



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

ELYNNE KRYSLEN DO CARMO BARROS

CARACTERIZAÇÃO E DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE
GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM BASE NOS TEORES DE
PROTEÍNAS, FERRO E ZINCO E NA QUALIDADE DE COCÇÃO

TERESINA-PI

2019



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

ELYNNE KRYSLEN DO CARMO BARROS

CARACTERIZAÇÃO E DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE
GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM BASE NOS TEORES DE
PROTEÍNAS, FERRO