses minerais.

O ácido fítico contém cerca de 70% do teor de fosfato, nos grãos de leguminosas, sendo estruturalmente integrado com proteínas e/ou minerais na forma de complexos (Zhou; Erdman, 1995). A sua quantidade, nas leguminosas, varia a partir de 0,40% para 2,06% (Reddy *et al.*, 1982).

Conforme afirmação de Chaparro *et al.* (2009), não existe um intervalo ou valor adequado para o teor de ácido fítico, de forma que sua importância está direcionada para o fato de que quanto menor a presença nas sementes, maior a biodisponibilidade de minerais e proteínas para absorção durante o consumo dos alimentos que possuam esse composto.

Além disso, o processamento dos alimentos pode contribuir e influenciar no teor dos diversos fatores antinutricionais presentes nas leguminosas. De acordo com Fuentes *et al.* (2013) diferentes métodos, como extrusão/cocção, uso de micro-ondas, altas pressões, aquecimento por infravermelho e campos elétricos, descasque, cocção, torrefação, remolho, germinação e fermentação, podem ser aplicados para minimizar ou eliminar os fatores antinutricionais.

Um dos fatores que tem limitado o uso do feijão-caupi como alimento é a presença de certos fatores antinutricionais nos grãos (polifenóis, taninos e ácido fítico). Outros fatores considerados antinutricionais em feijão-caupi são inibidores de enzimas (tripsina, quimotripsina), ácidos fenólicos, alfa-galactosídeos (rafinose e estaquiase) e ácido oxálico (Khalid; Elhardallou, 2016; Diouf *et al.*, 2019; Makinde; Obalarin, 2020; Korant *et al.*, 2023). Segundo Avanza *et al.* (2013), estudos anteriores mostraram que diferentes métodos de cozimento melhoraram a qualidade nutricional dos legumes em graus variáveis.

2.4.1 Tipos de processamentos que influenciam os teores de ácido fítico e taninos em feijão-caupi: uma revisão sistemática

Artigo científico (Qualis Capes 2017/2020 B2).

Publicado: Duarte, Ennya Cristina Pereira dos Santos et al. Tipos de processamentos que influenciam os teores de ácido fítico e taninos em feijão-caupi: uma revisão sistemática. Revista Nutrição em Pauta, n. 77. p. 27-33. Novembro de 2023. ISSN 2236-1022.

(Consulta do artigo na íntegra no ANEXO 1, Pg. 90)

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar a qualidade nutricional, funcional e digestibilidade proteica em grãos crus e cozidos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi.

3.2 ESPECÍFICOS

- Determinar a composição centesimal, o valor energético total (VET) e os teores de ferro, zinco selênio e ácido fítico nos grãos cru e cozido de genótipos de feijão-caupi;
- Avaliar a qualidade de cozimento dos grãos de genótipos de feijão-caupi;
- Estimar o índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQCN) de genótipos de feijão-caupi, com base em atributos nutricionais e antinutricionais presentes nos grãos cozidos;
- Determinar os teores de amido, fibra alimentar total, compostos fenólicos e atividade antioxidante nos grãos cru e cozido dos três genótipos de feijão-caupi com melhor qualidade nutricional e de cozimento;
- Determinar a digestibilidade de proteínas *in vitro* nos grãos cru e cozido dos três genótipos de feijão-caupi com melhor qualidade nutricional e de cozimento.

4 METODOLOGIA

O estudo foi realizado com grãos cru e cozido de 10 genótipos de feijão-caupi pertencentes às classes comerciais branco, preto e cores, oriundos da Coleção de Trabalho do Melhorista do Programa de Melhoramento Genético de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte em Teresina-PI, quais sejam: BRS Tumucumaque (classe comercial branco, subclasse branco liso), Pretinho (classe comercial preto, subclasse preto brilhante), IT-97K-1042-3 (classe comercial cores, subclasse vinagre, tegumento vermelho), BR 2-Bragança (classe comercial cores, subclasse manteiga, tegumento creme), BRS Verdejante (classe comercial cores, subclasse verde), BRS Inhuma (classe comercial cores, subclasse canapu, tegumento marrom), BRS Exuberante (classe comercial cores, subclasse sempre-verde, tegumento marrom), MNC11-1019E-15 (tegumento rajado), BRS Imponente (classe comercial branco, subclasse branco rugoso) e BRS Olhonegro (classe comercial branco. Subclasse fradinho) (Figura 2), que foram provenientes de um ensaio conduzido no delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos e três repetições, sob condições protegidas (telado) e de irrigação, na Embrapa Meio-Norte, em Teresina/PI.

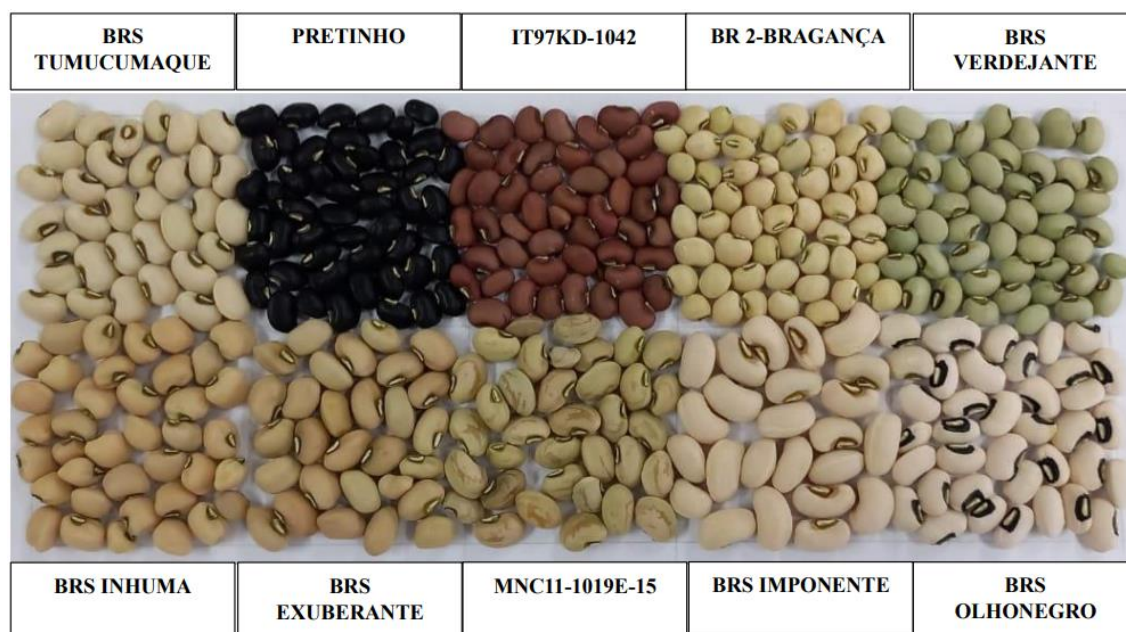


Figura 3. Genótipos de feijão-caupi avaliados no presente estudo. Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Os grãos crus dos genótipos de feijão-caupi foram selecionados e lavados com água destilada. Para a obtenção do grão cozido, estes, foram acondicionados em sacos de organza, identificados conforme o genótipo e o número da repetição, e cada um foi hidratado

separadamente por 60 minutos em água destilada, que foi utilizada durante a cocção, em volume correspondente a 1/5 da capacidade da panela. Utilizando panela de pressão elétrica (marca Electrolux, modelo PCE20 5 Litros), o cozimento ocorreu por 30 minutos e em seguida os grãos foram colocados em superfície lisa para resfriamento e o caldo da cocção foi desprezado. Os grãos crus assim como os cozidos, foram submetidos a secagem a 60 °C, por 48 h, em estufa de circulação de ar (Nova Ética®, modelo 410/3ND) e moídos (≤ 200 mesh) em um moinho de bolas de zircônio (Retsch®, modelo MM200) para obtenção de farinhas. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos com fecho zip lok, de polipropileno transparente, em temperatura de 4 °C, durante o período de realização das análises descritas abaixo, cujo resultados foram expressos em base seca.

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira etapa, determinou-se nos 10 genótipos de feijão-caupi, os teores de ferro, zinco, selênio e ácido fítico no Laboratório de Análises Físico-químicas e Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro-RJ, e a qualidade de cozimento, composição centesimal, valor energético total (VET) e o Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento (IQNC), no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte. Foram selecionados os três genótipos com melhor qualidade nutricional e de cozimento via IQNC.

Na segunda etapa da pesquisa, determinaram-se os teores de polifenóis totais, a atividade antioxidante *in vitro* (Laboratório de Bromatologia e Bioquímica de Alimentos da Universidade Federal do Piauí), fibra alimentar e digestibilidade de proteínas *in vitro* (Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte), nos grãos crus e cozidos dos três genótipos de melhor qualidade nutricional e de cozimento: BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro.

4.1 Capítulos 1

Foram determinados a composição centesimal (cinzas, umidade, proteínas, lipídios e carboidratos), o valor energético total (VET), os teores de ácido fítico, minerais ferro (Fe), zinco (Zn) e selênio (Se) nos grãos cru e cozido, além da qualidade de cozimento e as estimativas do IQCN. As determinações ocorreram considerando-se cada uma das três repetições referentes aos 10 genótipos de feijão-caupi avaliados.

4.1.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado por meio do método de secagem em estufa, por gravimetria, à temperatura de 105 °C (AOAC, 2012). Foram pesados 2 g da amostra homogeneizada em uma cápsula de porcelana previamente tarada. A cápsula com a amostra foi colocada em estufa (FANEM®, modelo 320 – SE) a 105 °C por 4 horas, em seguida foi retirada da estufa, e colocada em dessecador por 30 min. para resfriar e depois foi pesada. O teor de umidade (%) foi obtido pela fórmula: $100 \times N / P$, em que: N = n° de gramas de umidade e P = n° de gramas de amostra.

4.1.2 Cinzas

O teor de cinzas foi determinado pela técnica de incineração em mufla à temperatura de 550 °C, sendo os resultados obtidos em porcentagem (AOAC, 2012). Foram pesados 2 g da amostra em cadinho previamente tarado. Os cadinhos com as amostras foram colocados na mufla (Novatecnica®, modelo NT 380) a 250°C por 4 h, para carbonização da amostra e após esse tempo a temperatura da mufla foi elevado a 550 °C até incineração completa da amostra. Ao final, os cadinhos com amostra incinerada foram colocados em dessecador, para esfriar, por 30 a 40 min e em seguida pesados. O teor de cinzas (%) foi obtido pela fórmula: $100 \times N / P$, em que: N = n° de gramas de cinzas e P = n° de gramas de amostra.

4.1.3 Proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl, que se baseia na determinação de nitrogênio, utilizando-se o fator de 6,25. Este método possui três etapas: digestão, destilação e titulação. A matéria orgânica é decomposta e o nitrogênio existente é finalmente transformado em amônia (AOAC, 2012). Pesou-se 0,2 g da amostra, colocada em papel manteiga, e esta foi adicionada ao tubo de Kjeldahl juntamente com 5 mL de ácido sulfúrico concentrado e 2 g da mistura catalítica (3,5% de sulfato de cobre e 96, 5% de sulfato de potássio).

Na etapa de digestão, o tubo de Kjeldahl foi acoplado ao sistema do digestor de Kjeldahl, a 400 °C, cerca de 1 h e 40 min., até a solução tornar-se azul-esverdeada, livre de material não digerido esverdeada límpida e, em sequência, foi resfriada e destilada. Após esfriar, foram adicionados 10 mL de água destilada, e o tubo acoplado ao conjunto de destilação (TECNAL®, modelo TE – 0363). Nessa etapa, foram adicionados 15 mL de solução de hidróxido de sódio 50% no tubo e, após a ebulição, a amônia presente na amostra foi conduzido por arraste de vapor a um Erlenmeyer com ácido bórico e o indicador vermelho de metila.

Na última etapa, a quantidade de nitrogênio foi determinada por meio de titulação com solução de ácido clorídrico 0,02 N de fator conhecido. O volume de NaOH utilizado foi anotado e utilizado para a realização dos cálculos. Utilizou-se a seguinte fórmula para a obtenção do teor de proteínas:

$$\text{Teor de proteínas} = V \times 0,14 \times f / p$$

onde,

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

f é o fator de conversão para proteína vegetal (6,25);

p é o peso da amostra.

4.1.4 Lipídeos

O teor de lipídeos foi determinado pelo método de extração intermitente de Soxhlet, cuja extração foi realizada com éter de petróleo, posteriormente evaporado, obtendo-se um resíduo (AOAC, 2012).

Foram pesados 2 g de amostra em papel filtro, acondicionadas em cartuchos e inseridas no extrator (ACB Labor®), que foi acoplado a um balão previamente tarado a 105 °C e pesado, nos quais foram adicionados 150 mL do éter de petróleo. A chapa elétrica foi mantida sob aquecimento e realizada extração contínua por 6 horas com temperatura em torno de 60 °C. Após o término da extração, recuperou-se o solvente e o balão com o resíduo extraído foi transferido para a estufa a 105 °C, durante uma hora, e, em seguida, resfriado em dessecador por 30 min, até a temperatura ambiente, e pesado.

O teor de lipídeos (%) foi obtido pela fórmula: $100 \times N / P$, em que: N = n° de gramas de lipídeos e P = n° de gramas de amostra.

4.1.6 Carboidratos

O teor de Carboidratos foi determinado por diferença, subtraindo de 100% os teores de proteínas, lipídios, cinzas e umidade (AOAC, 2012).

4.1.7 VET

O VET foi calculado somando-se as calorias (kcal) fornecidas por carboidratos, lipídios e proteínas, multiplicando-se seus valores em gramas pelos fatores de Atwater 4 kcal, 9 kcal e 4 kcal, respectivamente (Watt; Merrill, 1963).

4.1.8 Ácido fítico

O teor de ácido fítico foi determinado pelo método 986.11 da AOAC (2012) com modificação, sendo a análise realizada atualmente por plasma indutivamente acoplado (ICP), com modificação do recolhimento dos fitatos com solução de HCl 2,0M em balão volumétrico de 25,00 mL e leitura direta do fósforo (P) por ICP. O resultado foi expresso em mg de ácido fítico por 100 gramas de amostra.

4.1.9 Minerais (Fe, Zn e Se)

Os teores de ferro (Fe), Zinco (Zn) e selênio (Se) foram determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado – ICP-OES (Optima 4300DV, Perkin Elmer, Norwalk, EUA). Foram utilizados 0,5 g de cada amostra, os quais foram colocados em um tubo de micro-ondas e 2 mL de 30 % (v v⁻¹) de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) adicionado a cada tubo e mantido coberto durante a noite para digestão. Em seguida foram adicionados 3 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃) em cada tubo. Duas horas após a etapa anterior, esse material foi submetido ao aquecimento em aparelho de micro-ondas de cavidade, conforme procedimento operacional padrão (POP) LMIN-008, I. 07, e digerido a 1200 W, temperatura de 200 °C, e pressão de 120 psi. A temperatura e a pressão foram mantidas durante cinco minutos. Após digestão completa, os tubos foram retirados do aparelho, mantidos em capela para esfriar e abertos após 30 minutos. Após repouso de 15 minutos, foram filtrados lentamente em papel filtro e ajustados para 25 mL. As leituras foram então realizadas no ICP-OES, conforme POP da Embrapa LMIN-026, rev. 01.

4.1.10 Qualidade de Cozimento

A avaliação da qualidade de cozimento foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Carvalho *et al.* (2017), com adaptações. Uma amostra para cada uma das três repetições dos 10 genótipos de feijão-caupi foi acondicionada em sacos de organza e identificados conforme o genótipo e o número da repetição. Para a etapa de cozimento, cada saco de organza, contendo 50 grãos que foram hidratados por 60 minutos em água destilada (Figura 3), foram em seguida levados individualmente a panela de pressão elétrica (marca Electrolux, modelo PCE20 5 Litros) (Figura 4). O *timer* da panela foi programado para 30 minutos, com início da pressão no minuto 10. A água utilizada para o cozimento foi a mesma de hidratação dos grãos e correspondeu a 1/5 da capacidade da panela elétrica. O tempo de molho e cocção foram pré-estabelecidos em testes preliminares realizados por Barros (2019).

Em seguida, os grãos cozidos foram retirados dos sacos de organza e colocados em uma superfície lisa para resfriamento por cinco minutos. Procedeu-se a avaliação da porcentagem de grãos cozidos, onde 25 grãos por amostra, escolhidos aleatoriamente foram dispostos no cozedor de Mattson e registrado o número de pinos que imediatamente perfuraram completamente os grãos (Figura 5). Quanto maior a porcentagem de grãos com pinos totalmente perfurados, maior a qualidade de cozimento.



Figura 4. Hidratação dos grãos de feijão-caupi antes do cozimento.
Fonte: Dados da pesquisa, 2024.



Figura 5. Panela de pressão elétrica (Electrolux, modelo PCE20 5 Litros) utilizada para o cozimento (1) e grãos de feijão-caupi cozidos, imediatamente após serem retirados da panela (2). Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

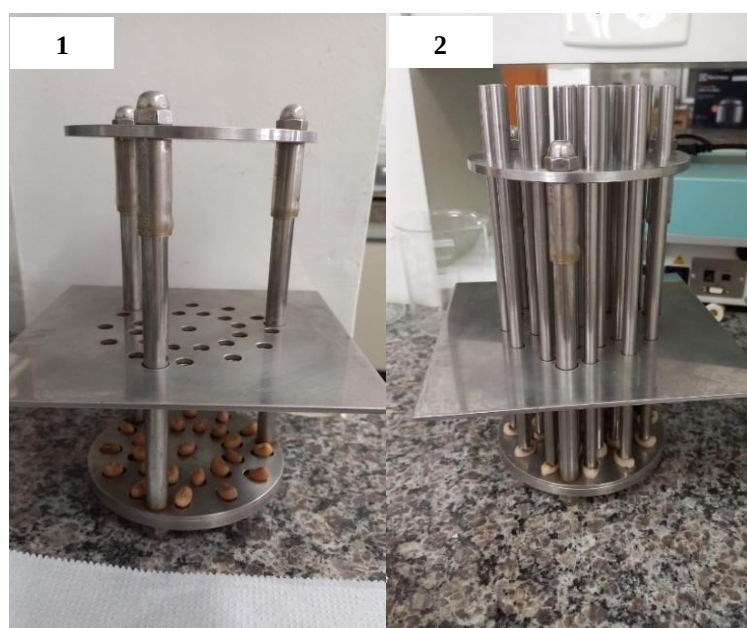


Figura 6. Avaliação da porcentagem de grão cozidos utilizando o Cozedor de Mattson. Momento de disposição dos grãos de feijão-caupi (1), momento no qual os pinos perfuram os grãos cozidos (2). Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

4.1.11 Índice de qualidade nutricional e de cozimento

O índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) foi estimado de acordo com o índice de qualidade nutricional (IQN) proposto por Carvalho *et al.* (2012) e Pereira (2013), com adaptações de Freitas *et al.* (2022). Utilizou-se o IQNC na primeira etapa da pesquisa com o propósito de realizar a seleção dos três melhores genótipos com base nas principais características (proteínas, ferro, zinco, selênio, ácido fítico e porcentagem de grãos cozidos) de forma simultânea.

Para cada característica, estabeleceu-se um valor mínimo ou máximo desejáveis que o genótipo fosse selecionado, considerado neste estudo, a média geral de cada característica. Valores superiores à média geral, para os teores de proteínas, ferro, zinco, selênio e a porcentagem de grãos cozidos, contaram positivamente, enquanto resultados superiores à média geral para o teor de ácido fítico, contaram negativamente.

Foram atribuídos pesos de acordo com a importância nutricional ou culinária das características para o grão de feijão-caupi: “4” para os teores de proteínas; “3” para os teores de ferro, zinco e selênio, “2” para a qualidade de cozimento e “1” para os teores de ácido fítico, levando-se em consideração as características consideradas positivas e negativas para o grão. A soma algébrica do produto entre o máximo ou excesso e o respectivo peso de cada característica foi dividido pela soma dos pesos, conforme a equação abaixo:

$$IQNC_i = \sum [(dmv_i \times p_i)] + \dots + [(dmv_n \times p_n)] / p_i + \dots + p_n$$

onde,

$IQNC_i$ é o índice de qualidade nutricional e de cozimento do i-ésimo genótipo;

Dmv_i é a diferença entre a média do i-ésimo genótipo e a média geral da n-ésima característica;

p_i é o peso arbitrário adotado para a n-ésima característica.

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

4.1.12 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias entre os grãos cru e cozido, por genótipo, comparadas pelo Teste *t* de Student ($p < 0,05$) utilizando-se o programa computacional SAS (SAS Institute, 2011). As médias entre genótipos nos grãos cru e cozido foram agrupamento pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), com o auxílio do programa GENES (Cruz, 2006). Os resultados foram apresentados em tabelas como média $\pm$ desvio padrão.

4.2 Capítulos 2

Neste capítulo foram determinados os teores de polifenóis totais, atividade antioxidante e os teores de amido e fibra alimentar nos grãos cru e cozido dos genótipos de feijão-caupi selecionados via IQNC na primeira etapa do trabalho, no caso, as cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. As determinações ocorreram considerando-se cada uma das três repetições referentes aos genótipos avaliados e os resultados foram apresentados em base seca.

4.2.1 Compostos fenólicos

4.2.1.1 Obtenção dos extratos para análise de compostos fenólicos e atividade antioxidante

A obtenção dos extratos foi realizada de acordo com Rufino *et al.* (2007). O solvente utilizado para extração dos compostos bioativos foi a Acetona 80%, este foi selecionado após testes prévios com três extratos: metanol 50% /acetona 70%; metanol 80% e acetona 80%. Foram pesados 3 g das amostras em tubos para centrífuga (50 mL) e os compostos bioativos foram extraídos com 8 mL de acetona a 80 % por 60 min em ultrassom (Ultra Cleaner 1600A),

por 30 minutos a 24°C. Os tubos foram centrifugados (Centrífuga 5702) a 4000 rpm durante 15 minutos e o sobrenadante foi recolhido em um balão volumétrico (10 mL) e completado o volume com água ultrapura.

4.2.1.2 Preparo da curva padrão com ácido gálico

Na elaboração da solução estoque, inicialmente foi pesada 0,125 g de ácido gálico (seco sob vácuo) que foi diluído em balão de 25 mL com água deionizada. Em seguida foi pipetado 0 (0 ppm), 1 mL (50 ppm), 2 mL (100 ppm), 3 mL (150 ppm), 5 mL (250 ppm) e 10 mL (500 ppm) para balões volumétricos de 100 mL e completados com água deionizada. Foram adicionados 2 mL de água deionizada e, em seguida, pipetados 100 µL de cada uma das concentrações com pipeta automática e transferidos para balão volumétrico de 10 mL. Em seguida foi adicionado 0,5 mL de reativo Folin-Ciocalteu e agitado com vigor. Após 5 minutos, foram adicionados 1,5 mL de solução de carbonato de sódio a 20 % m/v, e agitado, completando-se o volume para 10 mL com água deionizada. Após repouso de 2 horas (24 °C) ao abrigo da luz, as absorbâncias foram medidas a 765 nm em cubeta de 10 mm. Foi traçado um gráfico conc. mg L⁻¹ de ácido gálico x absorbância.

4.2.1.3 Determinação de fenólicos totais

Inicialmente foi preparado um extrato e a partir deste foram realizadas as análises. O teor de fenólicos totais foi determinado de acordo com o método de Folin-Ciocateau (Singleton; Rossi, 1965). A leitura da absorbância foi medida em 765 nm em espectrofotômetro UV-VIS (BEL 1102, Monza, Milão, Itália). A quantificação de fenólicos totais foi realizada pela interpolação a uma curva padrão de ácido gálico e os valores foram expressos em miligramas (mg) de ácido gálico equivalente (GAE) por 100g de amostra.

4.2.2 Atividade antioxidante

Utilizou-se o mesmo extrato dos compostos fenólicos para a análise da atividade antioxidante, que foi realizada *in vitro* pelo método de sequestro do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), segundo Brand-Williams, Cuverlier e Berset (1995). O DPPH foi dissolvido em metanol puro para uma concentração de 0,1 mM. Essa solução dissolvida em 1:100 com metanol 80% (v/v), ajustando a absorbância inicial em 515 nm para aproximadamente 0,800 nm. Em seguida, 2,9 mL de solução DPPH foi lida (A0) e adicionada

de uma alíquota de 100 µL do extrato. A mistura foi incubada à temperatura ambiente ao abrigo da luz por 30 min., seguida de nova medida da absorbância (A30). Um teste branco com 2,9 mL DPPH e 100 µL do solvente foi conduzido paralelamente. O poder de sequestro de radicais DPPH foi calculado pela fórmula: % = $[1 - (A_{30} - B)/A_0] \times 100$, onde uma curva padrão com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) foi construída em diferentes concentrações (0-100 mg L⁻¹). Os resultados foram expressos em µmol TEAC (Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox) por 100 g-1 de amostra.

4.2.3 Fibra alimentar totais

As fibras alimentares totais foram determinadas de forma indireta, considerando o valor das fibras totais o resultado obtido com a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Fibras totais} = 100 - (\text{Umidade} + \text{Cinzas} + \text{Proteínas} + \text{Lipídios} + \text{Carboidrato digerível (amido)})$$

4.2.3.1 Amido

O teor de amido foi determinado pelo método ISI 27-1e (ISI,1999), com adaptações. Considerando-se que a amostra possuía teor menor que 10% de lipídios, pesou-se 4 gramas de amostra em erlenmeyer de 250 mL, no qual foi adicionado 80 mL de água destilada e 0,2 mL de NaOH 10% e, em seguida, levado à autoclave por 1 hora a 1 atm. após esfriar, adicionou-se 2,0 mL de HCl concentrado (PA) e novamente levou-se a autoclave, pelo tempo de apenas 30 min. a 1 atm. Depois dessa etapa, e após esfriar, transferiu-se as amostras para um béquer, no qual foram neutralizadas com NaOH 10% para o pH entre 7,0-7,2. Em um balão volumétrico de 100 mL completou-se o conteúdo com água até o menisco e agitou-se; em seguida, parte do extrato foi centrifugada por 10 min. a 3000 rpm em centrífuga de bancada (marca: Hettich e modelo Rotofix 32A) e transferido para uma bureta. Em um Erlenmeyer de 250 ml foram adicionados 10 mL de Fehling A e 10 mL de Fehling B e 40 mL de água destilada. Em seguida, levou-se à chapa aquecedora a 250 °C, e esperou-se entrar em ebulição para começar a titular com o sobrenadante na bureta. Logo que a solução de de Fehling A + de Fehling B e água destilada começou a perder a coloração azul, adicionou-se 2 gotas de azul de metileno 1% e titulou-se até a solução apresentar a cor de vermelho tijolo. O teor de amido (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Amido: } V \times f \times 100 \times 0,9 / v \times P,$$

onde,

V = Volume final da solução contendo a amostra;

v = Volume de amostra gasto na titulação;

f = fator da solução de Fehling;

P = gramas de amostra presente no volume V.

4.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias entre grãos crus e cozidos, por cultivar, foram comparadas pelo Teste *t* de Student ($p < 0,05$) e as médias entre genótipos nos grãos cru e cozido foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o programa computacional SAS (SAS Institute, 2011). Os resultados foram apresentados em tabelas como média $\pm$ desvio padrão.

4.3 Capítulos 3

Neste capítulo, realizou-se a análise de digestibilidade proteica dos grãos imaturos cru e cozido das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. As análises foram realizadas considerando cada uma das três repetições referentes aos genótipos avaliados e os resultados foram apresentados em base seca.

4.3.1 Digestibilidade de proteínas

A análise da digestibilidade de proteínas *in vitro* foi realizada segundo a metodologia proposta por Akeson e Stahmann (1964), com modificações. Esse método se baseia na hidrólise enzimática das proteínas com pepsina e pancreatina seguida da determinação do nitrogênio não precipitável com TCA 50%.

Foram adicionados 5 mL de uma solução de pepsina (4 mg mL^{-1} em HCl 0,1 N, pH 1,5) em 200 mg da amostra de cultivar de feijão-caupi, que em seguida foi homogeneizada e levada ao banho-maria (Cientec-248) a 37°C por 3 horas. Após esse período, em temperatura ambiente, ajustou-se o pH da amostra para 8,0 com a solução de NaOH 0,1 N e acrescentou-se 4 mL da solução de pancreatina (10 mg mL^{-1} em tampão fosfato pH 8,0) que prosseguiu em banho-maria a 37°C por 4 horas (Figura 6A). Em temperatura ambiente, a digestão foi interrompida com a adição lenta de 1 mL de solução de TCA 50 % (p/v). Em seguida, centrifugou-se a solução a 4000 rpm por 30 min em centrífuga de bancada (Hettich, modelo

Rotofix 32A). E, após recolhido o sobrenadante, determinou-se o teor de nitrogênio pelo método de micro Kjeldahl (Figura 6B).

A digestibilidade proteica *in vitro* das cultivares de feijão-caupi (%) foi definida pela seguinte fórmula:

$$\text{Digestibilidade proteica (\%)} = (\text{PBf} - \text{PBs} / \text{PBf}) \times 100,$$

Onde,

PBf é o teor de proteína da farinha antes digestão enzimática;

PBs é o teor de proteínas do sobrenadante depois da digestão enzimática.



Figura 7. Etapa de digestão enzimática em banho-maria (1) e etapa de destilação de nitrogênio (2).

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

4.3.2 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com as médias entre os grãos imaturos cru e cozido, por cultivar, foram comparadas pelo Teste t de Student ($p < 0,05$) e as médias entre genótipos nos grãos cru e cozido, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o programa computacional SAS (SAS Institute, 2011). Os resultados foram apresentados em tabelas com as médias $\pm$ desvio padrão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão desta tese são apresentados nos seguintes capítulos redigidos em formato de artigos científicos:

Capítulo 1:

Qualidade nutricional e de cozimento dos grãos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi.

Capítulo 2:

Compostos bioativos e atividade antioxidante dos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi.

Capítulo 3:

Disgestibilidade proteica dos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi.

CAPÍTULO 1

Artigo publicado no periódico Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana (ISSN 1696-8352), Qualis Capes 2017-2020 A4.

Qualidade nutricional e de cozimento dos grãos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.)

Nutritional and cooking quality of grains from different commercial classes of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.)

Calidad nutricional y de cocción de granos de diferentes clases comerciales de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.)

Ennya Cristina Pereira dos Santos Duarte

Pós-Graduanda em Alimentos e Nutrição

Instituição: Universidade Federal do Piauí

Endereço: Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Ininga, Teresina - PI,

CEP: 64049-550

E-mail: ennyacristina24@gmail.com

Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo

Doutora em Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Federal do Piauí

Endereço: Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Ininga, Teresina - PI,

CEP: 64049-550

E-mail: regilda@ufpi.edu.br

Luis José Duarte Franco

Mestre em Ciência Animal

Instituição: Embrapa Meio-Norte

Endereço: Av. Duque de Caxias, 5650, Buenos Aires, Teresina - PI, CEP: 64008-780

E-mail: luis.franco@embrapa.br

Kaesel Jackson Damasceno-Silva

Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas

Instituição: Embrapa Meio-Norte

Endereço: Av. Duque de Caxias, 5650, Buenos Aires, Teresina - PI, CEP: 64008-780

E-mail: kaesel.damasceno@embrapa.br

Maurisrael de Moura Rocha

Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas

Instituição: Embrapa Meio-Norte

Endereço: Av. Duque de Caxias, 5650, Buenos Aires, Teresina - PI, CEP: 64008-780

E-mail: maurisrael.rocha@embrapa.br

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma cultura de grande importância socioeconômica na região Nordeste do Brasil, sendo um gerador de emprego e renda para milhares de pessoas e fonte de proteínas, minerais, fibras alimentares e compostos bioativos, que auxiliam na prevenção de várias doenças. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade nutricional e de cozimento dos grãos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi. Foram avaliados os grãos crus e cozidos de 10 genótipos de feijão-caupi. Foram determinados a composição centesimal e o valor energético total (VET), segundo AOAC; os teores de ferro (Fe), zinco (Zn) e selênio (Se), por ICP-OES; o teor de ácido fítico pelo método 986.11 AOAC; e a qualidade de cozimento, utilizando-se panela de pressão elétrica e cozedor de Mattson. Estimou-se o índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC), considerando-se proteínas, Fe, Zn, Se e qualidade de cozimento como características positivas e o teor de ácido fítico como uma característica negativa. As médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) e dos grãos cru e cozido pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Houve diferenças significativas entre os genótipos para todas as características, exceto para as proteínas e carboidratos nos grãos crus. O cozimento aumentou os teores de proteínas nos genótipos IT97KD-1042 e BRS Olhonegro, e Zn, em todos os genótipos, e reduziu o ácido fítico em 10,43 a 30,64%. A qualidade de cozimento foi superior a 52% para todos os genótipos. As cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro, ambas pertencentes à classe comercial branco, destacaram-se, com os maiores IQNC. Essas cultivares podem ser utilizadas em programas que visem o combate à desnutrição e ratificam o valor nutritivo do feijão-caupi e o aporte de qualidade que pode possibilitar quando inserido em uma alimentação equilibrada.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, proteínas, minerais, ácido fítico, cocção.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) is a crop of great socioeconomic importance in the Northeast region of Brazil, being a generator of employment and income for thousands of people and a source of proteins, minerals, diet fibers and bioactive compounds, which help in the prevention of various diseases. This work aimed to evaluate the nutritional and cooking quality of grains from different commercial classes of cowpea. Raw and cooked grains from 10 cowpea genotypes were evaluated. The proximate composition and total energy value (TEV) were determined, according to AOAC; iron (Fe), zinc (Zn) and selenium (Se) contents, by ICP-OES; phytic acid content by method 986.11 AOAC; and cooking quality, using an electric pressure cooker and Matsson cooker. The nutritional and cooking quality index (IQNC) was estimated, considering proteins, Fe, Zn, Se, and cooking quality as positive characteristics and the phytic acid content as a negative characteristic. Genotype means were grouped using the Scott-Knott test ($p < 0.05$) and raw and cooked grains using Student's t test ($p < 0.05$). There were significant differences between genotypes for all traits except for proteins and carbohydrates in raw grains. Cooking increased protein content in genotypes IT97KD-1042 and BRS Olhonegro, and Zn, in all genotypes, and reduced phytic acid by 10.43 to 30.64%. Cooking quality was greater than 52% for all genotypes. The cultivars BRS Tumucumaque, BRS Imponente and BRS Olhonegro, both belonging to the white commercial class, highlighted with the highest IQNC. These cultivars can be used in programs aimed at combating malnutrition and confirm

the nutritional value of cowpea and the quality contribution it can provide when included in a balanced diet.

Keywords: *Vigna unguiculata*, proteins, minerals, phytic acid, cooking.

RESUMEN

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) es un cultivo de gran importancia socioeconómica en la región noreste de Brasil, siendo generador de empleo e ingresos para miles de personas y fuente de proteínas, minerales, fibras alimenticias y compuestos bioactivos, que ayudan en la prevención de diversas enfermedades. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad nutricional y de cocción de los granos de diferentes clases comerciales de frijol caupí. Se evaluaron los granos crudos y cocidos de 10 genotipos de frijol caupí. Se determinó la composición centesimal y el valor de energía total (TEC) de acuerdo con AOAC, los contenidos de hierro (Fe), zinc (Zn) y selenio (Se) por ICP-OES, el contenido de ácido fítico por el método 986.11 AOAC y la calidad de cocción, utilizando olla a presión eléctrica y cocción Mattson. Se estimó el índice de calidad nutricional y de cocción (ICA), considerando como características positivas las proteínas, Fe, Zn, Se y calidad de cocción, y como características negativas el contenido de ácido fítico. Las medias genotípicas se agruparon por la prueba de Scott-Knott ($p < 0,05$) y los granos crudos y cocidos por la prueba *t* de Student ($p < 0,05$). Hubo diferencias significativas entre genotipos para todas las características excepto para proteínas e hidratos de carbono en granos crudos. La cocción incrementó los niveles de proteína en los genotipos IT97KD-1042 y BRS Olhonegro, y Zn, en todos los genotipos, y redujo el ácido fítico en un 10,43 a 30,64%. La calidad de cocción fue superior al 52% para todos los genotipos. Destacaron los cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente y BRS Olhonegro, ambos pertenecientes a la clase comercial blanca, con los mayores IQNCs. Estos cultivares pueden ser utilizados en programas que apuntan a combatir la desnutrición y ratifican el valor nutricional del frijol caupí y la calidad de su ingesta que puede hacer posible al insertarlo en una dieta balanceada.

Palabras clave: *Vigna unguiculata*, proteínas, minerales, ácido fítico, cocción.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma das culturas alimentares e um dos componentes de arranjos produtivos mais importantes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, principalmente nas regiões semiáridas. No Brasil, ele é uma cultura alimentar importante desde o início da colonização e o País é hoje o terceiro maior produtor mundial, precedido somente pela Nigéria e pelo Niger, e o maior produtor e consumidor da América Latina (FREIRE FILHO; RIBEIRO, 2023).

O cultivo do feijão-caupi no Brasil é realizado principalmente para a produção de grãos secos ou imaturos e na forma de conserva ou desidratado, representando assim, um alimento básico para as populações de baixa renda do nordeste brasileiro (ROCHA *et al.*, 2017).

A despeito de possuir considerável valor nutritivo, assim como outras leguminosas, o grão de feijão-caupi possui fatores antinutricionais (BENEVIDES *et al.*, 2011), e ainda tem

como limitação para o aumento do seu consumo, o tempo de cozimento, considerado longo, o que leva à perda de nutrientes, perda de tempo útil e aumento da emissão de gases de efeito estufa devido uso prolongado de combustíveis para o cozimento (ADDY *et al.*, 2016).

Segundo Freitas *et al.* (2022), linhagens com alto percentual de grãos cozidos são promissoras para o desenvolvimento de novas cultivares de feijão-caupi com elevada qualidade culinária. Addy *et al.* (2020), afirmam que o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi de cozimento rápido tem o potencial para aumentar o seu consumo *per capita*.

O estudo de características nutricionais e relacionadas a qualidade do cozimento dos grãos do feijão-caupi é importante para o desenvolvimento de novos cultivares para atender às exigências do consumidor. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade nutricional e de cozimento dos grãos de diferentes classes comerciais de feijão-caupi.

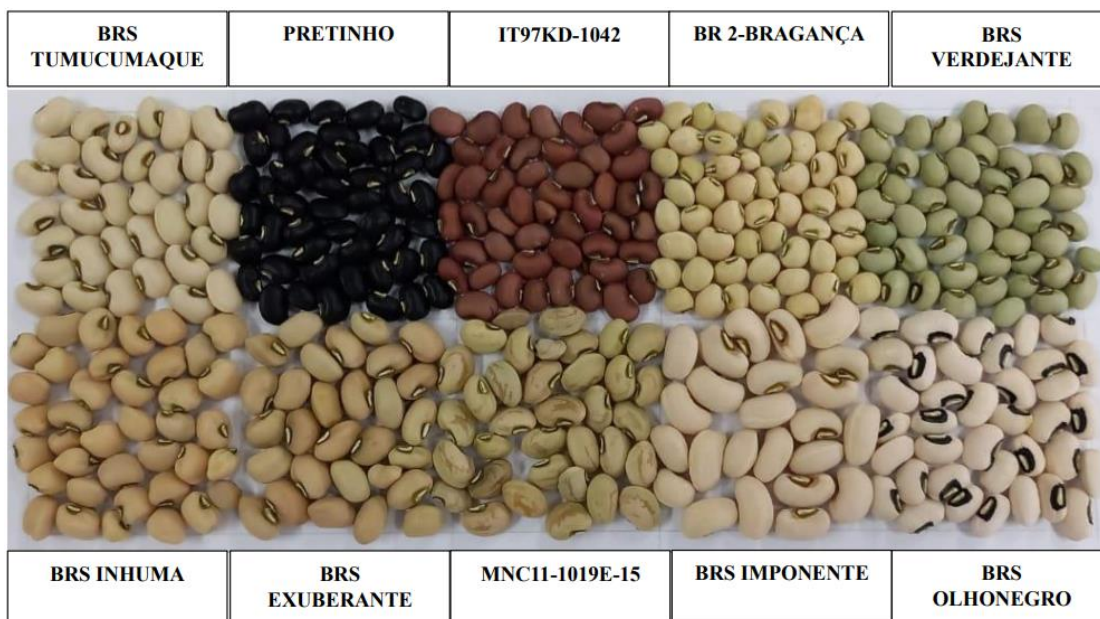
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ORIGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS

Foram determinados a composição centesimal, o valor energético total (VET), a qualidade de cozimento e o índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC), e os teores de ácido fítico, selênio, zinco e ferro, nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi de diferentes classes/subclasses comerciais: classe branco [BRS Tumucumaque (subclasse branco liso), BRS Imponente (subclasse branco rugoso) e BRS Olhonegro (subclasse fradinho)], classe preto [Pretinho (subclasse preto brilhante) e classe cores [(IT-97K-1042-3 (Vinagre/tegumento vermelho), BR 2-Bragança (subclasse manteiga/tegumento creme), BRS Verdejante (subclasse verde), BRS Inhumá (subclasse canapu/tegumento marrom), BRS Exuberante (subclasse sempre-verde, tegumento marrom) e MNC11-1019E-15 (subclasse rajada/tegumento marrom)] (Figura 1), provenientes de um experimento conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e três repetições, sob condições protegidas (telado) e irrigação por gotejamento, na Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí, Brasil.

Os grãos crus e cozidos passaram por secagem a 60 °C por 48 h, e moagem para obtenção das farinhas utilizadas para as análises da composição centesimal, minerais (ferro, zinco e selênio) e ácido fítico, cujo resultados foram expressos em base seca.

Figura 1. Genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) avaliados no presente estudo.



Fonte: Autor (2024).

2.2 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Os teores de umidade, cinzas, proteínas e lipídios foram determinados segundo a metodologia da AOAC (2012), assim como o teor de carboidratos que foi obtido por diferença, subtraindo de 100% os teores de proteínas, lipídios, cinzas e umidade.

2.3 VALOR ENERGÉTICO TOTAL (VET)

O VET foi estimado a partir das somas das calorias (kcal) fornecidas por carboidratos, lipídios e proteínas, multiplicando-se seus valores em gramas pelos fatores de Atwater 4 Kcal, 9 Kcal e 4 Kcal, respectivamente (WATT; MERRIL, 1963).

2.4 MINERAIS FERRO (FE), ZINCO (ZN) E SELÊNIO (SE)

Os teores dos microminerais Fe, Zn e Se foram determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado – ICP-OES (Optima 4300DV, Perkin Elmer, Norwalk, EUA). 0,5 g de cada amostra foram colocados em um tubo de micro-ondas e 2 mL de 30 % (v v⁻¹) de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) adicionado a cada tubo e mantido coberto durante a noite para digestão. Adicionou-se a estes, 3 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃); após duas horas, submeteu-se o material ao aquecimento em aparelho de micro-ondas de cavidade, conforme procedimento operacional padrão (POP) LMIN-008, I. 07, e digerido a 1200 W, temperatura de 200 °C, e pressão de 120 psi. A temperatura e a pressão foram mantidas

durante cinco minutos. Após digestão completa, os tubos foram retirados do aparelho, esfriados na capela e abertos após 30 min. Após 15 min, foram filtrados lentamente em papel filtro e ajustados para 25 mL. As leituras foram realizadas no ICP-OES, conforme POP da Embrapa LMIN-026, rev. 01.

2.5 ÁCIDO FÍTICO

O teor de ácido fítico foi determinado pelo método 986.11, segundo a AOAC (2010), com modificação, sendo a análise realizada por ICP, com modificação do recolhimento dos fitatos com solução de HCl 2,0 M em balão volumétrico de 25,00 mL e leitura direta do fósforo (P) por ICP. Os resultados foram expressos em mg de ácido fítico por grama de amostra.

2.6 QUALIDADE DE COZIMENTO

A qualidade de cozimento foi avaliada pela metodologia proposta por Carvalho *et al.* (2017), com adaptações. Uma mostra de 50 grãos (para cada uma das três repetições) foram hidratados por 60 min. em água destilada (que também foi utilizada para a cocção) e, depois, cozidos separadamente por 30 min., com 1/5 de água em panela de pressão elétrica (marca Electrolux) com capacidade para 5 L. O tempo de molho e cocção foram pré-estabelecidos em testes preliminares realizados por Barros (2019).

Após cozimento e resfriamento, um total de 25 grãos/genótipo foram dispostos no cozedor de Mattson (MATTSON, 1946) e registrado o número de pinos que imediatamente perfuraram completamente os grãos. Quanto maior a porcentagem de grãos com pinos totalmente perfurados, maior a qualidade de cozimento.

2.7 ÍNDICE DE QUALIDADE NUTRICIONAL E DE COZIMENTO (IQNC)

O índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) foi estimado com base no índice de qualidade nutricional (IQN) proposto por Carvalho *et al.* (2012) e Pereira (2013), com adaptações de Freitas *et al.* (2022). O IQNC foi utilizado com o objetivo de realizar a seleção simultânea para as principais características avaliadas no estudo.

Para cada característica, estabeleceu-se um valor mínimo ou máximo com os atributos nutricionais desejáveis que o genótipo devia ter para ser selecionado, sendo adotada neste estudo, a média geral de cada característica. Valores de proteínas, ferro, zinco, selênio e porcentagem de grãos cozidos acima da média geral contaram positivamente, enquanto valores de ácido fítico acima média geral para teor de ácido fítico, contaram negativamente.

Foram atribuídos os seguintes pesos de acordo com a importância nutricional e culinária das características para o grão de feijão-caupi: “4” para os teores de proteínas; “3” para os teores de ferro, zinco e selênio, “2” para a qualidade de cozimento e “1” para os teores de ácido fítico, levando em consideração as características consideradas positivas e negativas para o grão. A soma algébrica do produto entre o máximo e o respectivo peso de cada característica foi dividido pela soma dos pesos, conforme a equação:
$$IQNC_i = \frac{\sum [(dmv_i \times p_i)] + \dots + [(dmv_n \times p_n)]}{p_i + \dots + p_n}$$
 onde, $IQNC_i$ é o índice de qualidade nutricional e de cozimento do i -ésimo genótipo; dmv_i é a diferença entre a média do i -ésimo genótipo e a média geral para a n -ésima característica; e p_i é peso arbitrário adotado para a n -ésima característica. Quanto maior a estimativa do IQNC, melhor o genótipo em termos de qualidade nutricional e de cozimento.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância (ANOVA) e as médias entre os grãos crus e cozidos/genótipo comparadas pelo Teste t de Student ($p < 0,05$), utilizando-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2011) e as médias entre genótipos nos grãos crus e cozidos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

As médias gerais em relação aos teores de umidade e de cinzas foram de 3,8 g 100g⁻¹ e 4,00 g 100 g⁻¹, no grão cru, e de 6,87 g 100 g⁻¹ e 2,68 g 100 g⁻¹ no grão cozido, respectivamente (Tabela 1). Observou-se diferenças significativas ($p < 0,05$), tanto entres genótipos nos grãos crus e cozidos, quanto entre os grãos crus e cozidos/genótipo. Os resultados indicam a existência de variabilidade entre os genótipos para as características analisadas, e que estas foram bastante influenciadas pelo cozimento.

O teor de umidade é uma característica frequentemente utilizada para determinar a estabilidade e qualidade dos alimentos. A água desempenha um papel primordial em muitas das reações de deterioração que são sofridas pelos alimentos. De acordo com Ribeiro e Saravalli (2007), quanto maior o teor de água do alimento, maior é a sua sensibilidade à deterioração.

Tabela 1. Composição centesimal e Valor energético total (VET) dos grãos cru e cozido de 10 genótipos pertencentes a diferentes classes/subclasses de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Teresina, Piauí, Brasil, 2024.

Genótipo	Umidade (g 100 g ⁻¹)		Cinzas (g 100 g ⁻¹)		Lipídios (g 100 g ⁻¹)		Proteínas (g 100 g ⁻¹)		Carboidratos (g 100 g ⁻¹)		VET (kcal 100 g ⁻¹)	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
BRS Tumucumaque	4,45 ±0,28 ^{bB}	7,33 ±0,29 ^{bA}	4,00 ±0,39 ^{aA}	2,15 ±0,03 ^{cB}	0,60 ±0,28 ^{bB}	2,80 ±0,01 ^{eA}	24,70 ±0,73 ^{bA}	24,77 ±0,20 ^{eA}	66,25 ±1,02 ^{aA}	62,95 ±0,40 ^{bB}	369,22 ±3,90 ^{bA}	376,08 ±1,12 ^{cA}
Pretinho	3,43 ±0,33 ^{cB}	6,46 ±0,32 ^{cA}	4,38 ±0,05 ^{aA}	3,09 ±0,17 ^{bB}	1,09 ±0,36 ^{bA}	3,93 ±0,23 ^{cB}	28,34 ±2,17 ^{aA}	27,75 ±0,22 ^{bB}	62,76 ±1,92 ^{aA}	58,76 ±0,52 ^{dB}	374,16 ±2,78 ^{bB}	381,46 ±1,44 ^{bA}
IT97KD-1042	4,53 ±0,24 ^{bB}	9,31 ±0,29 ^{aA}	3,96 ±0,33 ^{aA}	2,65 ±0,17 ^{cB}	0,30 ±0,04 ^{bB}	5,75 ±0,09 ^{aB}	24,40 ±5,56 ^{bB}	30,31 ±0,74 ^{aA}	66,82 ±5,53 ^{aA}	51,99 ±0,56 ^{cB}	367,54 ±0,56 ^{bB}	380,90 ±1,32 ^{bA}
BR 2-Bragança	3,77 ±0,16 ^{cB}	6,53 ±0,24 ^{cA}	4,10 ±0,06 ^{aA}	2,77 ±0,04 ^{cB}	3,12 ±0,40 ^{aA}	3,73 ±0,01 ^{cA}	25,63 ±2,45 ^{bA}	24,84 ±0,21 ^{cB}	63,38± 2,49 ^{aA}	62,12 ±0,49 ^{bB}	384,12 ±1,30 ^{aA}	381,44 ±1,15 ^{bA}
BRS Verdejante	3,58 ±0,12 ^{cB}	6,18 ±0,17 ^{cA}	4,22 ±0,05 ^{aA}	2,46 ±0,21 ^{dB}	2,48 ±0,11 ^{aB}	3,48 ±0,17 ^{dA}	27,16 ±0,78 ^{aA}	26,61 ±0,13 ^{cB}	62,56 ±0,89 ^{aA}	61,27 ±0,23 ^{cB}	381,17 ±0,55 ^{aA}	382,84 ±0,99 ^{bA}
BRS Inhumá	4,96 ±0,20 ^{aB}	5,46 ±0,26 ^{dA}	3,98 ±0,18 ^{aA}	3,13 ±0,20 ^{bB}	3,23 ±0,25 ^{aB}	4,43 ±0,24 ^{bA}	24,37 ±2,90 ^{bA}	24,58 ±0,28 ^{cA}	63,46 ±3,28 ^{aA}	62,40 ±0,28 ^{bB}	380,37 ±1,67 ^{aB}	387,82 ±1,26 ^{aA}
BRS Exuberante	3,58 ±0,32 ^{cB}	7,08 ±0,04 ^{bA}	4,40 ±0,09 ^{aA}	3,21 ±0,11 ^{bB}	2,13 ±0,37 ^{bA}	1,70 ±0,03 ^{FB}	27,11 ±0,94 ^{aA}	25,41 ±0,21 ^{dA}	62,78 ±1,49 ^{aA}	62,61 ±0,25 ^{bA}	378,76 ±2,10 ^{bA}	367,34 ±0,50 ^{dB}
MNC11-1019E-15	3,52 ±0,24 ^{cB}	6,95 ±0,33 ^{bA}	4,22 ±0,10 ^{aA}	3,62 ±0,10 ^{aB}	1,43 ±0,22 ^{bB}	2,58 ±0,24 ^{eA}	25,76 ±1,45 ^{bA}	25,54 ±0,36 ^{dA}	65,06 ±1,80 ^{aA}	61,13 ±0,61 ^{cB}	376,17 ±0,69 ^{bA}	369,92 ±3,08 ^{dB}
BRS Imponente	3,11 ±0,12 ^{dB}	6,08 ±0,18 ^{cA}	3,11 ±0,59 ^{cA}	1,55 ±0,32 ^{FB}	2,54 ±0,44 ^{aA}	2,74 ±0,17 ^{eA}	24,35 ±0,57 ^{bA}	23,62 ±0,32 ^{FB}	66,90 ±0,53 ^{aA}	66,09 ±0,69 ^{aA}	387,84 ±4,21 ^{aA}	383,53 ±0,30 ^{bA}
BRS Olhonegro	3,06 ±0,12 ^{dB}	7,34 ±0,27 ^{bA}	3,65 ±0,04 ^{bA}	2,14 ±0,05 ^{cB}	1,71 ±0,24 ^{bA}	1,33 ±0,22 ^{gA}	22,72± 0,45 ^{bB}	23,67 ±0,28 ^{fA}	68,85 ±0,37 ^{aA}	65,32 ±0,43 ^{aB}	381,71 ±1,78 ^{aA}	367,93 ±2,35 ^{dB}
Média geral	3,80 ^B	6,87 ^A	4,00 ^A	2,68 ^B	1,86 ^B	3,25 ^A	25,45 ^A	25,71 ^A	64,88 ^A	61,46 ^B	378,10 ^A	377,92 ^A

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias iguais seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem pelos testes *t* de Student (*p*<0,05) e agrupamento de médias iguais seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (*p*<0,05).

Fonte: Autor (2024).

Neste estudo, observou-se que o teor de umidade variou de 3,06 g 100 g⁻¹ (BRS Olhonegro) a 4,96 g 100 g⁻¹ (BRS Inhuma) no grão cru, e de 5,46 g 100 g⁻¹ (BRS Inhuma) a 9,31 g 100 g⁻¹ (IT97KD-1042) no grão cozido, o que indica boa estabilidade, visto que o teor máximo de umidade recomendável para fins de comercialização para os grãos é de 14 g 100 g⁻¹, segundo a Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008 (BRASIL, 2008).

Outros estudos também determinaram o teor de umidade em grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi. Bezerra *et al.* (2019) avaliaram oito cultivares de feijão-caupi e observaram teores de umidade nos grãos crus maiores (7,12 a 11,32 g 100 g⁻¹) que os do presente estudo. Barros (2014) avaliou quatro cultivares de feijão-caupi e, também observou uma variação maior no teor de umidade nos grãos crus (9,70 a 10,58 g 100 g⁻¹), com a cultivar BRS Tumucumaque apresentando 10,44 g 100 g⁻¹. No estudo de Luz (2023) realizado com 15 genótipos de feijão-caupi, os teores de umidades obtidos foram mais próximos ao deste estudo, onde observou uma variação de 4,48 a 5,97 g 100 g⁻¹, nos grãos crus, e de 5,31 a 7,15 g 100 g⁻¹ nos grãos cozidos.

Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre genótipos para o teor de cinzas, tanto nos grãos crus, quanto nos grãos cozidos, sendo maior nos grãos crus (3,11 a 4,40 g 100 g⁻¹) do que nos grãos cozidos (1,55 a 3,62 g 100 g⁻¹). Nos grãos cozidos, maior teor de cinzas foi apresentado pela linhagem MNC11-1019E-15 (3,62 g 100 g⁻¹), entre os crus houve diferenças significativas apenas para os genótipos BRS Olhonegro (3,65 g 100 g⁻¹) e BRS Imponente (3,11 g 100 g⁻¹), os quais apresentaram os menores teores.

Oliveira *et al.* (2023), avaliaram os teores de cinzas dos grãos crus das cultivares de feijão-caupi BRS Aracê, BRS Xiquexique e BRS Inhuma, e observaram teores de 3,84 g 100 g⁻¹, 3,87 g 100 g⁻¹ e 3,70 g 100 g⁻¹, respectivamente.

Os teores de cinzas observados por Oliveira *et al.* (2023), assemelham-se aos do presente estudo, no qual a média geral dos genótipos nos grãos crus foi de 4,00 g 100 g⁻¹. O teor de cinzas observado na cultivar BRS Inhuma (3,98 g 100 g⁻¹), corrobora com os obtidos por Cavalcante *et al.* (2017), que variou de 3,7 a 4,5 g 100 g⁻¹.

Os teores de cinzas nos grãos cozidos observados no presente estudo diferem dos encontrados por Cavalcante *et al.* (2017), que observaram variação de 3,7 a 5,3 g 100 g⁻¹, maiores do que os do presente trabalho. Nos estudos de Luz (2023), Bezerra *et al.* (2019) e Barros (2014), assim como neste, houve redução significativa do teor de cinzas após o cozimento, de 3,72 a 4,27 g 100 g⁻¹ para 2,40 a 3,04 g 100 g⁻¹; 3,20 a 5,31 g 100 g⁻¹.

g^{-1} para 0,95 a 1,26 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ e de 3,55 a 4,03 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ para 1,42 a 1,69 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, após a cocção, respectivamente.

A redução no teor de cinzas nos grãos cozidos pode ser explicada, possivelmente, pelas perdas para a água durante o período de remolho e com o aumento da temperatura durante a cocção. Miller (1996) afirma que a etapa de remolho pode ter relação com a redução no teor devido a hidrossolubilidade e consequente lixiviação dos minerais para a água e Barampama e Simard (1995), atribuem possíveis perdas pela difusão dos minerais na água empregada pelo tratamento térmico.

As leguminosas, exceto as oleaginosas, como soja e amendoim, apresentam normalmente baixo teor de lipídios. De acordo com Rocha, Silva e Menezes-Júnior (2017), o teor médio de lipídios no feijão-caupi é de 2,00 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$. As médias gerais do teor de lipídios observados neste estudo nos grãos cru e cozidos foram respectivamente 1,86 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ e 3,35 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$. Para os grãos crus, o teor de lipídios variou de 0,30 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ na linhagem IT97KD-1042 a 3,23 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ na cultivar BRS Inhumana.

Vários autores avaliaram o teor de lipídios em grãos crus de diferentes genótipos de feijão-caupi, sendo encontrado os seguintes valores: 2,2 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (FROTA *et al.*, 2008); 1,69 a 3,07 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (BARROS, 2014); 1,3 a 2,1 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (CAVALCANTE *et al.*, 2017); 1,53 a 2,9 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Rios *et al.*, 2018); 0,40 a 0,68 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (BEZERRA *et al.*, 2019); 1,92 a 2,04 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, (OLIVEIRA *et al.*, 2023); e 0,86 a 2,25 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (LUZ, 2023). Essa variação no teor de lipídeos pode ser devida a vários fatores. O teor dos nutrientes nos alimentos pode variar devido a fatores como genética, solo, clima, dentre outros fatores relacionados ao crescimento, além de maturação e armazenamento.

Os grãos cozidos apresentaram teores lipídicos que variaram de 1,33 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (BRS Olhonegro) a 5,75 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (IT97KD-1042). Mesmo não havendo adição de nenhum tipo de óleo ou gordura durante o cozimento, houve aumento no teor de lipídios para a maioria dos genótipos após a cocção. Aumento do teor de lipídios após a cocção também foi observado no estudo de Luz (2023), justificando que isso ocorreu devido a possível liberação dos lipídeos das células das sementes provocada pelo aumento da temperatura durante o processamento térmico. A cultivar BRS Tumucumaque teve um aumento no teor de lipídios após a cocção de mais de 200%. Barros (2014) também avaliou a cultivar BRS Tumucumaque e observou aumento no teor de lipídios após a cocção, porém, menor do que o observado no presente estudo.

Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos para o teor de proteínas nos grãos crus e cozidos, com variações de 22,72 a 28,34 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ e de 23,52 a

27,75 g 100 g⁻¹, respectivamente. Destacaram-se, com os maiores teores, os genótipos Pretinho (grão cru: 28,34 g 100 g⁻¹; grão cozido: 27,16 g 100 g⁻¹), BRS Verdejante (Grão cru: 27,16 g 100 g⁻¹; grão cozido: 26,61 g 100 g⁻¹) e BRS Exuberante (Grão cru: 27,11 g 100 g⁻¹; grão cozido: 25,41 g 100 g⁻¹), com valores superiores ao teor médio de proteínas do feijão-caupi, entre 23,00 e 25 g 100 g⁻¹ (ROCHA; SILVA; MENEZES-JÚNIOR, 2017).

Observou-se ausência de diferença entre grãos crus e cozidos, indicando que, no geral, o cozimento não afetou o teor de proteínas dos genótipos. No entanto, os grãos crus e cozidos de alguns genótipos diferiram significativamente ($p < 0,05$), com aumento após a cocção, casos da cultivar BRS Olhonegro e da linhagem IT97KD-1042. De acordo com Luz (2023), esse aumento possivelmente ocorreu devido a liberação de compostos nitrogenados proteicos e não proteicos durante o aquecimento. Esse fato pode levar a uma superestimação do teor proteico, considerando a metodologia utilizada que foi o método de Kjeldahl, no qual é considerado o nitrogênio livre para a determinação das proteínas (HORNES *et al.*, 2010).

Carvalho *et al.* (2012), avaliaram o teor de proteínas nos grãos crus de 30 genótipos de feijão-caupi e observaram uma variação de 17,40 a 28,30 g 100 g⁻¹, maior do que a variação encontrado no presente estudo. De Paula *et al.* (2018), caracterizaram 46 genótipos de feijão-caupi (cru) na Colômbia e observaram teores de proteínas variando de 22,05 a 26,90 g 100 g⁻¹, resultados que se assemelham ao deste estudo, assim como nos estudos de: Oliveira *et al.* (2023), com variação de 22,96 a 25,72 g 100 g⁻¹; Freitas *et al.* (2022), com variação de 20,82 a 26,92 g 100 g⁻¹; e Luz (2023), com variação de 23,35 a 29,8 g 100 g⁻¹.

De acordo com Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008), os processamentos térmicos, incluindo a cocção, podem provocar alterações físico-químicas nas proteínas, amido e outros componentes das leguminosas, modificando seu valor nutritivo. Assim, o aumento do teor de proteínas nos grãos de feijão após a cocção ocorre especialmente devido ao calor úmido ao qual o grão é submetido e em razão, principalmente da desnaturação de fatores antinutricionais de natureza proteica e, ao mesmo tempo, evitando degradação significativa dos aminoácidos essenciais.

Aumentos no teor de proteínas no grão de feijão-caupi após a cocção foram observados também por Barros (2014), na cultivar de feijão-caupi BRS Milênio (22,05 a 24,03 g 100 g⁻¹), BRS Aracê (24,00 a 26,37 g 100 g⁻¹) e BRS Xiquexique (23,22 a 24,21

g 100 g⁻¹); por Luz (2023), em 15 genótipos de feijão-caupi da classe preto, com variação nos grãos cozidos de 27,72 a 33,70 g 100 g⁻¹.

Em relação ao teor de carboidratos, a média geral foi de 64,88 g 100g⁻¹ no grão cru e de 61,88 g 100 g⁻¹ no grão cozido, com variação de 62,56 g 100 g⁻¹ (BRS Verdejante) a 68,85 g 100 g⁻¹ (BRS Olhonegro) para o grão cru e de 51,99 g 100 g⁻¹ (IT97KD-1042) a 66,09 g 100 g⁻¹ (BRS Imponente) no grão cozido. Observou-se diminuição significativa ($p < 0,05$) dos carboidratos após a cocção (grão cru vs cozido). De acordo com Avanza *et al.* (2013), essa diminuição nos teores de carboidratos pode ser atribuída à solubilização do amido solúvel das leguminosas durante o processo de cozimento.

Os valores encontrados no presente estudo para o teor de carboidratos no grão cru estão em consonância com os observados em outros estudos realizados com genótipos de feijão-caupi por Frota *et al.* (2008), Barros (2014), Rios *et al.* (2018), Bezerra *et al.* (2019) e Oliveira *et al.* (2023), que observaram médias variando de 51,4 a 62,68 g 100 g⁻¹. No grão cozido, os teores foram superiores aos de Barros (2014) e Bezerra *et al.* (2019), que observaram variação de 9,6 a 22,98 g 100 g⁻¹. Esses diferentes resultados se devem provavelmente devido a metodologia de análise utilizada, que no presente estudo diferiu dos autores citados acima, por apresentar os resultados tanto no grão cru quanto no grão cozido em base seca. No estudo de Luz (2023), onde utilizou a mesma metodologia (base seca), observou-se semelhança com os resultados do presente estudo para o grão cru (59,07 a 65,70 g 100 g⁻¹), assim como no grão cozido (54,59 a 63,35 g 100 g⁻¹).

Os genótipos apresentaram médias gerais para o valor energético total (VET) de 378,10 kcal 100 g⁻¹ nos grãos crus e 377,92 kcal 100 g⁻¹ nos grãos cozidos, diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre si, tanto no grão cru, quanto no grão cozido, mas não diferiram entre si para grão cru vs cozido. Observou-se variação no grão cru de 367,54 kcal 100 g⁻¹ (IT97KD-1042) a 387,84 kcal 100 g⁻¹ (BRS Imponente) e, no grão cozido, de 367,34 kcal 100 g⁻¹ (BRS Exuberante) a 387,82 kcal 100 g⁻¹ (BRS Inhumana). Esses resultados confirmam que além de ser uma fonte de proteínas e de carboidratos, o feijão-caupi contribui de forma adequada com calorias. Os valores do VET observados neste estudo estão próximos dos encontrado por Luz (2023), ao valia 15 genótipos de grãos pretos, com variação de 366,50 a 377,63 kcal 100 g⁻¹ no grão cru, e de 373,30 a 390,60 kcal 100 g⁻¹, no grão cozido.

3.2 MINERAIS FERRO (Fe), ZINCO (Zn) E SELÊNIO (Se)

Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos de feijão-caupi para o teor de ferro, tanto no grão cru, quanto no grão cozido (Tabela 2). A média do teor de Fe no grão cru foi de $5,22 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (grão cru), enquanto no grão cozido, de $4,84 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Barros (2019), ao avaliar o teor de Fe no grão cru de 24 genótipos de feijão-caupi, observou resultado semelhante ao do presente estudo, quanto à linhagem IT97KD-1042, que também apresentou maior teor de Fe ($6,82 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$).

Tabela 2. Teores dos minerais ferro (Fe), zinco (Zn) e selênio (Se) nos grãos cru e cozido de 10 genótipos pertencentes a diferentes classes/subclasses de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Teresina, Piauí, Brasil, 2024.

Genótipo	Fe (mg 100 g ⁻¹)		Zn (mg 100 g ⁻¹)		Se (µg 100 g ⁻¹)	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
BRS Tumucumaque	5,26 ±2,18 ^{cA}	4,82 ±1,21 ^{cB}	4,78 ±1,04 ^{cB}	5,05 ±1,37 ^{cA}	172,33 ±0,02 ^{bA}	127,33 ±0,24 ^{dA}
Pretinho	5,18 ±0,86 ^{cA}	4,88 ±0,63 ^{cB}	5,23 ±1,39 ^{aB}	5,40 ±1,17 ^{bA}	127,00 ±0,10 ^{dA}	121,33 ±0,24 ^{dA}
IT97KD-1042	5,81 ±1,31 ^{aA}	5,38 ±1,0 ^{aB}	5,06 ±2,06 ^{bB}	5,31 ±0,76 ^{bA}	130,67 ±0,16 ^{dA}	87,33 ±0,14 ^{fA}
BR 2-Bragança	5,15 ±2,02 ^{cA}	5,07 ±1,15 ^{bB}	5,36 ±2,57 ^{aB}	5,57 ±1,84 ^{aA}	145,33 ±0,04 ^{cA}	201,67 ±0,26 ^{bA}
BRS Verdejante	5,47 ±2,81 ^{bA}	5,00 ±1,91 ^{bB}	5,31 ±1,40 ^{aB}	5,50 ±1,38 ^{aA}	109,67 ±0,072 ^{cA}	80,67 ±0,14 ^{fA}
BRS Inhumã	4,77 ±1,26 ^{dA}	4,67 ±1,40 ^{dB}	4,58 ±0,13 ^{dB}	4,84 ±0,47 ^{cA}	284,33 ±0,02 ^{aA}	303,00 ±0,21 ^{aA}
BRS Exuberante	5,16 ±1,74 ^{cA}	4,62 ±0,53 ^{dB}	5,10 ±1,64 ^{bB}	5,30 ±0,08 ^{bA}	152,67 ±0,15 ^{cA}	147,33 ±0,14 ^{cA}
MNC11-1019E-15	5,24 ±1,70 ^{cA}	4,44 ±1,02 ^{dB}	4,82 ±1,66 ^{cB}	4,97 ±0,55 ^{cA}	115,67 ±0,18 ^{cA}	105,00 ±0,12 ^{cA}
BRS Imponente	4,6 ±2,12 ^{cA}	4,63 ±1,63 ^{dA}	4,87 ±1,58 ^{cB}	5,06 ±2,40 ^{cA}	62,33 ±0,07 ^{fA}	85,00 ±0,25 ^{fA}
BRS Olhonegro	5,53 ±0,21 ^{bA}	4,84 ±1,27 ^{cB}	4,21 ±1,57 ^{cB}	4,48 ±1,16 ^{dA}	36,67 ±0,02 ^{gA}	47,33 ±0,13 ^{gA}
Média geral	5,22 ^A	4,84 ^B	4,93 ^B	5,15 ^A	134,00 ^A	131,00 ^A

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias com letras maiúsculas iguais na mesma linha e com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelos testes *t* de Student ($p < 0,05$) e de Scott-Knott ($p < 0,05$), respectivamente.

Fonte: Autor (2024).

O teor de Fe variou de $4,60 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (BRS Imponente) a $5,81 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (IT97KD-1042) no grão cru, e de $4,84 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (BRS Olhonegro) a $5,38 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (IT97KD-1042) no grão cozido. A variação observada por Rios *et al.* (2018) ($4,48$ a $6,56 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e Freitas *et al.* (2020) ($3,58$ a $6,06 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) também foi semelhante à observada no presente estudo. Já nos estudos de Luz (2023) ($3,3$ a $4,29 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), Paula *et al.* (2018) ($59,54$ a $177,9 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e Martins *et al.* (2023) ($7,12$ a $8,60 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), a variação nos teores de ferro foi inferior à observada no presente estudo. O teor de Fe no grão cozido foi superior aos encontrados por Barros (2014), que variou de $2,04$ a $2,92 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

g^{-1} , e por Luz (2023), com variação de 3,06 a 4,29 100 g^{-1} . O teor de ferro reduziu significativamente ($p < 0,05$) após o cozimento. Barros (2014) e Luz (2023), ao determinarem esse mineral nos grãos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi, também observaram redução após o cozimento.

Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias dos genótipos de feijão-caupi para o teor de zinco, tanto no grão cru, quanto no grão cozido, com os genótipos BRS Bragança (grão cru: 5,36 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$; grão cozido: 5,57 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e BRS Verdejante (grão cru: 5,31 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$; 5,5 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), seguidos da cultivar Pretinho (grão cru: 5,23 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$; grão cozido: 5,40 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) apresentado os maiores teores desse mineral, tanto no grão cru, quanto no grão cozido.

As médias do teor de zinco nos genótipos de feijão-caupi variaram de 4,21 a 5,36 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, no grão cru, e de 4,48 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ a 5,57 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, no grão cozido, sendo as cultivares BRS Olhonegro e BR 2-Bragança, os genótipos que apresentaram o maior e menor teor, respectivamente, para esse mineral, tanto no grão cru, quanto no grão cozido.

As médias para o teor de Zn no grão cru são inferiores às obtidas por De-Paula *et al.* (2018), em estudo com 46 genótipos de feijão-caupi, no qual encontraram variação de 43,46 a 53,38 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Variações no teor de Zn próximas às observadas neste estudo foram observados por Barros (2019) (2,72 a 6,41 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$); Rios *et al.* (2018) (3,17 a 5,14 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$); Freitas *et al.* (2022) (2,35 a 4,57 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$); Martins *et al.* (2023) (4,46 a 4,93 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e Oliveira *et al.* (2023) (3,60 a 3,92 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Teores de Zn inferiores aos obtidos no presente estudo foram observados por Barros (2014), no grão cru (2,99 a 4,19 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e grão cozido (1,52 a 2,27 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), ao avaliarem genótipos de feijão-caupi.

O teor de zinco aumentou de 4,93 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ no grão cru, a 5,15 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ no grão cozido, com diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias de grão cru e grão cozido. Esses resultados foram discordantes daqueles observados por outros autores. Luz (2023), caracterizaram 15 genótipos de feijão-caupi da classe preto quanto ao teor de Zn no grão cru (4,85 a 6,62 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e grão cozido (3,13 a 5,71 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e foi observado redução no teor desse mineral após a cocção.

Essas variações nos teores de Fe e Zn, tanto entre os genótipos estudados quanto entre outros estudos, possivelmente estão relacionadas a variabilidade genética e aos fatores ambientais e geográficos associados a estes genótipos. Segundo Gonçalves *et al.* (2016), estudos apontam que há uma grande variação nos teores Fe Zn em grãos de feijão-

caupi, e que na literatura é possível encontrar teores que variaram de 6,9 a 218 mg 100 g⁻¹ para Fe, e de 8,1 a 118 mg 100 g⁻¹ para Zn.

Observou-se diferença significativa (p<005) entre os genótipos de feijão-caupi para o teor de Se, tanto no grão cru, quanto no grão cozido. A média geral do teor de Se no grão cru foi de 134 µg 100 g⁻¹ e no grão cozido, de 131 µg 100 g⁻¹. A cultivar BRS Inhumá apresentou os maiores teores de Se, tanto no grão cru (284,33 µg 100 g⁻¹), quanto no grão cozido (303,00 µg 100 g⁻¹), enquanto a cultivar BRS Olhonegro, o menor teor no grão cru (36,67 µg 100 g⁻¹) e grão cozido (47,33 µg 100 g⁻¹).

Os resultados obtidos neste estudo apresentam-se superiores aos relatados por Oliveira *et al.* (2023), ao avaliarem o grão cru de três cultivares de feijão-caupi: BRS Aracê (16,88 µg 100 g⁻¹), BRS Inhumá (77,05 µg 100 g⁻¹) e BRS Xiquexique (85,21 µg 100 g⁻¹). Silva *et al.* (2021), determinaram o teor de Se em 29 genótipos de feijão-caupi e encontraram variação nos teores de Se nos grãos de 54,97 a 246,21 µg 100 g⁻¹, variação essa, semelhantes à variação observada no presente estudo.

Os resultados para Fe, Zn e Se deste estudo, corroboram com a literatura sobre o feijão-caupi ser fonte de minerais para a alimentação. De acordo com a RDC nº. 269 do Ministério da Saúde a IDR (ingestão diária recomendada) para Fe, Zn e Se é de 14 mg, 7 mg e 34 µg para adultos; 27 mg, 11 mg e 30 µg para gestantes; 15 mg, 9,5 mg e 35 µg para lactantes; 9 mg, 4mg e 10 µg para lactentes (7 a 11 meses); e 6-9 mg, 4,1-5,6 mg e 17-21 µg para crianças, respectivamente, o que demonstra a importância da ingestão desses micronutrientes em todos os ciclos de vida.

3.3 ÁCIDO FÍTICO

O ácido fítico é considerado um fator antinutricional e está presente nos grãos em leguminosas como o feijão. Observou-se diferença significativa para o teor de ácido fítico entre os genótipos avaliados, tanto no grão cru, quanto no grão cozido (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de ácido fítico e seu percentual de redução após cocção de 10 genótipos pertencentes a diferentes classes/subclasses de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Teresina, Piauí, Brasil, 2024.

Genótipo	ácido fítico (mg 100 ⁻¹)		% de redução do ácido fítico após cocção	Classe comercial	Subclasse comercial
	Cru	Cozido			
BRS Tumucumaque	942,67 ±0,19 ^{dA}	760,00 ±0,47 ^{dB}	19,37	Branco	Branco liso
Pretinho	1144,33 ±0,21 ^{bA}	1025,00 ±0,42 ^{aB}	10,43	Preto	Preto brilhante

IT97KD-1042	1154,67 ±0,30 ^{bA}	1031,67 ±0,36 ^{aB}	10,65	Cores	Vinagre (vermelho)
BR 2-Bragança	1355,67 ± 0,37 ^{aA}	1132,00 ±0,17 ^{aB}	16,49	Cores	Manteiga (creme)
BRS Verdejante	1136,33 ±0,16 ^{bA}	950,00 ±0,28 ^{bB}	16,39	Cores	Verde
BRS Inhumã	1062,33 ±0,15 ^{cA}	935,00 ±0,45 ^{bB}	11,98	Cores	Canapu (marrom)
BRS Exuberante	1041,00 ±0,28 ^{cA}	722,00 ±0,12 ^{dB}	30,64	Cores	Sempre-verde (marrom)
MNC11-1019E-15	1073,00 ±0,40 ^{cA}	945,00 ±0,29 ^{bB}	11,92	Cores	Rajado (marrom)
BRS Imponente	1150,67 ±0,30 ^{bA}	845,00 ±0,31 ^{cB}	26,56	Branco	Branco rugoso
BRS Olhonegro	943,33 ±0,29 ^{dA}	820,00 ±0,24 ^{cB}	13,07	Branco	Fradinho (branco)
Média geral	1094,00 ^A	925,56 ^B			

Fonte: Autor (2024).

A cocção reduziu significativa o teor desse fator antinutricional em todos os genótipos avaliados. O teor de ácido fítico no grão cru variou de 942,67 mg 100 g⁻¹ (BRS Tumucumaque) a 1355,67 mg 100 g⁻¹ (BR 2-Bragança) e, nos grãos cozidos, de 772,00 mg 100 g⁻¹ (BRS Exuberante) a 1132,00 mg 100 g⁻¹ (BR 2-Bragança).

Esses teores foram superiores àqueles observados por Avanza *et al.* (2013), que estudaram quatro variedades de feijão-caupi e observaram teores de 370, 510, 360 e 420 mg 100 g⁻¹ nos grãos crus, e de 280, 340, 320 e 250 mg 100 g⁻¹, nos grãos cozidos, no entanto, com 20 minutos de cozimento.

Observou-se uma redução significativa ($p < 0,05$) no teor de ácido fítico após o cozimento. Os genótipos com menor teor de ácido fítico foram BRS Exuberante (722 mg 100 g⁻¹), BRS Tumucumaque (760 mg 100 g⁻¹), BRS Olhonegro (820 mg 100 g⁻¹) e BRS Imponente (845 mg 100 g⁻¹), que apresentaram percentual de redução após o cozimento de 30,64; 19,37; 13,07; e 26,56%, respectivamente. Avanza *et al.* (2013), constataram que o cozimento reduziu de 35% a 50% o teor de ácido fítico, valores superiores aos obtidos no presente estudo (10 a 30%).

Outros estudos avaliaram o teor de ácido fítico no grão cru de feijão-caupi e observaram as seguintes variações para esse composto: 963-1227 mg 100 g⁻¹ (De Paula *et al.*, 2018), 676,0-1.222,0 mg 100 g⁻¹ (Gonçalves *et al.*, 2020) e 894-1.016,00 mg 100 g⁻¹ (Oliveira *et al.*, 2023), também inferiores aos observados no presente estudo.

Observou-se neste estudo que os genótipos da classe comercial branco, subclasses branco-liso e fradinho, apresentaram menor teor de ácido fítico. Já as maiores reduções

no teor de ácido fítico, após o cozimento, foram observadas nas classes branco, subclasse branco rugoso, e na classe cores, subclasse sempre-verde.

3.4 QUALIDADE DE COZIMENTO

Observou-se diferença significativa ($p<0,05$) entre os genótipos para a porcentagem de grãos cozidos (PGC) (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem de grãos cozidos (PGC) e Índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) de 10 genótipos de feijão-caupi. Teresina, Piauí, Brasil, 2024.

Genótipo	PGC (%)	IQNC
BRS Tumucumaque	94,67 ± 0,58 ^b	21,547
Pretinho	91,33 ± 1,15 ^b	11,436
IT97KD-1042	83,33 ± 1,15 ^c	6,387
BR 2-Bragança	100,00± 0,00 ^a	11,772
BRS Verdejante	93,33 ± 0,58 ^b	16,104
BRS Inhuma	71,33 ± 1,16 ^d	-37,563
BRS Exuberante	66,00 ± 1,15 ^c	-30,690
MNC11-1019E-15	71,33± 1,00 ^d	-35,062
BRS Imponente	100,00± 0,00 ^a	21,628
BRS Olhonegro	98,67 ± 0,58 ^a	19,507
Média Geral	87,00	

Média de três repetições ± desvio-padrão. Agrupamento de médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$).
Fonte: Autor (2024).

Os genótipos foram discriminados em cinco grupos (a, b, c, d, e, f), em que o grupo “a” reuniu os genótipos com maior PGC (BR 2-Bragança, BRS Imponente e BRS Olhonegro); os grupos “b” (BRS Tumucumaque, BRS Verdejante e Pretinho), “c” (IT97KD-1042), “d” (MNC11-1019E-15 e BRS Inhuma), contemplou os genótipos com PGC intermediário; e o grupo “e” (BRS Exuberante), que apresentou a menor PGC.

Os genótipos apresentaram variação para a PGC de 66 % (BRS Exuberante) a 100% (BR 2-Bragança e BRS Imponente), com média geral de 87%. Para a determinação da PCG, considera-se o mínimo de 52%, o que corresponde a 13 de 25 perfurações de acordo com o Método de Mattson (1946). No presente estudo, todos os genótipos avaliados apresentaram PGC superior a esse valor, indicando que todos apresentaram excelente qualidade de cozimento.

De acordo com Freitas *et al.* (2022), linhagens com alto percentual de grãos cozidos são promissoras para o desenvolvimento de novas cultivares de feijão-caupi com alta qualidade culinária. Luz (2023), ao avaliar 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, e Oliveira *et al.* (2023), ao estudar três cultivares de feijão-caupi de várias classes comerciais, observaram médias gerais de 71,07% e 75,98%, respectivamente. Freitas *et al.* (2022), ao avaliarem 100 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, observaram variação para o PGC de 20 a 98% e média geral de 68,7%. Em um estudo de Barros (2019) com 24 genótipos de feijão-caupi de diferentes classes comerciais, encontraram PGC inferior a 52%, com média geral de 63,21%. A média geral da PGC observada no presente trabalho (87%) foi superior às médias gerais encontradas nos trabalhos acima que os genótipos.

Freitas *et al.* (2022) sugerem que, considerando a metodologia utilizada (Carvalho *et al.* (2017), com adaptações de Barros (2019), na qual todos os grãos passaram por um tempo fixo de cozimento de 30 minutos, é possível que algumas amostras tenham ficado mais cozidas que outras, de forma que os grãos dos genótipos que apresentaram maior percentual de cozimento, provavelmente apresentam tempo de cozimento inferior a 30 minutos.

Além disso, de acordo com Wainaina *et al.* (2021), o tempo de cozimento do feijão é influenciado por fatores genéticos, ambientais, de pré-processamento e processamento, e 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 comerciais, como espessura e composição do tegumento da semente, bem como a composição do cotilédono. Observou-se neste estudo que os genótipos da classe comercial branco, subclasses branco rugoso e branco liso; preto; verde e manteiga, apresentaram melhor qualidade de cozimento, com PGC > 90%.

3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE NUTRICIONAL E DE COZIMENTO (IQNC)

As estimativas do índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC) dos genótipos de feijão-caupi variaram de -37,56 a 21,63 (Tabela 4). Esse índice foi utilizado nesse estudo para selecionar os genótipos que apresentam simultaneamente altos teores de proteínas, Fe, Zn e Se, alta porcentagem de grãos cozidos e baixos teores de ácido, de forma a ser possível melhorar o aproveitamento das proteínas e minerais contidos nos grãos dessa leguminosa.

Nesse contexto, destacaram-se com altos valores de IQNC, as cultivares BRS Imponente (21,63), BRS Tumucumaque (21,55) e BRS Olhonegro (19,51), indicando que, dentre os 10 genótipos avaliados, foram os que apresentaram melhor qualidade nutricional e de cozimento. Ressalta-se ainda que apenas os genótipos BRS Exuberante (-13,947), MNC11-1019E-15 e BRS Inhuma (-22,904) apresentaram um valor negativo para o IQNC, sugerindo que estes, dentre os 10 genótipos, não conseguiram reunir simultaneamente os atributos de altos teores de proteínas, ferro, zinco, selênio, alta PGC e baixo ácido fítico.

Luz (2023) e Freitas *et al.* (2022), determinaram o IQNC de 15 genótipos de feijão-caupi da classe comercial Preto e 100 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, respectivamente. O uso desse índice possibilitou a identificação de genótipos com perfil nutricional otimizado para ferro, zinco e proteínas. Diferindo do presente estudo, esses autores não avaliaram o teor de selênio e o fator antinutricional ácido fítico como atributos no cálculo do IQNC.

Freitas *et al.* (2022), afirmam que os genótipos selecionados pelo IQNC, por terem melhor perfil nutricional e de cozimento, podem ser utilizados no combate à desnutrição em populações com deficiência de ferro e zinco, como intervenção complementar à fortificação alimentar e à suplementação medicamentosa.

As maiores estimativas do IQNC foram observadas nos genótipos da classe comercial branco, subclasses branco liso, branco rugoso e fradinho. Considerando que dentre os genótipos que se destacaram no estudo de Freitas *et al.* (2022), está a cultivar BRS Tumucumaque, ressalta-se que a mesma, juntamente com as cultivares BRS Imponente e BRS olhonegro, as quais tiveram maior destaque quanto ao IQNC, podem ser utilizadas nas estratégias de combate à desnutrição e deficiência de ferro, zinco e selênio, com vantagens adicionais devido à alta qualidade de cozimento e baixo teor de ácido fítico.

4 CONCLUSÃO

Os genótipos de feijão-caupi avaliados neste estudo apresentam teores satisfatórios de proteínas, carboidratos, valor energético total, ferro, zinco e selênio. Dentre os minerais, o zinco apresenta teor mais elevado no grão cozido. A qualidade de cozimento é considerada de boa a excelente para todos os genótipos avaliados. Dentre os genótipos avaliados, as cultivares BRS Tumucumaque (classe comercial branco, subclasse branco liso), BRS Imponente (classe comercial branco, subclasse branco

rugoso) e BRS Olhonegro (classe comercial branco, subclasse fradinho) apresentam grãos com melhor qualidade nutricional e de cozimento. Para os genótipos avaliados, o cozimento reduz o teor de ácido fítico de forma significativa, especialmente nas cultivares BRS Exuberante, BRS Tumucumaque, BRS Olhonegro e BRS Imponente. Essas cultivares podem ser utilizadas em programas que visem o combate à desnutrição e ratificam o valor nutritivo do feijão-caupi e o aporte de qualidade que pode possibilitar quando inserido em uma alimentação equilibrada.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Piauí (UFPI) e Embrapa Meio-Norte (projeto: 20.22.01.011.00.00), pelo suporte na condução das análises laboratoriais e auxílio financeiro; e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado concedida (Processos: 88887.675938/2022-00 e 88887.852022/2023-00).

REFERÊNCIAS

ADDY S. N. T. T.; ASANTE I. K.; ADU-DAPAAH H.; OFFEI S. K.; CICHY K. A.; WIESINGER J. “Breeding fast cooking cowpeas for increased utilization and improved nutrition in sub-Saharan Africa”. In: ***Proceedings of the Pan-African Grain Legume & World Cowpea Conference. International Year of Pulses***, Livingstone. 2016.

ADDY, S. N. T. T.; SICHY, K. A.; ADU-DAPAAH, H.; ASANTE, I. K.; EMMANUEL, A.; OFFEI, S. K. Genetic studies on the inheritance of storage-induced cooking time in cowpeas [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 144, p. 1-9, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR – ABEAS. **Módulo 9 – Análises químicas, físicas e microbiológicas de sucos e polpas tropicais**. Brasília: ABEAS, 1998. 124 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International, 2012.

AVANZA, M.; ACEVEDO, B.; CHAVES, M.; AÑÓN, M. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: principal component analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, p.148-157, 2013.

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. 80 f. Dissertação (Mestrado) – 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) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: Revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; 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.

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.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº. 269, de 22 de setembro de 2005**. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre ingestão diária recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas e minerais. Diário Oficial da União de 2 de setembro de 2005.

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. F. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.

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.

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. 4, n. 30, p. 1050-1058, 2017.

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

DE-PAULA, C. D.; JARMA-ARROYO, S.; ARAMENDIZ-TATIS, H. Caracterización nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional del frijol caupí. **Agronomía Mesoamericana**, v. 29, n. 1, p. 29-40, 2018.

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.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi na Embrapa Meio-Norte: melhoramento, cultivares lançadas, genealogias e base genética**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 1039 p.

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. S.; 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, n. 9, p. 2941-2951, 2016.

GONÇALVES, F. V.; MEDICI, L. O.; FONSECA, M. P. S; PIMENTEL, C.; GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A. Protein, phytate and minerals in grains of commercial cowpea genotypes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, suppl.1, 2020.

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.

LUZ, M. S. **Qualidade nutricional e tecnológica de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) de grãos pretos antes e pós-cozimento**. 2023. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2023.

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloid chemical and biochemical study. **Acta Agriculturae Suecana**, v. 2, p. 85-190, 1946.

MARTINS, M. P. S. C.; LOPES, A. F. S.; JEAN, A.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MARTINS, M. C. C.; ROCHA, M. M. Characterization of cowpea cultivars for grain size, color, and biofortification. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 1, p. 207-214, 2023.

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

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.

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

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, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. Carboidratos. In: **Química dos alimentos**. Instituto de Mauá de Tecnologia. 2ª Ed. São Paulo: Editora Blucher. Cap.05, p.33-45. 2007.

RIOS, M. J. B. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. S.; FIGUEIREDO, E.A.T.; ROCHA, M. M.; HASHIMOTO, J. M. 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. Importância econômica. In: **Cultivo de Feijão-Caupi**. Sistemas de Produção EMBRAPA, Versão Eletrônica, 2ª ed. Março de 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071700/1/SistemaProducaoCaupiCapituloImportanciaEconomica.pdf>>. Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

SAS - Statistical Analysis System. **SAS/Stat Software**. v. 12.1. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2012.

SILVA, V. M.; NARDELLI, A. J.; MENDES, N. A. C.; THOMAS D. ALCOCK, T. D.; ROCHA, M. M.; PUTTI, F. F.; WILSON, L.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; REIS, A. R. Application of sodium selenate to cowpea (*Vigna unguiculata* L.) increases shoot and grain Se partitioning with strong genotypic interactions. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 67, p. 1-12, 2021.

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**, v. 20, p. 1-29, 2021.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington, DC: Consumer and Food Economics Research Division / Agricultural Research Service, 198 (Agriculture Handbook, 8), 1963.

CAPÍTULO 2

Compostos bioativos e atividade antioxidante em grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi

Resumo

A composição química do feijão-caupi varia consideravelmente conforme a cultivar e os compostos bioativos e fibras alimentares presentes nessa leguminosa possuem efeitos benéficos à saúde humana. Nesse contexto, este estudo teve o objetivo de determinar os teores de fibras alimentares totais e ácidos fenólicos totais e a atividade antioxidante dos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi. O estudo foi realizado com as cultivares de feijão-caupi da classe comercial branco, BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. O teor de fibras alimentares totais foi determinado de forma indireta, a partir da determinação do amido e o teor de fenólicos totais, pelo método de Folin-Ciocalteu e atividade antioxidante, pelo método de DPPH. O teor de fibras alimentares totais variou de 12,02 a 26,57 g 100g⁻¹ no grão cru, e de 21,60 a 27,31 g 100g⁻¹ no grão cozido. O teor de fenólicos totais variou de 137,9 a 253,85 mg GAE 100 g⁻¹ no grão cru, e de 65,8 a 69,70 mg GAE 100 g⁻¹ no grão cozido. A atividade antioxidante apresentou variação de 285,81 a 321,62 µmol TEAC 100 g⁻¹ no grão cru, e de 25,56 a 87,54 µmol TEAC 100 g⁻¹ no grão cozido. Apesar do processamento térmico ter reduzido o teor de compostos bioativos e a atividade antioxidante, ainda assim, destacaram-se as cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque e BRS Olhonegro, apresentando grãos com valor funcional importante, que podem fornecer compostos bioativos em quantidades satisfatórias e promover saúde ao consumidor.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata*, compostos bioativos, capacidade antioxidante, cocção.

Bioactive compounds and antioxidant activity in raw and cooked grains of cowpea cultivars

Abstract

The chemical composition of cowpea varies considerably depending on the cultivar and the bioactive compounds and dietary fiber present in this legume have beneficial effects on human health. In this context, this study aimed to determine the total dietary fiber, total

phenolic acids, and the antioxidant activity of raw and cooked grains of cowpea cultivars. The study was carried out with raw and cooked grains from the white commercial class cowpea cultivars, BRS Tumucumaque, BRS Imponente, and BRS Olhonegro. The total dietary fiber content was determined indirectly, from the determination of starch and the total phenolic content, by the Folin-Ciocalteu method and antioxidant activity, by the DPPH method. The total dietary fiber content ranged from 12.02 to 26.57 g 100g⁻¹ in raw grain, and from 21.60 to 27.31 g 100g⁻¹ in cooked grain. The total phenolic content ranged from 137.9 to 253.85 mg GAE 100 g⁻¹ in the raw grain, and from 65.8 to 65.8 mg GAE 100 g⁻¹ in the cooked grain. The antioxidant activity varied from 285.81 to 321.62 µmol TEAC 100 g⁻¹ in raw grain, and from 25.56 to 87.54 µmol TEAC 100 g⁻¹ in cooked grain. Although thermal processing reduced the bioactive compounds content and antioxidant activity, the cowpea cultivars BRS Tumucumaque and BRS Olhonegro highlighted, presenting grains with important functional value, which can provide bioactive compounds in satisfactory quantities and promote consumer health.

Keywords: *Vigna unguiculata*, bioactive compounds, antioxidant capacity, cooking.

Introdução

As leguminosas são grãos com importantes propriedades nutricionais, sendo fontes de proteínas, minerais e vitaminas, e ainda compostos bioativos, como as fibras alimentares (Ros; Hu, 2013). Estudos com feijão demonstram que além do seu valor nutricional, são encontradas significativas quantidades de fenólicos (Madhujith; Shahidi, 2005), sendo as principais categorias destes, presentes nas sementes de leguminosas, em especial no feijão-caupi, os ácidos fenólicos e flavonoides. A quantidade desses compostos fenólicos além de suas propriedades funcionais pode variar a depender da cultivar e do processamento térmico a que essa cultivar for submetida (Barros *et al.*, 2017; Cavalcante *et al.*, 2017; Sombié *et al.*, 2018).

Os compostos fenólicos nas plantas são vistos como poderosos antioxidantes devido à sua capacidade de doar hidrogênio ou elétrons e formar intermediários radicais estáveis (Scalbert *et al.*, 2005). Além de apresentarem atividade antioxidante, possuem outras ações biológicas que auxiliam no tratamento e/ou prevenção de patologias. Dados epidemiológicos atribuem os efeitos preventivos desses compostos bioativos em doenças neurodegenerativas, doenças cardiovasculares e câncer (Arts; Hollman, 2005; Cole *et al.*, 2005).

As fibras alimentares, possuem propriedades físico-químicas que produzem diferentes efeitos fisiológicos no organismo. As fibras solúveis são responsáveis, por exemplo, pelo aumento da viscosidade do conteúdo intestinal e redução do colesterol plasmático. Já a fração insolúvel, aumenta o volume do bolo fecal, reduz o tempo de trânsito no intestino grosso, e tornam a eliminação fecal mais fácil e rápida (Cavalcante, 2023). Segundo a Who (2003), a recomendação diária para o consumo de fibras alimentares é de 25 g/dia para adultos.

Nas recomendações propostas pelo *Institute of Medicine-US, Dietary Reference Intakes* (DRIs) a AI (Ingestão Adequada) para homens de 19 a 50 anos é de 38 e de 30 g/dia quando acima dos 50 anos. Para as mulheres, a recomendação diária é 25 g para a faixa etária de 19 a 50 anos e 21 g para mulheres acima dos 50 anos em uma dieta de 2.000 kcal (IOM, 2005).

Assim como os polifenóis, as fibras alimentares, presentes nas leguminosas como o feijão-caupi, contribuem para o controle e/ou prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), e ainda para o bom funcionamento gastrointestinal. De acordo com Bernaud e Rodrigues (2013), o consumo adequado de fibras em uma dieta habitual diminui o risco de desenvolvimento de algumas patologias como a doença arterial coronariana, acidente vascular cerebral, hipertensão arterial, diabetes mellitus (DM), além de alguns distúrbios gastrointestinais.

A composição química e teor nutricional do feijão-caupi variam consideravelmente conforme a cultivar e os compostos bioativos presentes em seu grão possuem efeitos benéficos à saúde humana (Sombié *et al.*, 2018). Nesse contexto, este estudo teve o objetivo de determinar o teor de fibra alimentar, fenólicos totais e a atividade antioxidante nos grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro.

Materiais e Métodos

Obtenção e preparo das amostras

O estudo foi realizado com grãos crus e cozidos de três cultivares de feijão-caupi da classe comercial branco, BRS Tumucumaque (subclasse branco liso), BRS Imponente (subclasse branco rugoso) e BRS Olhonegro (subclasse fradinho), oriundos da Coleção de Trabalho do Melhorista do Programa de Melhoramento Genético de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte em Teresina/PI

Inicialmente os grãos crus dos genótipos de feijão-caupi foram selecionados e lavados com água destilada. Os grãos separados para a cocção, foram acondicionados em sacos de organza, identificados conforme o genótipo e o número da repetição, e cada um foi hidratado separadamente por 60 minutos em água destilada com volume correspondente a 1/5 da capacidade da panela elétrica utilizada para a cocção (modelo PCE20 5 Litros). Após 30 minutos de cocção, os grãos foram colocados em superfície lisa para resfriamento e o caldo resultante foi desprezado. Os grãos crus assim como os cozidos, foram submetidos a secagem a 60 °C por 48 h em estufa de circulação de ar (Nova Ética®, modelo 410/3ND) e moídos (≤ 200 mesh) em um moinho de bolas de zircônio (Retsch®, modelo MM200) para obtenção de farinhas que foram utilizadas para a determinação da digestibilidade proteica *in vitro*. Os resultados foram expressos em base seca considerando as médias das três repetições.

Fibra alimentar

O teor de fibras alimentares totais (FAT) foi determinado de forma indireta, de acordo com a seguinte fórmula: $FAT = [100 - (Umidade + Cinzas + Proteínas + Lipídios + Carboidrato digerível (amido))]$ em apresentados em $g\ 100g^{-1}$.

A composição centesimal (Umidade, Cinzas, Proteínas e Lipídios) e o teor de amido, foram determinados, previamente, conforme a metodologia descrita pela AOAC (2012) e o método ISI 27-1e (ISI,1999), respectivamente.

Obtenção dos extratos

Os extratos foram obtidos de acordo com a metodologia proposta por Rufino *et al.* (2007). O solvente utilizado para extração dos compostos bioativos foi a Acetona 80%, este foi selecionado após testes prévios com três extratos: metanol 50% /acetona 70%; metanol 80% e acetona 80%. Foram pesados 3 g das amostras em tubos para centrífuga (50 mL) e os compostos bioativos foram extraídos com 8 mL de acetona a 80 % por 60 min em ultrassom (Ultra Cleaner 1600A), por 30 minutos a 24°C. Os tubos foram centrifugados (Centrífuga 5702) a 4000 rpm durante 15 minutos e o sobrenadante foi recolhido em um balão volumétrico (10 mL) e completado o volume com água ultrapura.

Fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado de acordo com o método de Folin-Ciocateau (Singleton; Rossi, 1965), usando o extrato da farinha de feijão-caupi obtido com acetona 80%. A leitura da absorbância foi medida em 765 nm usando-se um espectrofotômetro UV-VIS (BEL 1102, Monza, Milão, Itália), e a quantificação de fenólicos foi realizada pela interpolação a uma curva padrão de ácido gálico e os valores foram expressos em miligramas (mg) de ácido gálico equivalente (GAE) por 100g de amostra.

Atividade antioxidante

O mesmo extrato utilizado para a obtenção do teor dos polifenóis totais foi utilizado para a determinação da atividade antioxidante *in vitro* pelo método de DPPH, no qual o efeito sequestrador de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) das amostras foi medido conforme descrito por Brand-Williams, Cuverlier e Berset (1995).

O DPPH foi dissolvido em metanol puro para uma concentração de 0,1 mM. Essa solução dissolvida em 1:100 com metanol 80% (v/v), ajustando a absorbância inicial em 515 nm para aproximadamente 0,800 nm. Em seguida, 2,9 mL de solução DPPH foi lida (A0) e adicionada de uma alíquota de 100 µL do extrato. A mistura incubada a temperatura ambiente ao abrigo da luz por 30 min, seguida de nova medida da absorbância (A30). Um teste branco com 2,9 mL DPPH e 100 µL do solvente foi conduzido paralelamente. O poder de sequestro de radicais é calculado pela fórmula: % = $[1 - (A30 - B)/A0] \times 100$, onde uma curva padrão preparada com ácido ascórbico (0-100 mg L⁻¹) foi utilizada como referência. Os resultados, foram expressos em mg de equivalentes a ácido ascórbico (mg EAA).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias entre os grãos cru e cozido, por genótipo, foram comparadas pelo Teste *t* de Student ($p < 0,05$), enquanto as médias entre cultivares no grão cru e no grão cozido foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), ambos as análises utilizando o programa computacional SAS (SAS Institute, 2011). Os resultados foram apresentados em tabelas na forma de média±desvio-padrão.

Resultados e Discussão

Fibra alimentar

As cultivares de feijão-caupi avaliadas nesse estudo apresentaram média geral para o teor de fibras alimentares totais (FAT) de 21 g 100g⁻¹ no grão cru, e de 24 g 100g⁻¹ no grão cozido. Observou-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias das cultivares e entre médias dos grãos cru e cozido (Tabela 1).

A cultivar BRS Olhonegro destacou-se das demais, apresentando os maiores teores de FAT, tanto no grão cru (26,57 g 100g⁻¹), quanto no grão cozido (27,31 g 100g⁻¹). Esses teores são superiores aos encontrados em outros estudos com genótipos de feijão-caupi, exceto em relação ao teor de FAT no grão cru da cultivar BRS Imponente.

Tabela 1. Teor de fibras alimentares totais dos grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. Teresina, Piauí, 2024.

Genótipo	Fibra alimentar total (g 100 g ⁻¹)	
	Cru	Cozido
BRS Tumucumaque	25,41±0,37 ^{bA}	21,60±0,32 ^{cB}
BRS Imponente	12,02±0,22 ^{cB}	23,64±0,31 ^{bA}
BRS Olhonegro	26,57±0,35 ^{aB}	27,31±0,38 ^{aA}
Média geral	21,33 ^B	24,18 ^A

Os dados estão apresentados como média de três repetições $\pm$ desvio-padrão. Médias com letras maiúsculas iguais na mesma linha e médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelos testes *t* de Student ($p < 0,05$) e teste de Tukey ($P < 0,05$), respectivamente.

O arroz e o feijão são dois dos alimentos que mais apresentam contribuição de fibras alimentares para o brasileiro (Cruz et al., 2021). As fibras são componentes importantes para a dieta, e os resultados acima demonstram que o grão de feijão-caupi se constitui em uma boa alternativa de consumo de fibras alimentares.

O teor de FAT no grão cru da cultivar BRS Tumucumaque (25,41 g 100g⁻¹), diferentemente das outras duas cultivares, diminuiu após a cocção no grão cozido (21,60 g 100g⁻¹), em torno de 15%. Kutos et al. (2003) também reportaram uma pequena redução no teor de FAT em cultivares de feijão do tipo Pinto.

A cultivar BRS Imponente apresentou o menor teor de FAT no grão cru (12,02 g 100g⁻¹), porém, após a cocção, no grão cozido (23,64 g 100g⁻¹) verificou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) de 96,67%. Tem sido proposto que a formação de amido resistente e produtos das reações de *Maillard* junto com produtos da complexação de proteínas com outros componentes como ligninas, cutinas, polissacarídeos e taninos possam contribuir

com o aumento do teor de FAT. Fatores físicos do grão como tamanho e aspectos do tegumento e cotilédone podem favorecer ou dificultar essas reações. Além disso, a secagem dos grãos a 60 °C/48 h após o cozimento pode ter favorecido também a formação de amido resistente.

Vários estudos avaliaram o teor de FAT em genótipos de feijão-caupi, no entanto, no grão cru. Frota *et al.* (2008), avaliaram o teor de FAT na cultivar de feijão-caupi BRS Milênio e verificaram um teor de 19,4%. Pereira (2013) avaliou os teores de FAT de 30 genótipos de feijão-caupi, cuja média geral foi de 17,8 g 100g⁻¹, com variação de 14,06 a 21,11 g 100g⁻¹. No estudo conduzido por Oliveira *et al.* (2023) com as cultivares de feijão-caupi BRS Aracê, BRS Inhumã e BRS Xiquexique, os autores observaram teores de FAT de 16,14 a 17,06 g 100g⁻¹. Ainda em feijão-caupi, Freitas (2020) determinou o teor de FAT de quatro genótipos e observaram teores variando de 15,43 a 20,16 g 100g⁻¹. Os teores de FAT observados acima são inferiores aos observados no presente estudo.

Segundo o USDA (2021) e Afriffah, Phillips e Salia (2022), os teores médios de fibra alimentar total em feijão-caupi no grão cru e cozido são de 10,6 e 6,5 g 100g⁻¹, respectivamente. Observa-se uma perda nos teores de fibra alimentar total, após a cocção, de 38,68%. No presente estudo, através do método indireto de determinação de fibras, verificou-se um aumento no teor de FAT na maioria das cultivares.

Fenólicos totais

As médias dos teores de fenólicos totais e atividade antioxidantes observadas nos grãos cru e cozido das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro são mostradas na Tabela 2. Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias das cultivares para o teor de compostos fenólicos totais, tanto no grão cru, quanto no grão cozido. A cultivar BRS Olhonegro apresentou o maior teor de fenólicos totais no grão cru, no entanto, no grão cozido, as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Imponente diferiram significativamente ($p < 0,5$) e foram maiores que na cultivar BRS Olhonegro.

Tabela 2. Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante dos grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. Teresina, Piauí, 2024.

Genótipo	Fenólicos Totais (mg GAE* 100 g ⁻¹)		Atividade antioxidante (μmol TEAC** 100 g ⁻¹)	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido
BRS Tumucumaque	149,70±1,80 ^{ba}	69,31± 0,32 ^{ab}	285,81±1,74 ^{ba}	70,12± 0,72 ^{bb}
BRS Imponente	137,90±0,90 ^{ca}	69,70±0,33 ^{ab}	321,62±0,04 ^{aa}	87,54±0,42 ^{ab}
BRS Olhonegro	253,85±1,91 ^{aa}	65,80±0,17 ^{bb}	318,58±2,86 ^{aa}	25,56±0,50 ^{cb}
Média geral	180,52 ^A	68,28 ^B	308,60 ^A	61,07 ^B

*Equivalentes de Ácido Gálico (GAE). ** Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC).

Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão. Médias com letras maiúsculas iguais na mesma linha e médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelos testes *t* de Student ($p<0,05$) e teste de Tukey ($P<0,05$), respectivamente.

Marathe *et al.* (2011) avaliaram 30 leguminosas na Índia quanto ao teor de fenólicos totais, dentre elas os feijões caupi e comum, e classificaram os teores desse composto em: baixo (<100 mg GAE 100 g⁻¹), moderado (> 100 e < 200 mg GAE 100 g⁻¹) e alto (> 200 mg GAE 100 g⁻¹). Considerando essa classificação, os grãos crus das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque (149,7 mg GAE 100 g⁻¹) e BRS Imponente (137,9 mg GAE 100 g⁻¹) apresentaram teor moderado e a BRS Olhonegro (253,85 mg GAE 100 g⁻¹), alto teor de fenólicos totais.

Estudos realizados no grão cru das cultivares de feijão-caupi BRS Xiquexique (Moreira-Araújo *et al.*, 2018), Pingo de Ouro 1-2 e BRS Tumucumaque (Moreira-Araújo *et al.*, 2017), verificaram teores de fenólicos totais de 199,05 mg GAE 100 g⁻¹, 437 mg GAE 100 g⁻¹ e 177 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Esses teores são maiores do que os verificados no presente estudo no grão cru das cultivares BRS Tumucumaque e BRS Imponente, já o teor quantificado na cultivar BRS Olhonegro é inferior ao observado na linhagem Pingo de Ouro-1-2, mas superior aos das cultivares BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque.

O teor de compostos fenólicos em leguminosas pode sofrer influência por diversos fatores, como os genéticos e ambientais, assim como fatores inerentes às condições de extração desses compostos, como o tipo de solvente utilizado (Moreira-Araújo *et al.*, 2018). Isso explica as diferenças entre os teores desses compostos verificadas neste trabalho e os observados em outros estudos.

A cocção reduziu significativamente ($p<0,05$) o teor de fenólicos totais das três cultivares de feijão-caupi avaliadas (Tabela 1). Resultado semelhante foi observado no estudo de Cavalcante *et al.* (2017) ao avaliarem os grãos das cultivares de feijão-caupi BRS Maratã (grão cru: 295,2 mg GAE 100 g⁻¹; grão cozido: 131,6 mg GAE 100 g⁻¹); BR 17-Gurguéia (grão cru: 255,7 mg GAE 100 g⁻¹; grão cozido: 91,7 mg GAE 100 g⁻¹); BRS Itaim (grão cru: 132,3 mg GAE 100 g⁻¹; grão cozido: 66,5 mg GAE 100 g⁻¹); BRS

Cauamé (grão cru: 98,1 mg GAE 100 g⁻¹; grão cozido: 55 mg GAE 100 g⁻¹); BRS Guariba (grão cru; 89,4 mg GAE 100 g⁻¹; 49 mg GAE 100 g⁻¹), respectivamente, que como observado, teve o teor de fenólicos totais reduzido após processo de cocção.

Os teores de fenólicos totais observados no presente estudo são superiores aos obtidos por Viera, Bezerra e Santos (2021), que ao avaliarem oito cultivares de feijão-caupi, antes e após o cozimento, assim como em seus respectivos caldos, observaram variação de 44,19 a 87,74 mg 100g⁻¹ no grão cru e de 26,05 a 46,29 mg 100g⁻¹ no grão cozido, evidenciando também uma redução destes compostos após o cozimento.

Barros *et al.* (2021), avaliaram os teores de polifenóis nos grãos cru e cozido das cultivares de feijão-caupi BRS Aracê e BRS Tumucumaque, e observaram redução no teor de fenólicos totais após a cocção. Esses autores, observaram teores de fenólicos totais na cultivar BRS Tumucumaque de 297,23 mg GAE 100 g⁻¹ no grão cru e de 167,97 mg GAE 100 g⁻¹ no grão cozido, valores esses, maiores aos verificados para essa cultivar no presente estudo. No estudo de Barros *et al.* (2017), essas duas cultivares, juntamente com as cultivares BRS Milênio e BRS Xiquexique, também apresentaram redução nos teores de polifenóis após a cocção.

Apesar da redução dos compostos bioativos após a cocção, como os fenólicos no feijão-caupi, ainda é possível recomendar sua ingestão como fonte desses compostos, considerando os benefícios do mesmo para a saúde. Cavalcante *et al.* (2017) e Barros *et al.* (2017) sugerem que o feijão-caupi seja consumido preferencialmente em preparações que utilizem o caldo do cozimento, pois mesmo com a redução desses compostos após o cozimento, a soma dos teores obtidos nos grãos cozidos das cultivares e respectivos caldos de cocção são significativos. Além disso, os flavonoides estão em maior quantidade nos grãos e caldos de cozimento e são um dos principais responsáveis pela atividade antioxidante.

Atividade antioxidante

Observou-se diferença significativa ($p < 0,5$) para a atividade antioxidante entre as cultivares de feijão-caupi avaliadas, tanto no grão cru, quanto no grão cozido. As cultivares BRS Imponente (321,62 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$) e BRS Olhonegro (318,58 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$) apresentaram atividade antioxidante maior que a BRS Tumucumaque (285,81 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$) no grão cru, já a cultivar BRS Imponente diferiu significativamente ($p < 0,05$) das demais cultivares, apresentando a maior atividade antioxidante (87,54 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$) no grão cozido.

Os antioxidantes são substâncias químicas (orgânicas e inorgânicas) que estão presentes em quantidades consideravelmente baixas nos alimentos e podem inibir, interromper ou controlar a oxidação de um substrato, consequentemente evitando a deterioração e prolongando a vida útil dos alimentos (Zeb, 2020). A atividade antioxidante do grão cru do feijão-caupi está relacionada aos vários compostos presentes nessa leguminosa, incluindo compostos fenólicos, e pode estar associada também ao ácido fítico, outro antioxidante presente no grão cru (Silva; Bracarense, 2016).

Os valores de atividade antioxidante observados neste estudo são inferiores aos verificados em outros estudos com genótipos de feijão-caupi (Barros *et al.*, 2017; Cavalcante *et al.*, 2017; Moreira-Araújo *et al.*, 2017; Moreira-Araújo *et al.*, 2018), que observaram valores de atividade antioxidante pelo método DPPH variando de 362,90 a 2.586,30 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$ no grão cru, e de 130,70 a 917,40 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$ no grão cozido.

A baixa atividade antioxidante observada nas cultivares avaliadas neste estudo, quando comparada com os valores verificados nos trabalhos de Barros *et al.* (2017); Cavalcante *et al.* (2017); Moreira-Araújo *et al.* (2017); Moreira-Araújo *et al.* (2018), pode ser devido à cor do tegumento e os compostos bioativos presentes no grão.

As cultivares avaliadas no presente estudo pertencem à classe comercial branco, enquanto as cultivares que apresentaram os maiores valores de atividade antioxidante nos trabalhos acima, na grande maioria, pertencem à classe comercial cores, principalmente de tegumento marrom ou verde. Essa maior atividade antioxidante pode estar relacionada com a presença de pigmentos, tais como antocianinas, no tegumento do grão, que se encontram ausentes nas cultivares da classe comercial branco.

Segundo Akond *et al.* (2011), existe uma relação direta entre a cor do tegumento do feijão e a quantidade de antocianinas. Além disso, a cor e o teor de compostos bioativos presentes no cotilédone do grão, também pode influenciar na atividade antioxidante, o que explicaria a alta atividade antioxidante da cultivar BRS Olhonegro observada no presente estudo, relativamente às outras duas cultivares, também da classe branco, já que esta cultivar apresenta o grão apresentando cotilédone de cor marrom-avermelhada.

Observou-se que a atividade antioxidante reduziu significativamente ($p < 0,05$), após a cocção, nas três cultivares avaliadas. Essa redução da atividade antioxidante no grão cozido está em consonância com os resultados observados por Barros *et al.* (2017) e Cavalcante *et al.* (2017) em cultivares de feijão-caupi. Viera, Bezerra e Santos (2021), ao avaliarem os grãos imaturos de oito cultivares de feijão-caupi, também verificaram

redução da atividade antioxidante após a cocção, com valores inferiores aos observados no presente estudo.

A atividade antioxidante presente nos grãos de leguminosas é atribuída, principalmente, à mistura complexa de compostos bioativos, e não apenas a um único composto antioxidante do alimento (Yang *et al.*, 2018). Estes compostos sofrem perdas com processos térmicos de aquecimento, além de migrarem para água do cozimento, o que pode explicar a redução na atividade antioxidante após o cozimento dos genótipos avaliados neste estudo.

Reitera-se a importância do consumo do feijão-caupi, tanto como fonte de compostos bioativos que possuem atividade antioxidante, quanto como aporte de fibras alimentares, o teor médio de fibras alimentares das cultivares estudadas atendem a 63,6 % das DRIs de fibras para homens entre 19 e 50 anos e 96,7% para mulheres na mesma faixa etária. O feijão é um alimento que pode ser categorizado segundo a classificação dos alimentos pelo Guia Alimentar para a População Brasileira (2014), como um alimento minimamente processado, já que necessita passar pela cocção para o consumo. Esses alimentos devem ser a base de uma alimentação saudável.

Conclusão

As cultivares BRS Tumucumaque e BRS Olhonegro constituem-se em melhores fontes de fibras alimentares, comparado com a cultivar BRS Imponente, por apresentarem os maiores teores e estes aumentarem com o cozimento. O grão cru da cultivar BRS Olhonegro destaca-se das demais cultivares avaliadas em compostos fenólicos. O cozimento reduziu o teor de fenólicos totais, conseqüentemente, a atividade antioxidante de todas as cultivares, o que não diminui a importância e contribuição a saúde que esses compostos podem proporcionar.

Referências

AFFRIFAH, N. S.; PHILLIPS, R. D.; SAALIA, F. K. Cowpeas: Nutritional profile, processing methods and products—A review. **Legume Science**, v. 4, e131, 2022.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International, 2012.

ARTS, I. C.; HOLLMAN, P. C. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 317S-325S, 2005.

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. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

BARROS, N. V. A.; ROCHA, M. M.; GLÓRIA, M. B. A.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Effect of cooking on the bioactive compounds and antioxidant activity in grains cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, 2017.

BARROS, N. V. A.; ABREU, B.B.; ROCHA, M.M.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R.S.R. In vitro bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant activity in biofortified cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 1, e20207191, 2021.

BERNAUD, F.; C. RODRIGUES, T. Fibra alimentar - ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo. **Arquivos Brasileiros Endocrinologia Metabologia**, v. 57, n. 6, 397-405, 2013.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

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. 4, n. 30, p. 1050-1058, 2017.

CAVALCANTI, M. L. F. Fibras alimentares. **Revista de Nutrição**, v. 2, n. 1, p. 88-97, 2023.

COLE, G. M.; LIM, G. P.; YANG, F.; TETER, B.; BEGUM, A.; MA, Q.; HARRIS-WHITE, M.E.; FRAUTSCHY, S. A. Prevention of Alzheimer's disease: Omega-3 fatty acid and phenolic antioxidant interventions. **Neurobiology of Aging**, v. 26, p. 133-136, 2005.

CRUZ, G.; MACHADO, P. P.; ANDRADE, G.C.; LOUZADA, M. L. C. Alimentos ultraprocessados e o consumo de fibras alimentares no Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 26, n. 09, 2021.

FREITAS, T. K. T. **Potencial de linhagens de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) para qualidade nutricional e de cozimento do grão**. 2020. 92 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2020

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids**. Washington (DC): National Academy Press; 2005

KUTOS, T.; GOLOB, T.; KAC, M.; PLESTENJAK, A. Dietary fibre content of dry and processed beans. **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 80, n. 2, p. 231-235, 2003.

MADHUJITH, T.; SHAHIDI, P. Antioxidant potential of pea beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, v. 70, n. 1, p. 85-90, 2005.

MARATHE, S. A.; RAJALAKSHMI, V.; JAMDAR, S. N.; SHARMA, A. Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. **Food and Chemical Toxicology**, v. 49, n. 9, p. 2005-2011, 2011.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; SAMPAIO, G. R.; SOARES, R. A. M.; SILVA, C. P.; ARAÚJO, M. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Identification and quantification of phenolic compounds and antioxidant activity in cowpeas of BRS Xiquexique cultivar. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 209- 216, 2018.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; SAMPAIO, G. R.; SOARES, R. A. M.; SILVA, C. P.; ARÊAS, J. A. G. Identification and qualification of antioxidant compounds in cowpea. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 5, p. 799-805, 2017.

NÖRNBERG, M. L.; STORCK, C. R. Potencial nutricional de farinhas de feijão branco e aplicação em produto de panificação. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n. 2, p. 10255-10269, 2022.

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.

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

ROS, E.; HU, F. B. Consumption of plant seeds and cardiovascular health: epidemiological and clinical trial evidence. **Circulation**, v. 128, n. 5, p. 553-565, 2013.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127).

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

SILVA, E.; BRACARENSE, A. Phytic acid: from antinutritional to multiple protection factor of organic systems. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 6, p. 1357-1362, 2016.

SINGLETON, V. I.; ROSSI, J. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid agents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOMBIÉ, P. A. E. D.; COMPAORÉ, M.; COULIBALY, A. Y.; OUÉDRAOGO, J. T.; TIGNÉGRÉ, J. B. S.; KIENDRÉBÉOGO, M. Antioxidant and phytochemical studies of 31 Cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes from Burkina Faso. **Foods**, v. 7, n. 143, p.1-9. 2018.

SCALBERT, A.; MANACH, C.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 4, p. 287-306, 2005.

USDA. (2021). **Food Data Central**. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov>. Acesso em: 11 de jun. 2021.

VIEIRA, M. M. S.; BEZERRA, J. M.; SANTOS, A. F. Avaliação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.)

imaturo cru, cozido e seus caldos de cocção. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e3710716243, 2021.

YANG, Q.-Q.; GAN, R-Y.; GE, Y-Y.; ZHANG, D.; CORKE, H. Polyphenols in Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Chemistry, analysis, and factors affecting composition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 6, p. 1518-1539, 2018.

ZEB, A. Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 9, p. e13394, 2020.

Digestibilidade proteica *in vitro* dos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi

Resumo

O feijão-caupi é uma das principais fontes de proteína das populações de baixa renda do Nordeste do Brasil, com o grão apresentando em média 23% a 25% de proteínas. A baixa digestibilidade proteica pode ser um limitante no uso do feijão-caupi como alimento proteico de alta qualidade. Este estudo teve o objetivo de determinar a digestibilidade de proteínas *in vitro* nos grãos cru e cozido de cultivares de feijão-caupi com alta qualidade nutricional de cozimento (BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro). A digestibilidade das proteínas foi determinada pelo método multienzimático, utilizando uma solução ácida com pepsina e uma solução básica com pancreatina, e posterior determinação do teor de proteínas a partir do sobrenadante resultante após a digestão. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias entre genótipos nos grãos crus e cozidos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as médias entre cru e cozido, pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Os resultados encontrados para a digestibilidade proteica variaram de 79,38 a 82,48% no grão cru e de 77,38 a 83,48 % no grão cozido. A cultivar BRS Imponente apresentou a maior digestibilidade proteica após o cozimento. Os grãos das cultivares avaliadas neste estudo apresentaram no geral alta digestibilidade proteica, além de serem boas fontes de proteínas.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata*, proteínas, digestão *in vitro*, cocção.

In vitro protein digestibility of raw and cooked grains of cowpea cultivars

Abstract

Cowpea is one of the main sources of protein for low-income populations in northeastern Brazil, with the grain containing an average of 23% to 25% protein. Low protein digestibility can be a limitation in the use of cowpea as a high-quality protein food. This study aimed to determine the digestibility of proteins *in vitro* in raw and cooked grains of cowpea cultivars with high nutritional cooking quality (BRS Tumucumaque, BRS Imponente, and BRS Olhonegro). Protein digestibility was determined by the

multienzymatic method, using an acidic solution with pepsin and a basic solution with pancreatin, and subsequent determination of the protein content from the supernatant resulting after digestion. The data were subjected to analysis of variance and the means between genotypes in raw and cooked grains were compared using the Tukey test ($p < 0.05$) and the means between raw and cooked grains were compared using the Student's t test ($p < 0.05$). The results found for protein digestibility ranged from 79.38 to 82.48% in raw grain and from 77.38 to 83.48% in cooked grain. The BRS Imponente cultivar showed the highest protein digestibility after cooking. The grains of the cultivars evaluated in this study generally showed high protein digestibility, in addition to being good sources of protein.

Keywords: *Vigna unguiculata*, proteins, *in vitro* digestion, cooking.

Introdução

O feijão representa a principal fonte de proteína das populações de baixa renda, pois muitas vezes substitui o consumo de carnes, devido ao valor da proteína de origem animal ser muito maior do que o valor do feijão (Ribeiro, 2017), sendo conhecido como “a carne dos pobres” por ser rico nutricionalmente e de baixo custo (Icarda, 2016).

O feijão-caupi possui considerável valor nutritivo, com o grão possuindo em média 23% a 25% de proteínas

. É cultivado especialmente para a produção de grãos, secos ou verdes, e para o consumo humano, *in natura*, na forma de conserva ou desidratado (Rocha, Silva, Menezes Junior, 2017).

O feijão, assim como outras leguminosas, apresenta fatores antinutricionais (Benevides *et al.*, 2011) e a presença desses fatores antinutricionais pode comprometer o aproveitamento dos nutrientes, a digestibilidade de proteínas e inibir a atividade de enzimas (Silva, Lemos e Tavares, 2011).

A digestibilidade proteica dos grãos de leguminosas, geralmente os grãos crus, apresentam maiores teores de compostos antinutricionais em relação aos grãos cozidos (Martín-Cabrejas *et al.*, 2009). A presença de fatores antinutricionais é um dos principais limitantes ao consumo do grão cru de feijão-caupi como alimento humano, já que comprometem a qualidade nutricional da proteína (Brito, 2008).

O uso do feijão-caupi como alimento proteico de alta qualidade e o enriquecimento de alimentos a partir de proteínas oriundas do feijão-caupi tem sido limitado pela baixa

digestibilidade dos grãos, pela deficiência de aminoácidos sulfurados e pela presença de fatores antinutricionais, como inibidores de tripsina, oligossacarídeos e compostos fenólicos (Sreerama *et al.*, 2012; Elhardallou *et al.*, 2015).

Segundo Mendonça (2003), a digestibilidade é um parâmetro nutricional usado para avaliar o aproveitamento de uma fonte proteica. No que diz respeito aos feijões, a presença de inibidores de enzimas digestivas, hemaglutininas, além de outros fatores antinutricionais, tem influência sobre essa digestibilidade, e devido a ocorrer variações nesses fatores antinutricionais entre os cultivares, também há alteração na digestibilidade entre as espécies de feijão, e dentro de uma mesma espécie, há diferenças de uma cultivar para outra.

A digestibilidade proteica elevada relaciona-se com uma maior biodisponibilidade de aminoácidos, visto que durante a proteólise ocorre a quebra de proteínas em aminoácidos e peptídeos (Silva, 2020). Assim, quanto mais elevada for a digestibilidade, maior será o aproveitamento dos aminoácidos contidos no alimento, como por exemplo os aminoácidos essenciais presentes no feijão-caupi.

A determinação da digestibilidade de proteínas é realizada a partir de enzimas proteolíticas que agem normalmente na digestão, e em condições de pH ou de acidez, características do estômago e do intestino onde essa digestão ocorre. De forma que todos os métodos de determinação de digestibilidade *in vitro* se baseiam em digerir a amostra com enzimas proteolíticas em condições padronizadas, diferindo as vezes somente quanto ao número e a natureza das enzimas que se utilizam e a medida final a ser realizada (Pires *et al.*, 2006).

Considerando a importância das proteínas para a alimentação, e visto que o feijão-caupi é considerado uma boa fonte proteica, este estudo teve por objetivo determinar a digestibilidade de proteínas *in vitro* nos grãos crus e cozidos de cultivares de feijão-caupi que apresentam alta qualidade nutricional e de cozimento.

Material e Métodos

Utilizou-se amostras de grãos de feijão-caupi das cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro, selecionadas considerando a melhor qualidade nutricional e de cozimento, definidas pelo Índice de Qualidade Nutricional e de Cozimento (IQNC) em estudo prévio com dez genótipos oriundos da Coleção de Trabalho do Melhorista do Programa de Melhoramento Genético de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte em Teresina-PI e provenientes de um ensaio com delineamento inteiramente

casualizado-DIC (telado) com três repetições, conduzido na Embrapa Meio-Norte, em Teresina/PI.

Os grãos crus dos genótipos de feijão-caupi foram selecionados e lavados com água destilada. Para a obtenção do grão cozido, estes, foram acondicionados em sacos de organza, identificados conforme o genótipo e o número da repetição, e cada um foi hidratado separadamente por 60 minutos em água destilada (volume de 1/5 da capacidade da panela), que foi utilizada durante a cocção por 30 minutos em panela de pressão elétrica (marca Electrolux, modelo PCE20 5 Litros) com capacidade para 5 L, em seguida os grãos foram colocados em superfície lisa para resfriamento e o caldo da cocção foi desprezado. Os grãos crus assim como os cozidos, foram submetidos a secagem a 60 °C por 48 h em estufa de circulação de ar (Nova Ética®, modelo 410/3ND) e moídos (≤ 200 mesh) em um moinho de bolas de zircônio (Retsch®, modelo MM200) para obtenção de farinhas que foram utilizadas para a determinação da digestibilidade proteica *in vitro*. Os resultados foram expressos em base seca considerando as médias das três repetições.

Adotou-se a metodologia proposta por Akeson e Stahmann (1964), com adaptações. Foram adicionados 5 mL de uma solução de pepsina (4 mg mL⁻¹ em HCl 0,1 N, pH 1,5) a 200 mg da amostra de feijão-caupi, que em seguida foi homogeneizada e levada ao banho-maria (Cientec-248), a 37 °C por 3 horas. À solução com o pH 8,0, acrescentou-se 4 mL da solução de pancreatina (10 mg mL⁻¹ em tampão fosfato pH 8,0) que em seguida ficou em banho-maria a 37 °C por 4 horas.

Após essa etapa, a digestão foi interrompida com a adição lenta de 1 mL de solução de TCA 50 % (p/v). Após centrifugação (Hettich, modelo Rotofix 32A) a 4000rpm por 30 minutos, o sobrenadante foi recolhido e prosseguiu-se a determinação do teor de nitrogênio através do método de micro Kjeldahl.

A digestibilidade proteica *in vitro* do feijão-caupi (%) foi calculada pela seguinte fórmula: Digestibilidade proteica (%) = $(PB_f - PB_s / PB_f) \times 100$, onde PB_f é o teor de proteína da farinha antes da digestão enzimática e PB_s o teor de proteínas do sobrenadante após a digestão enzimática;

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias entre cultivares nos grãos cru e cozidos foram compradas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), enquanto as médias entre grão cru e grão cozido, pelo teste t de Student ($p < 0,05$) ambos utilizando-se o programa computacional SAS (SAS Institute, 2011). Os resultados foram apresentados em tabelas como média $\pm$ desvio-padrão.

Resultados e Discussão

Os percentuais de digestibilidade proteica dos grãos cru e cozido das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro são mostrados na Tabela 1.

Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os percentuais de digestibilidade proteica dos grãos cru e cozido das cultivares de feijão-caupi, mas não houve diferença entre as médias gerais para o grão cru e grão cozido, indicando que no geral o cozimento não afetou a digestibilidade proteica dos grãos das cultivares de feijão-caupi avaliadas neste estudo. Em nível de cultivar, a BRS Tumucumaque confirma esse resultado, mas as cultivares BRS Imponente e BRS Olhonegro foram significativamente ($p < 0,05$) afetadas pelo cozimento. Esses resultados estão de acordo com os observados por Avanza *et al.* (2013) em feijão-caupi, e Silva *et al.* (2009) e Delfini e Canniatti-Brazaca (2010) em feijão-comum, nos quais verificaram efeito significativo do cozimento sobre a digestibilidade proteica.

Tabela 1. Digestibilidade de proteínas (*in vitro*) dos grãos crus e cozidos das cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro. Teresina, Piauí, Brasil, 2024.

Genótipo	% Digestibilidade Proteica (<i>in vitro</i>)	
	Cru	Cozido
BRS Tumucumaque	81,26± 0,88 ^{bA}	81,81± 0,21 ^{bA}
BRS Imponente	79,38± 0,62 ^{cB}	83,48±0,41 ^{aA}
BRS Olhonegro	82,48± 0,30 ^{bA}	77,38±0,67 ^{cB}
Média geral	81,44 ^A	80,89 ^A

Os dados estão apresentados como média de três repetições ± desvio-padrão. Médias com letras maiúsculas iguais na mesma linha e com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelos testes *t* de Student ($p < 0,05$) e Tukey ($p < 0,05$), respectivamente.

A digestibilidade proteica variou de 79,38% (BRS Imponente) a 82,48% (BRS Olhonegro) no grão cru, e de 77,38% (BRS Olhonegro) a 83,48% (BRS Imponente) no grão cozido. Esse percentual de digestibilidade proteica no grão cru, cuja média geral foi de 81,44 %, é superior aos verificados em alguns estudos realizados no grão cru de cultivares de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Em um estudo realizado com bandinhas de feijão-comum na variedade

Carioca Lopes (2010) observou digestibilidade proteica *in vitro* de 39,28%. Batista *et al.* (2010), ao realizarem um estudo de digestibilidade proteica *in vitro* em farinhas de feijão-caupi crua e extrusada, observaram digestibilidade proteica de 28,39%; Kalpanadevi e Mohan (2013), verificaram valor de 71,28%; Teka *et al.* (2020) e Pereira (2013) encontraram variação de 68,7 a 72,0% e de 65,85 a 76,55%, respectivamente.

Carvalho *et al.* (2012) e Silva (2020), avaliando grãos integrais e farinha de cotilédono da cultivar BRS Tumucumaque, verificaram valores de 38,18 e 78,23%, respectivamente, percentuais estes, inferiores ao verificado nessa cultivar no presente estudo, no qual apresentou digestibilidade mais alta (81,26%).

Porcentuais de digestibilidade proteica maiores aos observados neste trabalho foram verificados em outros estudos no grão cru de feijão-caupi e feijão-comum. Avanza *et al.* (2013), em um estudo conduzido em feijão-caupi na Argentina, observaram variação de 83,02 a 85,75 %; Delfini e Canniatti-Brazaca (2010) em um estudo em feijão-comum, observaram valor de 92,80 % na cultivar Pérola; Silva, Rocha e Canniatti-Brazaca (2009) também em feijão-comum, observaram variação de 86,01 a 87,52 %; valores inferiores foram verificados por Kalpanadevi e Mohan (2013), em feijão-caupi, de 78,12 %.

A digestibilidade proteica corresponde ao percentual de proteínas que é hidrolisada pelas enzimas digestivas e absorvida pelo organismo e, por conseguinte, está relacionada a qualidade dos grãos (Toledo *et al.*, 2007; Yousif *et al.*, 2007). De acordo com Silva (2020), diferenças genéticas, composição química, fatores ambientais ou o método analítico, podem ser responsáveis por diferenças percentuais para a digestibilidade proteica *in vitro* no feijão-caupi.

Segundo Mendonça *et al.* (2003) a digestibilidade do grão de feijão está numa faixa de 40 a 70%, portanto, a digestibilidade encontrada para o grão cru das cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro é satisfatória, assim como as observadas para essas cultivares após o cozimento, cuja média geral foi de 80,89%.

Observou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) na digestibilidade proteica do grão da cultivar BRS Imponente após a cocção, e para a BRS Tumucumaque, porém, não significativo ($p < 0,05$). O aumento da digestibilidade proteica após a cocção nas cultivares BRS Tumucumaque e BRS Imponente ocorreu provavelmente devido a eliminação de fatores antinutricionais, cuja complexação com as proteínas impede a ação das enzimas proteolíticas. Além disso, durante a cocção, acontecem alterações estruturais das proteínas, que provocam o aumento da susceptibilidade à hidrólise enzimática (Carbonaro; Marletta; Carnoivale, 1992).

A possível liberação de compostos nitrogenados proteicos e não proteicos da matriz alimentar durante o cozimento, como é sugerido por Luz (2023), podem levar a aumento no teor de proteínas de um genótipo em detrimento do seu teor no grão cru, o que pode ter ocorrido com a cultivar BRS Imponente, visto que de acordo com Cecchi (2003) e Hornes *et al.* (2010), o método de Kjeldahl, utilizado na determinação do teor de proteínas, após a ação enzimática para digestão, quantifica o nitrogênio livre. Somado a essa hipótese, fatores antinutricionais que não sejam totalmente inibidos pelo calor, como pode ocorrer com os taninos, podem ter interferido na digestibilidade, considerando a possibilidade, desse composto está presente em quantidade mais elevada do que nos outros genótipos.

Comportamento divergente das cultivares BRS Tumucumaque e BRS Imponente foi apresentado pela cultivar BRS Olhonegro, que apresentou redução na digestibilidade proteica após a cocção. A diminuição da digestibilidade proteica após o cozimento no grão desta cultivar pode ser devido a troca estrutural e complexação das proteínas com amido, hemiceluloses, minerais e outras proteínas (Niensen, 1991). Essa digestibilidade pode ser influenciada por polifenóis presentes nos grãos de feijão (Delfini; Canniatti-Brazaca, 2009), dentre os quais estão os taninos (Van der Poel, 1990). Taninos, podem se complexar às proteínas, dificultando o acesso de enzimas digestivas a seus sítios de ligação, bem como diretamente, se ligando a enzimas digestivas e impedindo, assim, sua ação (Silva; Silva, 1999). De acordo com Los *et al.* (2018) a ligação entre taninos e proteínas ou minerais interfere no processo de digestibilidade, pois esses complexos não são facilmente digeríveis, os taninos se ligam tanto as proteínas quanto as enzimas digestivas.

A digestibilidade proteica *in vitro* no grão cozido ainda tem sido pouco investigada, tanto no feijão-comum, quanto no feijão-caupi. Avanza *et al.* (2013), obtiveram médias de digestibilidade variando de 86,56 a 92,29% em feijão-caupi, e Silva *et al.* (2009) e Delfini e Canniatti-Brazaca (2010), determinaram média de 92,80 % e variação de 98,16 a 98,88%, respectivamente, em feijão-comum. Resultados esses, superiores aos verificados no grão cozido das cultivares avaliadas no presente estudo.

Conclusão

As cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro apresentaram em média alta digestibilidade proteica *in vitro*, tanto no grão cru quanto no grão cozido. A cultivar BRS Imponente apresenta alta digestibilidade após o cozimento.

As cultivares de feijão-caupi avaliadas neste estudo, também apresentam excelente qualidade nutricional e de cozimento, que associada a alta digestibilidade proteica, podem ser indicadas para o consumo direto do grão pela população ou utilizados na elaboração e produtos à base de farinha de feijão-caupi.

Referências

AKESSON, W. R.; STAHMANN, M. A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, v. 83, p. 257-261, 1964.

AVANZA, M.; ACEVEDO, B.; CHAVES, M.; AÑÓN, M. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: principal component analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, p. 148-157, 2013.

BATISTA, K. A.; PRUDENCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the biochemical and functional properties of the extruded hard-to-cook cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 4, p. 794-799, 2010.

BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: Revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

BRITO, E.S. (Ed.). **Feijão-Caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 97 p.

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. F. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.

CARBONARO, M.; MARLETTA, L.; CARNOVALLE, E. Factors affecting cysteine reactivity in proteolytic digests of *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 2, p. 169-173, 1992.

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

DELFINO, R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Polifenóis e sua interação com a digestibilidade e tempo de a cocção em feijão comum. **Alimentos e Nutrição**, v.19, n. 4, p. 401-407, 2008.

DELFINO, R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Interação de polifenóis e proteínas e o efeito na digestibilidade proteica de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Pérola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 3, n. 2, p. 308-312, 2010.

ELHARDALLOU, S. B.; KHALID, I.; GOBOURI, A.; ABDEL-HAFEZ, S.H. Amino Acid Composition of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) flour and its protein isolates. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, n. 9, p. 790, 2015

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.

ICARDA – Science for resilient livelihoods in dry areas. **Pulses are nutritional and affordable for the poor**. 2016. Disponível em: <<https://www.icarda.org/media/news/pulses-are-nutrition-rich-and-affordable-poor#:~:text=Why%20are%20pulses%20important%3F,crop%20as%20their%20staple%20food>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

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

LOPES, L.C.M. **Determinação das melhores condições de extrusão e caracterização de farinha de feijão para utilização como ingredientes de alimentos instantâneos**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2010.

LOS, F. G. B.; ZIELINSKI, A. A. F.; WOJEICCHOWSKI, J. P.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I. M. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition, **Current Opinion in Food Science**, v.19, p. 63-71, 2018.

LUZ, M. S. **Qualidade nutricional e tecnológica de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) de grãos pretos antes e pós-cozimento**. 2023. 76 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2023.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; AGUILERA, Y.; PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; HERNÁNDEZ, T.; DÍAZ, S.; ESTEBAN, R. M. The impact of dehydration process on 54 antinutrients and protein digestibility of some legume flours. **Food Chemistry**, v. 114, p. 1063-1068, 2009.

MENDONÇA, C. V. C. E; CORRÊA, A. D.; SANTOS, C. D.; MORAIS, A. R. Quantificação de polifenóis e digestibilidade proteica de famílias de feijoeiro comum. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 858-864, 2003.

NIELSEN, S. S. Digestibility of legume protein: studies indicate that the digestibility of heated legume protein is affected by the presence of other seed components and the structure of the protein. **Food Technology**, v.45, n. 9, p.112-114, 1991.

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

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. D. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J. MENEZES-JÚNIOR, J. A. N. Importância econômica. In: **Cultivo de Feijão-Caupi. Sistemas de Produção EMBRAPA**, Versão Eletrônica, 2ª ed. Março de 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071700/1/SistemaProducaoCaupiCapituloImportanciaEconomica.pdf>>. Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

RIBEIRO, J. V. V. **Estudo das atividades biológicas de frações proteicas do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Pérola**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

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

SREERAMA, Y. N.; SASHIKALA, V.B.; PRATAPE, V. M.; SINGH, V. Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. **Food Chemistry**, v. 131, n. 2, p. 462-468, 2012.

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, Piauí, 2020.

SILVA, J.D.R. **Desenvolvimento de massa ácida com farinha de feijão para a produção de pão sem glúten**. 2020. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 739-745, 2011.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI- BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V.; PIEDADE, S. M. S. Composição, digestibilidade proteica e desaminação em cultivares brasileiras de soja submetidas à radiação gama. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 812-815, 2007.

TEKA, T. A.; RETTA, N.; BULTOSA, G.; TESSEMA, H. A.; ASTATKIE, T. Protein fractions, *in vitro* protein digestibility and amino acid composition of select cowpea varieties grown in Ethiopia. **Food Bioscience**, v. 36, p. 1-31, 2020.

VAN DER POEL, A. F. B. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans. **Animal Feed Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 179-208,1990.

YOUSIF, A. M.; KATO, J.; DEETH, H. C. Effect of storage on the biochemical structure and processing quality of adzuk bean (*Vigna angularis*). **Food Reviews International**, v. 23, p. 1-33, 2007.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 1 - A caracterização dos genótipos de feijão-caupi é importante, ao possibilitar a seleção dos genótipos com as melhores características nutricionais.
- 2 - Todos os genótipos caracterizados apresentaram teores em conformidade com a literatura pesquisada de umidade, cinzas, proteínas, demais macronutrientes, e VET condizente com a literatura para o feijão-caupi, além de consideráveis teores de ferro, zinco e selênio.
- 3 - Ressalta-se que existem ainda poucos dados na literatura sobre o teor de selênio no grão do feijão-caupi, e este trabalho traz avanço no conhecimento sobre o teor desse micromineral na espécie.
- 4 - Outro aspecto importante, foi a caracterização dos grãos cozidos dos genótipos de feijão-caupi, que é a forma em que estes são tradicionalmente ingeridos pela população, incluindo o teor de ácido fítico, sendo possível verificar redução em aproximadamente 10 a 30% após a cocção.
- 5 - Os dados referentes a qualidade de cozimento mostraram que os genótipos de feijão-caupi analisados nesse estudo apresentam elevada qualidade de cozimento.
- 6 - A caracterização dos 10 genótipos das classes comerciais branco (BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro), preto (Pretinho) e cores (IT97KD-1042, BR 2-Bragança, BRS Verdejante, BRS Inhuma, BRS Exuberante e MNC11-1019E-15), realizada na primeira etapa do estudo, permitiu selecionar de forma eficiente genótipos que apresentassem simultaneamente altos teores de proteínas, Fe, Zn e Se, baixo teor de ácido fítico e alta qualidade de cozimento, via um índice de qualidade nutricional e de cozimento (IQNC).
- 7 - As cultivares de feijão-caupi BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro, da classe comercial branco e com melhor IQNC, foram caracterizadas para compostos bioativos e as duas primeiras foram consideradas como de moderado teor de fenólicos nos grãos cru e cozido, e a última como de alto teor para esse composto no grão cru.
- 8 - O processo de cozimento reduziu tanto os teores de fenólicos totais quanto a atividade antioxidante.
- 9 - A cultivar de feijão-caupi BRS Olhonegro destacou-se para o teor de fibra alimentar no grão cru, enquanto a cultivar BRS Imponente, no grão cozido.
- 10 - As cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro apresentaram considerável digestibilidade proteica *in vitro*, tanto no grão cru quanto no grão cozido,

mesmo considerando a menor digestibilidade proteica na cultivar Olhonegro após o cozimento, e a cultivar BRS Imponente apresentou aumento significativo da digestibilidade após o cozimento, indicando que essas cultivares, além de fonte proteica, possibilita melhor aproveitamento dos aminoácidos, devido a digestibilidade desse nutriente.

11 - De forma geral, os grãos das cultivares BRS Tumucumaque, BRS Imponente e BRS Olhonegro o feijão-caupi constituem-se em um alimento de valor nutritivo elevado, e com potencial como matéria prima para alimentos com apelo nutricional e funcional devido os benefícios que a sua composição pode proporcionar a quem o ingerir.

REFERÊNCIAS GERAIS

- AMAROWICZ, R.; PEGG, R. B. Legumes as a source of natural antioxidants. **European Journal Lipid Science and Technology**, v. 110, n. 1, 865-878, 2008.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International, 2012.
- ABAIDOO R.; DARE, M. O.; KILLANI, S.; OPOKU, A. Evaluation of early maturing cowpea (*Vigna unguiculata*) germplasm for variation in phosphorus use efficiency and biological nitrogen fixation potential with indigenous rhizobial populations. **The Journal of Agricultural Science**, v. 155, p. 102-116. 2017.
- ADDY, S. N. T. T. et al. Genetic studies on the inheritance of storage-induced cooking time in cowpeas [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 144, p. 1-9, 2020.
- DE ASSIS, L. O.; DE MOURA ANDRADE, H. B.; COIMBRA DE CARVALHO, F. M.; SERQUIZ, R. P.; SERQUIZ, A. C. Determinação da atividade inibitória de enzimas digestivas em suplementos vendidos no comercio internacional à base de proteína vegetal. **RBNE - Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 11, n. 67, p. 925-933, 2018.
- AKESSON, W. R.; STAHMANN, M. A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, v. 83, p. 257-261, 1964.
- BABBAR, N.; OBEROI, H.S.; SANDHU, S.K.; BHARGAV, V.K. Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidants. **Journal Food Science Technology**, v. 51, p. 2568-2575, 2014.
- 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. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.
- BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: Revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.
- BUTTERFIELD, D.; CASTEGNA, A.; POCERNICH, C.; DRAKE, J.; SCAPAGNINI, G.; CALABRESE, V. Nutritional approaches to combat oxidative stress in Alzheimer's disease. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 13, n. 8, p. 444-461, 2002.
- BURNS, J.; GARDNER, P. T; MATTHEWS, D.; DUTHIE, G. G.; LEAN, M. E. J; CROZIER, A. Extraction of phenolics and changes in antioxidant activity of red wines during vinification. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 49, p. 5797-5808, 2001.
- 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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Serviço Nacional de Proteção de Cultivares. **Ato nº 4, de 19 de agosto de 2010**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 20 ago. 2010. Seção 1, p. 6-7.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRESSANI, R.; ELIAS, L. G.; BRAHAM, J. E. Redução da digestibilidade de proteínas de leguminosas por taninos. **Journal of Plants Food**, v. 4, p. 43-55, 1982.

BRITO, E.S. (Ed.). **Feijão-Caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 97 p.

CAMPOS, A. F. L.; TORRES, S. P.; LOPES, E. M.; CARVALHO, R. B. N.; FREITAS, R. M.; NUNES, L. C. C. Identificação e análise dos fatores antinutricionais nas possíveis interações entre medicamentos e alimento/nutrientes em pacientes hospitalizados. **Einstein**, v. 9, p. 319-325, 2011.

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, 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. F. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.

COULIBALY, O.; LOWENBERG-DEBOER, J. **The economics of cowpea in West Africa**. In: Proceedings, Third World Cowpea Conference, Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. Ibadan: IITA, 2002. p. 351-366.

CUPPARI, L. **Guia de nutrição: nutrição clínica no adulto**. 2. ed. rev. e ampl. Barueri, SP: Manole, 2005. 474 p.

CHAPARRO, S. P.; ARISTIZÁBAL, I. D.; GIL, Y. J. H. Composición y factores antinutricionales de las semillas del género mucuna. **Revista da Facultad Nacional de Agronomía- Medellín**, v. 62, p. 4843-4853, 2009.

CHOUNG, M. G.; CHOI, B. R.; AN, Y. N.; CHU, Y. H.; CHO, Y. S. Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 24, p. 7040-7043, 2003.

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

DE-PAULA, C. D.; JARMA-ARROYO, S.; ARAMENDIZ-TATIS, H. Caracterización

nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional del frijol caupí. **Agronomía Mesoamericana**, v. 29, n. 1, p. 29-40, 2018.

DELFINO, R.A.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Polifenóis e sua interação com a digestibilidade e tempo de a cocção em feijão comum. **Alimentos e Nutrição**, v.19, n. 4, p. 401-407, 2008.

DESHPANDE, S. S.; CHERYAN, M. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. **Journal of food Science**, v. 50, p. 905-910, 1985.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo de feijão caupi**. Jul/2003. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/pesquisa/graos/FeijaoCaupi/referencias.htm>>. Acesso em: 8 janeiro de 2024.

ELHARDALLOU, S. B.; KHALID, I.; GOBOURI, A.; ABDEL-HAFEZ, S.H. Amino Acid Composition of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) flour and its protein isolates. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, n. 9, p. 790, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Estadísticas de producción de cultivos. 2013. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ca6411es/ca6411es.pdf>>. Acesso em: 14/01/2024.

FERNANDES, A. C.; MARINO CALVO, M. C.; PROENÇA, R. P. C. Técnicas de pré-preparo de feijões em unidades produtoras de refeições das regiões Sul e Sudeste do Brasil. **Revista de Nutrição**, v. 25, n. 2, 2012.

FUENTES, B.J. **Cambios Bioquímicos en semillas de *Lupinus montanus* y *Lupinus exaltatus* asociados a tratamientos físicos, químicos y germinativos**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Tabasco Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Tabasco, 2013.

FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKE, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish: review. **Aquaculture**, v. 199, n.3-4 p.197-227, 2001.

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

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi na Embrapa Meio-Norte: melhoramento, cultivares lançadas, genealogias e base genética**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 1039 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.

GANDAVO, P. de M. **Tratado da terra do Brasil. Tratado Segundo. Das coisas que são gerais por toda Costa do Brasil. Capítulo Quarto. Dos mantimentos da terra**.

[Rio de Janeiro]: Ministério da Cultura. Fundação Biblioteca Nacional. Departamento Nacional do Livro. Criado em: 10 jun. 2002. Disponível em: <http://objdigital.bn.br/Acervo_Digital/livros_eletronicos/tratado.pdf>. Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

HERNÁNDEZ, T.; HERNANDEZ, A.; MARTINEZ, C. Calidad de proteínas. Conceptos y evaluacion. **Alimentaria**, n. 274, p. 27-39, 1996.

HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em Alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 97-108, 2008.

KNABBEN, C. C.; COSTA, J. S. **Manual de classificação do feijão: instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008**. 25 p, Brasília, DF: Embrapa, 2012.

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

LEE, S. J.; UMANO, K.; SHIBAMOTO, T.; LEE, K. G. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 91, n. 1, p. 131- 7, 2005.

LIMA, M. O.; GOMES, F. A.; MATTAR, E. P. L.; RIBEIRO, O. A. S.; FERREIRA, J. B. Aspectos nutricionais de feijões crioulos cultivados na Amazônia Ocidental, Acre, Brasil. **Revista Enciclopédia Biosfesra**, v. 10, n.19; p. 163-175, 2014.

LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; SILVA, G. S. B.; LIMA, D. E. S. Fenólicos totais e atividade antioxidante do extrato aquoso de broto de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.). **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 1, p. 53-57, 2004.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; AGUILERA, Y.; PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; HERNÁNDEZ, T.; DÍAZ, S.; ESTEBAN, R. M. The impact of dehydration process on 54 antinutrients and protein digestibility of some legume flours. **Food Chemistry**, v. 114, p. 1063-1068, 2009.

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloidchemical and biochemical study. **Acta Agriculturae Suecana**, v.2, p. 85-190, 1946.

MEDEIROS, U.K.L. Estudo da secagem do feijão verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.) – análise experimental do processo combinado leito fixo/leito de jorro. 2004. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

MELO, E. A.; GUERRA, N. B. Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. **Boletim SBCTA**, v. 36, n. 1, p. 1-11, 2002.

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

MENDES, F. Q.; OLIVEIRA, M. G. A.; CARDOSO, L. R.; COSTA, N. M. B.; SANT'ANA, R. C. O. Digestibilidade proteica e caracterização bromatológica de linhagens de soja com ausência ou presença do inibidor de tripsina Kunitz e das isozima lipoxigenases. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 1, p. 14-21, 2007.

MONTEIRO, J. B. R.; COSTA, N. M. B.; ESTEVES, E. A.; MILAGRES, K. H. Avaliação da qualidade proteica de dois formulados em pó, à base de soja enriquecidos com zinco, selênio e magnésio para utilização em nutrição enteral. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n.1, p.6-10,2004.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R., SAMPAIO, G. R., SOARES, R. A. M., SILVA, C. P., ARAÚJO, M. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Identification and quantification of phenolic compounds and antioxidant activity in cowpeas of BRS Xiquexique cultivar. **Revista Caatinga**. v. 31, n.1, p. 209- 216, 2018.

NAIA, I. I. P. **Produção de alimentos funcionais inovadores a partir de tremço e ervilha com base no método de produção de tempeh de soja**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015

NAVES, L. P.; CORRÊA, A. D.; SANTOS, C. D.; ABREU, C. M. P.; Componentes antinutricionais e digestibilidade proteica em sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*) submetidas a diferentes processamentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 180-184, 2010.

OJIMELUKWE, P. C.; ONUOHA, C. C.; OBANU, Z. A. Effects of processing and in vitro proteolytic digestion on soybean and yambean hemagglutinins. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 47, n. 4, p. 293-99, 1995.

OSTE, R. E. Digestibility of processed food protein. In: FRIEDMAN, M. (eds) Nutritional and toxicological consequences of food processing. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 289, p. 371-388, 1991.

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

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

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. D. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.

REDDY, N. R.; SATHE, S. K.; SALUNKHE, D. K. Phytates in legumes and cereals. **Advances in food research**, v. 28, p. 1-92, 1982.

RAUPP, D. S.; MOREIRA, S. S.; BANZATTO, D. A.; SGARBIERI, V. C. Composição e propriedades fisiológico nutritivas de uma farinha rica em fibra insolúvel obtida do

resíduo fibroso de fecularia de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 145-151, 1999.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE, F. N. **Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 2006. 16p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 67).

ROCHA, M.M; DAMASCENO-SILVA, K. J. MENEZES-JÚNIOR, J. A. N. **Importância econômica. In: Cultivo de Feijão-Caupi. Sistemas de Produção EMBRAPA**, Versão Eletrônica, 2ª ed. Março de 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071700/1/SistemaProducaoCaupiCapituloImportanciaEconomica.pdf>>. Acesso em: 09 de janeiro de 2024

ONG, T. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols, Review. **Nutrients**, v.2, p.1231-1246, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127).

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

SANDBERG, A. S. Bioavailability of minerals in legumes. **British Journal of Nutrition**, v. 88, n. S3, p. 281-285, 2002.

SANTOS, M. A. T. Efeito do cozimento sobre alguns fatores antinutricionais em folhas de brócolis, couve-flor e couve. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.2, p.294-301, 2006.

SATHE, S. K.; SALUNKHE, D. K. Technology of removal of unwanted components of dry beans. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 21, p. 263- 287, 1984.

SILVA, M.R.; SILVA, M. A. A. P. Fatores Antinutricionais: Inibidores de Proteases e Lectinas. **Revista de Nutrição**, v.13, n.1, p.3-9, 2000.

SINGLETON, V.L., KRATZER, F.H. Plant phenolics. In: Toxicants occurring naturally in foods. **National Academy of Sciences**. Washington, 1973. p.309-345

SOTO-VACA, A.; LOSSO, J. N.; XU, Z.; FINLEY, J. W. Review: Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 60, n. 27, p. 6658-6677, 2012.

SOUZA, C. G.; MOURA, A. K. B.; SILVA, J. N. P.; SOARES, K. O.; SILVA, J. V. C.; VASCONCELOS, P.V. Fatores anti-nutricionais de importância na nutrição animal: Composição e função dos compostos secundários. **PUBVET**, v.13, n.5, a327, p.1-19, 2019.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Food **Phenolics: Sources, Chemistry, Effects and Applications**. Technomic Publishing Co., Lancaster, 1995.

SREERAMA, Y. N.; SASHIKALA, V.B.; PRATAPE, V. M.; SINGH, V. Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. **Food Chemistry**, v. 131, n. 2, p. 462-468, 2012.

SHAHIDI, F.; HO, C.T. **Antioxidant measurement and applications**. Washington: American Chemical Society, p. 2-7. (ACS Symposium Series 956), 2007.

TIMKO, M. P.; SINGH, B. B. Cowpea, a multifunctional legume. In: MOORE, P. H.; MING, R. (Eds). **Genomics of tropical crop plants**. Springer Science + Business Media. New York, NY: LLC, 2008. p. 227-258.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido por diferentes métodos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 355-360, 2008.

TORRES-FUENTES, C. et al. Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 180, p. 194-202, 2015.

VAN DER POEL, A. F. B. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans. **Animal Feed Science and Technology**, v.2, n. 3, p. 179-208.1990.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington, DC: Consumer and Food Economics Research Division / Agricultural Research Service, 198 (Agriculture Handbook, 8), 1963.

XIONG, H.; SHI, A.; MOU, B.; QIN, J.; MOTES, D.; LU, W.; MA, J.; WENG, Y.; YANG, W.; WU, D. Genetic Diversity and Population Structure of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **PLoS ONE**, v. 11, n. 8, 2016.

ZEB, A. Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 9, p. e13394, 2020.

ZHOU, J. R., ERDMAN, J. W. Phytic acid in health and disease. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.35, n.6, p.495-508, 1995.

ANEXO



Nutrição EM PAUTA

ISSN 2236-1022 A REVISTA DOS MELHORES PROFISSIONAIS DE NUTRIÇÃO

R\$50,00 - novembro 2023
Ano 13
Número 77 Edição Digital
São Paulo

PROPAGANDAS
DE ALIMENTOS
VEICULADAS
EM CANAIS
INFANTIS DO
YOUTUBE

www.nutricaoempauta.com.br

+

FOOD | GASTRONOMIA | SAÚDE PÚBLICA | FUNCIONAIS | CLÍNICA

Tipos de Processamentos que Influenciam os Teores de Ácido Fítico e Taninos em Feijão-Caupi : Uma Revisão Sistemática

RESUMO: Objetivou-se revisar a literatura referente aos diferentes tratamentos que influenciam o teor de fitatos e taninos no feijão-caupi e/ou seus produtos. Trata-se de uma revisão sistemática, com busca e seleção de publicações de 2012 a 2022, em português, inglês e espanhol, indexadas nas bases de dados Scielo, Science Direct, Bireme e Pubmed, por meio dos termos “cowpea and phytate”, “cowpea and phytic acid”, “cowpea and tannin” e “cowpea and antinutritional factor”. Os estudos mostraram que métodos como o envelhecimento dos grãos, aplicação do calor, emprego de salmoura ácida, germinação, fermentação, embebedimento dos grãos (remolho) e suas combinações reduziram os teores de taninos e ácido fítico no feijão-caupi. É importante que mais estudos sejam realizados, visto que as características de cada alimento e a interação desses compostos na matriz alimentar, aliada às especificidades de cada método de análise, influenciam na eliminação ou redução dos fatores antinutricionais em leguminosas como o feijão-caupi.

ABSTRACT: The objective was to review the literature regarding the different treatments that influence the phytates and tannins contents in cowpea and/or its products. This is a systematic review, with search and selection of publications from 2012 to 2022, in Portuguese, English and Spanish, indexed in the Scielo, Science Direct, Bireme and

Pubmed databases, using the terms “cowpea and phytate”, “cowpea and phytic acid”, “cowpea and tannin” and “cowpea and antinutritional factor”. The studies showed that methods such as grain aging, heat application, use of acid brine, germination, fermentation, grain soaking (soaking) and their combinations reduced tannin and phytic acid contents in cowpea. It is important that more studies be carried out, since the characteristics of each food and the interaction of these compounds in the food matrix, combined with the specificities of each analysis method, influence the elimination or reduction of antinutritional factors in legumes such as cowpea.

..... Introdução

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem grande importância socioeconômica e alimentar para a população do nordeste do Brasil devido ao conteúdo proteico presentes no seu grão (TORRES et al., 2015). Além disso, o feijão é um alimento importante para a alimentação, segundo Koblit (2011), também fornece, carboidratos, fibras e minerais, com destaque para o ferro.

Mas assim como outras leguminosas, possui compostos que podem ter um efeito negativo no seu valor nutritivo.

De acordo com Lin e Lai (2006), as leguminosas possuem diversos compostos como os inibidores de tripsina, os fitatos, os polifenóis (como os taninos, encontrados nos feijões), e oligossacarídeos (rafinose e estequiase), que possuem esse efeito negativo. Esses compostos são conhecidos como fatores antinutricionais ou, conforme alterações de conceito ainda em processo de discussão, compostos bioativos, por apresentarem também efeitos benéficos.

Os fitatos representam uma classe complexa de componentes naturais que afetam as propriedades funcionais e nutricionais nos alimentos, e são sais do ácido fítico (mioinositol do ácido hexafosfórico – $C_6H_{18}O_{24}P_6$), eles formam complexos insolúveis com minerais e proteínas, reduzindo a biodisponibilidade desses nutrientes (TORREZAN; FRAZIER; CRISTIANINI, 2010). Esse composto é normalmente abundante em grãos de leguminosas, como o feijão-caupi, e sua concentração varia de 2,6 a 15,2 g kg⁻¹ (GONÇALVES et al., 2016).

Taninos são compostos fenólicos que representam o quarto componente de maior concentração nas plantas (MONTEIRO et al., 2005). Em feijões, esses compostos são primariamente localizados no tegumento da semente com quantidades baixas ou insignificantes nos cotilédones (SATHE; SALUNKHE, 1984).

Segundo Naumann et al., (2017), os taninos são divididos em taninos hidrolisáveis e taninos condensados, cujas estruturas são distintas. Têm sido caracterizados predominantemente com base na sua capacidade de se ligarem às proteínas, e pelas suas muitas reações de precipitação com cal, chumbo, acetato, alcaloides, gelatina, albumina e outras proteínas, e por suas reações de cor com sais de ferro.

Fuentes (2013) relatou que diversos métodos, variando de modernos (extrusão/cocção, micro-ondas, altas pressões, aquecimento por infravermelho (micronização) e campos elétricos) a tradicionais (descasque, cocção, torrefação, remolho, germinação e fermentação) são utilizadas para diminuir ou eliminar os fatores antinutricionais em alimentos. E Ramírez-Cárdenas et al. (2008), observaram que, em relação ao feijão, os efeitos de tratamentos utilizados para melhorar a sua qualidade nutricional, dependem da cultivar e do tratamento. Assim, este estudo de revisão objetivou verificar junto a literatura quais os diferentes tratamentos que podem influenciar no teor de fitatos e taninos no grão de feijão-caupi e/ou seus produtos.

..... Metodologia

Trata-se de estudo de natureza descritiva e exploratória com delineamento de revisão bibliográfica da literatura científica do tipo sistemática. A pesquisa bibliográfica teve como critérios de busca e seleção publicações de 2012 a 2022, em português, inglês e espanhol, de livre acesso, que estivessem de acordo com a temática pesquisada e indexadas nas bases de dados Scielo, Science Direct, Bireme e Pubmed. Utilizou-se para a busca os termos “cowpea and phytate”, “cowpea and phytic acid”, “cowpea and tannin” e “cowpea and antinutritional factor”. Após a busca, inicialmente foram excluídos os artigos com período de publicação anterior ao estabelecido e que não estivessem disponíveis na íntegra e com livre acesso; a seguir, realizou-se a leitura de título e resumo dos textos e excluídos os que não se enquadravam na temática estudada, além dos artigos duplicados. Enfim, partiu-se para a leitura dos textos na íntegra resultando na seleção dos artigos que compuseram a amostra. As etapas do processo de busca e seleção são descritos na Figura 01. Além dos artigos selecionados de acordo com os critérios descritos acima, incluiu-se na amostra uma publicação resultante das buscas de texto científicos nas listas de referência bibliográficas dos estudos selecionados, após a realização da leitura na íntegra do texto e aplicação dos critérios de inclusão/exclusão mencionados anteriormente.

..... Resultados e Discussão

As leguminosas, como os feijões, são alimentos considerados boas fontes de proteínas, minerais e vitaminas, mas também possuem em sua composição vários compostos considerados como fatores antinutricionais. Nesse contexto, a literatura aborda os diferentes métodos investigados com o intuito de apresentar alternativas que proporcionem a redução dos fatores antinutricionais e consequente otimização do aproveitamento pelo organismo dos nutrientes dos alimentos.

O presente estudo incluiu 7 artigos, dos quais, 6 publicações em língua inglesa e 1 em português, que relacionavam diferentes fatores como o envelhecimento dos grãos, aplicação do calor, emprego de salmoura áci-

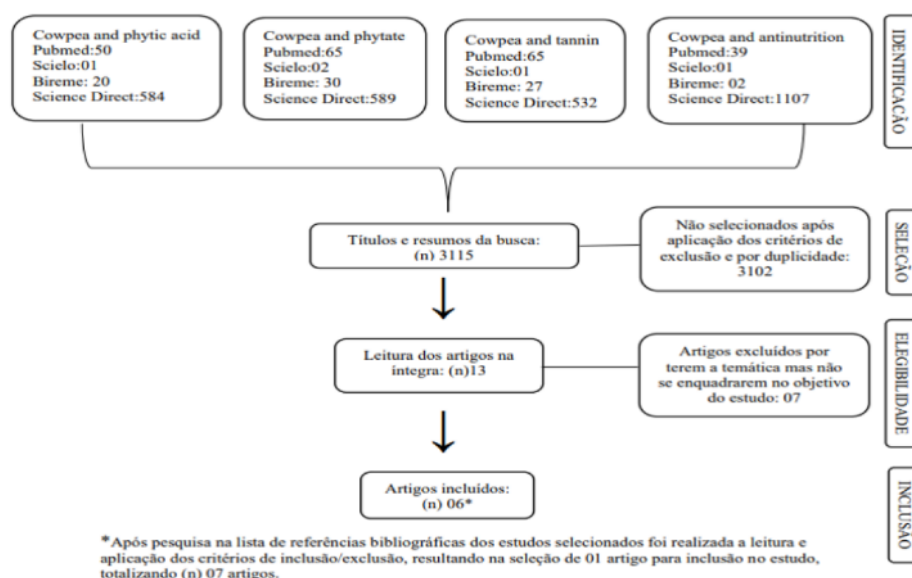


Figura 01- Fluxograma do processo de busca e seleção dos artigos incluídos no estudo.

da, germinação, fermentação, embebedimento dos grãos (remolho), e tipo de preparação culinária, dentre outros, com alterações nos teores de taninos e fitatos no grão de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e/ou produtos alimentícios derivados deste. Os artigos selecionados para o presente estudo são descritos no Quadro 01.

Shaheen et al. (2019) estudando como o envelhecimento dos grãos pode ajudar no controle de fatores antinutricionais no feijão-caupi, observaram redução significativa do ácido fítico nos lotes de sementes de médio (envelhecidas por 72 h) e baixo vigor (envelhecidas por 24 h). De acordo com os autores deste estudo, os efeitos negativos dos fatores antinutricionais no feijão-caupi podem ser parcialmente superados com o uso da técnica de envelhecimento acelerado de curta duração ou envelhecimento controlado.

Outra técnica investigada como forma de controle de fatores antinutricionais no feijão-caupi foi a conservação em salmoura acidificada (5% de cloreto de sódio + 1% ácido cítrico) após o branqueamento do grão verde. Benevides et al. (2013), constataram diminuição não só dos taninos, mas também de oxalatos no decorrer do ar-

mazenamento em conserva, por um período total de 180 dias. Eles observaram redução média de 79,18% em 90 dias, mantendo-se relativamente estável de 90 a 180 dias de armazenamento. O estudo sugere que a diminuição no teor de taninos relacione-se com a formação de complexos com outros componentes dos grãos, como proteínas e minerais.

Benevides et al. (2013) também avaliaram o teor de taninos no feijão-caupi apenas após o branqueamento, e verificaram redução de taninos de 7,43%. O uso de calor, para a redução de fatores antinutricionais, pode ser aplicado por diferentes métodos, isoladamente ou associado a outros métodos, como a embebedimento, dentre outros, que utilizam outros meios. Vários estudos (AVANZA et al., 2013; KALPANADEVI; MOHAN, 2013; ADEGUNWA et al., 2012), verificaram alterações no teor de taninos e/ou fitatos no feijão-caupi após o processamento térmico.

Uso do cozimento e da autoclavagem foram dois dos métodos utilizados por Avanza et al. (2013) e Kalpanadevi e Mohan, (2013), para verificar as alterações nos teores de ácido fítico e/ou taninos no feijão-caupi. Ambos os processamentos reduziram significativamente a con-

Quadro 01- Síntese dos artigos com o tipo de método/tratamento que resultaram em alterações nos teores de fitatos e/ou taninos no feijão-caupi e seus produtos.

Autor/Ano	Objetivo	Tratamento	Principais resultados/conclusões referentes ao ácido fítico e tanino
Avanza et al., 2013.	Estudar, usando a principal component analysis (PCA), o efeito de tratamentos térmicos e não térmicos sobre os as propriedades nutricionais e fatores antinutricionais de quatro variedades de <i>V. unguiculata</i> (Cuarenton, Colorado, San Francisco e Z1) cultivadas no Nordeste da Argentina.	Embebição; Cozimento e Autoclavagem	As farinhas obtidas por embebição das sementes apresentaram uma diminuição significativa de teores de taninos e ácido fítico, mas em menor proporção do que as sementes tratadas por cozimento ou autoclavagem; o teor desses fatores permitiu a diferenciação do tratamento para cada variedade, pois fizeram a maior contribuição para o primeiro componente principal na PCA. O efeito do processamento depende da variedade estudada.
Shaheen et al., 2019	Explorar o papel do envelhecimento no controle de fatores antinutricionais em feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L.).	Envelhecimento de sementes induzido artificialmente	Os lotes de sementes controle registraram maior teor de ácido fítico do que qualquer outra categoria de vigor; o lote de sementes de alto vigor, as cultivares V240 e V585 registraram queda não significativa no teor de ácido fítico em 2,80 e 2,22, respectivamente, porém a diminuição foi significativa no V578; declínio significativo no teor de ácido fítico nas categorias de sementes de médio e baixo vigor foi observada em todas as três cultivares estudadas.
Kalpanadevi e Mohan, 2013	Estudar as alterações de fatores antinutricionais como fenólicos livres totais, taninos, L-Dopa, ácido fítico, cianeto de hidrogênio, atividade inibidora de tripsina, oligossacarídeos e atividade fitohemaglutinante de <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>unguiculata</i> e a eficiência de diferentes tratamentos de processamento individualmente e em combinação para suprimir os efeitos adversos desses fatores antinutricionais	Embebição (hidratação) germinação, cozimento, autoclavagem e suas combinações.	A hidratação reduziu tanto os teores de ácido fítico quanto os teores de taninos nas soluções de água destilada e de bicarbonato de sódio; a redução de taninos foi um pouco maior com a solução com bicarbonato de sódio em relação a hidratação com água destilada; houve redução significativa no teor de tanino devido à germinação, e redução no teor de ácido fítico; os processos de cocção e autoclavagem reduziram significativamente os teores de taninos nas sementes pré-embebidas; além de reduzir significativamente os teores de ácido fítico, a imersão em água destilada seguida de cocção e autoclavagem reduziram o teor de ácido fítico devido à hidrólise; os processos combinados mostraram-se eficientes para eliminação de taninos e ácido fítico; sugeriu-se a combinação de vários métodos para um melhor resultado.
Bolade, 2016	Avaliar o impacto sequencial das operações unitárias de produção, a nível familiar, em alguns fatores antinutricionais em produtos alimentícios à base de feijão-fradinho.	Operações unitárias/técnicas culinárias	As várias operações unitárias através das quais o feijão-fradinho é processado, no decurso da preparação de moim-moin, akara (acarajé), e gbegiri, contribuíram individualmente para a redução global do ácido fítico e tanino.

centração de taninos nas sementes pré-embebidas, ademais o cozimento reduziu significativamente os teores de ácido fítico em *V. unguiculata* subsp. *unguiculata*. Com a

embebição em água destilada antes do cozimento e autoclavagem, o teor de ácido fítico reduziu devido à hidrólise (KALPANADEVI; MOHAN, 2013).

Quadro 01- Síntese dos artigos com o tipo de método/tratamento que resultaram em alterações nos teores de fitatos e/ou taninos no feijão-caupi e seus produtos.			
Autor/Ano	Objetivo	Tratamento	Principais resultados/conclusões referentes ao ácido fítico e tanino
Benevi-des et al.,2013	Determinar a concentração de fatores antinutricionais (tanino e oxalato) em Maxixe (Cucumis Anguria L.), Jiló (Solanum gilo), Feijão Verde (Vigna Unguiculata (L.) Walp) e Feijão Andu (Cajanus Cajan (L.) Mill Sp), assim como estudar o efeito do processamento térmico sobre esses compostos.	Branqueamento e conserva em salmoura ácida.	O processamento térmico (branqueamento) e a conserva em salmoura ácida durante o armazenamento contribuíram efetivamente para redução dos teores de taninos no feijão-caupi e demais alimentos estudados, de forma que os valores obtidos para os taninos no feijão-caupi não oferecem risco para o consumidor.
Adegun-wa et al, 2012	Realizar estudos sobre o efeito do processamento e das variedades nos fatores centesimais, funcionais, pastosos e alguns fatores antinutricionais do feijão-caupi	Fervura (com ou sem descascamento) e torrefação	Redução significativa nos teores de tanino de todos os tratamentos.
James et al., 2020	Avaliar os efeitos do tempo de fermentação (2, 3 e 4 dias) e do tempo de germinação (2, 3 e 4 dias) nos teores de fenólicos totais, taninos, antocianinas, carotenóides e flavonóides de leguminosas menores: feijão-caupi (Vigna unguiculata L.), bambaranut (Vigna subterranean L.), feijão vermelho (Phaseolus vulgaris), feijão bóer (Cajanus cajan), sementes de fruta-pão africana (Treculia africana), sementes de inhame africano (Sphenostylis stenocarpa), sementes de feijão africano (Pentaclethra mycophylla Benth.) e amendoim (Arachis hypogea L.)	Tempo de fermentação e de germinação	A fermentação influenciou os componentes bioativos estudados; houve redução de vários compostos com o aumento do tempo, incluindo taninos no feijão-caupi; o tempo de germinação influenciou no teor de taninos de todas as amostras estudadas, exceto a de feijão-caupi.

Cozimento e autoclavagem reduziram em 55% - 71% o teor de taninos, exceto uma das quatro variedades de feijão-caupi estudadas por Avanza et al. (2013), além de reduzir também o ácido fítico de 35% - 50% com o tratamento de cozimento e de 40% - 55% com autoclavagem em todas as variedades estudadas. Ressalta-se ainda que farinhas obtidas por embebição das sementes no estudo citado, apresentaram uma diminuição significativa nos

teores de taninos e ácido fítico, apesar de que em menor proporção aos resultados oriundos do cozimento ou autoclavagem.

Adegunwa e colaboradores (2012) também investigaram o efeito do processamento térmico por meio de fervura (com ou sem descascamento dos grãos), torrefação no teor de taninos. Tanto a fervura quanto o descascamento reduzem bastante o teor de taninos do feijão-caupi.

A maior redução ocorreu na farinha de feijão-caupi em que os grãos foram descascados e fervidos em seguida e a menor redução foi na que passou pelo processo de torrefação.

A forma de preparo culinária e todas as operações unitárias a que o feijão-caupi é submetido, seja para o consumo na forma do grão inteiro ou como algum produto ou preparação, também influenciam na redução dos fatores antinutricionais. Bolade (2016) estudou a influência isolada de cada operação unitária no teor de alguns fatores antinutricionais, em preparações (moin-moin, akara/acarajé e gbegiri) que tem como base o feijão-fradinho ou feijão-caupi, e observou que em relação aos taninos e ácido fítico houve as seguintes contribuições na redução desses compostos – descascamento: 34,0-40,4% para o ácido fítico e 39,7-47,6% para taninos (moin-moin), 34,0-40,4% para o ácido fítico e 39,7-47,6% para taninos (acarajé), 34,0-40,4% para ácido fítico e 39,7-47,6% para taninos (gbegiri); imersão: 15,4-21,0% (moin-moin) e 15,4-21,05 (acarajé); vaporização: 19,6-24,7% para taninos (moin-moin); fritura: 20,7-25,3% para o tanino (acarajé); cozimento sob pressão: 24,7-33,9% para ácido fítico e 29,8-34,4% para tanino (gbegiri).

Além dos métodos já citados, a germinação e a fermentação também são utilizadas como alternativa para eliminar ou diminuir os fatores antinutricionais em leguminosas. James et al. (2020) investigaram os efeitos do tempo de germinação e da fermentação nos teores de alguns compostos, incluindo os taninos, de leguminosas e sementes, dentre as quais o feijão-caupi. No estudo citado, o tempo de germinação não influenciou no conteúdo de taninos do feijão-caupi, diferente do que ocorreu em relação a fermentação que reduziu significativamente o teor desse composto.

Ainda em relação a germinação e sua influência no teor de fatores antinutricionais em feijão-caupi, no estudo de Kalpanadevi e Mohan (2013) ocorreu redução no teor de taninos durante o período de germinação, sendo observados valores de 32, 66, 71 e 76 g/100 após 24, 48, 72 e 96 h, respectivamente. Além disso, no período de germinação de 96 h também houve redução de no teor de ácido fítico. Ressalta-se, que o referido estudo, também investigou a combinação dos métodos cozimento + autoclavagem e hidratação + germinação + processamento térmico, que se mostraram efetivos para redução de taninos e ácido fítico.

Conhecer as alternativas viáveis para a eliminação ou redução dos fatores antinutricionais para cada tipo de alimento é de suma importância. De acordo com Be-

nevides et al. (2013), a utilização de um alimento na dieta humana depende além da sua qualidade sanitária, sensorial, nutricional, características de cozimento e hidratação, de quantidades mínimas dos fatores antinutricionais presentes, para que não haja interferência na biodisponibilidade de seus nutrientes.

..... Conclusão

A literatura estudada indicou vários métodos de inativação e suas combinações, como sendo responsáveis por influenciar na redução dos teores de ácido fítico e taninos no feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Os processamentos térmicos, a fermentação, a hidratação (remolho, embebedimento), envelhecimento dos grãos e salmoura ácida são efetivos para ambos os fatores antinutricionais pesquisados. Assim como a germinação de forma isolada ou combinada a outros métodos também se mostrou efetiva na redução desses fatores.

Apesar de muitos estudos abordarem os métodos de eliminação e redução de fatores antinutricionais em alimentos, é importante que esses estudos sejam dirigidos a alimentos e compostos específicos, visto que as características particulares de cada alimento e a interação desses compostos na matriz alimentar aliada às especificidades de cada método de análise, sugerem que a eficiência destes dependerá da soma de todos esses fatores para a escolha do método mais adequado para a eliminação ou redução dos fatores antinutricionais em leguminosas como o feijão-caupi, por exemplo.

Sobre os autores

Ennya Cristina Pereira dos Santos Duarte - Nutricionista. Mestre e Doutoranda em Alimentos e Nutrição do Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição/Universidade Federal do Piauí (PPGAN/UFPI).

Profa. Dra. Nara Vanessa dos Anjos Barros - Nutricionista. Mestre e Doutora em Alimentos e Nutrição (PPGAN/UFPI). Professora Adjunta do Curso de Nutrição. Universidade Federal do Piauí/Campus Senador Helvídio Nunes de Barros (UFPI/CSHNB).

Profa. Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo - Nutricionista. Doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Titular do Curso de Nutrição. Universidade Federal do Piauí/ Campus Ministro Petrônio Portela (UFPI/CMPP).

Dr. Maurisrael de Moura Rocha - Engenheiro Agrônomo. Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP. Pesquisador da Embrapa Meio-Norte.

PALAVRAS-CHAVES - *Vigna unguiculata*. Tratamento térmico. Fitato.

KEYWORDS: *Vigna unguiculata*. Thermic Treatment. Phytate.

RECEBIDO: 28/7/23 - APROVADO: 17/10/23

REFERÊNCIAS

- ADEGUNWA, M.O.; BAKARE, H.A.; ALAMU, E.O.; AND ABIODUN, O.K. Processing Effects on chemical, functional and pasting properties of cowpea flour from different varieties. *Nigerian Food Journal*, v. 30, n. 1, p.67-73, 2012.
- AVANZA, M.; ACEVEDO, B.; CHAVES, M.; AÑÓN, M. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: principal component analysis. *LWT - Food Science and Technology*, v. 51, p.148-157, 2013.
- BENEVIDES, C.M.J.; SOUZA, R.D.B.; SOUZA, M.V.; LOPES, M.V. Efeito do processamento sobre os teores de oxalato e tanino em maxixe (*Cucumis anguria* L.), jiló (*Solanum gilo*), feijão verde (*Vigna unguiculata* (L.) walp) e feijão andu (*Cajanus cajan* (L.) mill sp). *Alimentos e Nutrição. Brazilian Journal And Food Nutrition*, v. 24, n. 3, p. 321-327, 2013
- BOLADE, M.K. Individualistic impact of unit operations of production, at household level, on some antinutritional factors in selected cowpea-based food products. *Food Science & Nutrition*.v.4, n.3, p.441-455, 2016.
- FUENTES, B.J. *Cambios Bioquímicos en semillas de Lupinus montanus y Lupinus exaltatus asociados a tratamientos físicos, químicos y germinativos*. 2023. 107 f.Dissertação. (Maestra in Ciencias) Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Tabasco, 2013.

GONÇALVES, A.; GOUFO, BARROS, A.; DOMÍNGUEZ-PERLES, R.; TRINDADE H.; ROSA, E.A.S.; 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

JAMES, S.; NWABUEZE, T. U., NDIKE, J.; ONWUKA, G. I.; USMAN, M.; A. Influence of fermentation and germination on some bioactive components of selected lesser legumes indigenous to Nigeria. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 2, 2020.

KALPANADEVI, V.; MOHAN, V.R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *unguiculata*. *LWT - Food Science and Technology*, v. 51, p. 455-461, 2013.

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

LIN, P-Y; LAI, H-M. Bioactive compounds in legumes and their germinated products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, n. 11, p. 3807-3814, 2006.

MONTEIRO, J. M. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. *Química Nova*, v. 28, n. 5, p. 892-6, 2005.

NAUMANN, H. D.; TEDESCHI, L. O.; ZELLER, W. E.; HUNTLEY, N. F. The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations, and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.46, n.12, p.929-949, 2017

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.

SATHE, S.K.; SALUNKHE, D.K. Technology of removal of unwanted components of dry beans. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.21, n.3, p.263-287, 1984.

SHAHEEN, R.; SRINIVASAN, K.; ANJUM, N.A.; UMAR, S. Ageing-induced changes in nutritional and anti-nutritional factors in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.4, p.1757-1765, 2019.

TORRES, F. E. et al. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. *Bragantia*, v. 74, n. 3, p. 255-260, 2015.

TORREZAN, R.; FRAZIER, R.A.; CRISTIANINI, M. Efeito do tratamento sob alta pressão isostática sobre os teores de fitato e inibidor de tripsina de soja. *B CEPPA*, v.28, n.2, p.179-186, 2010.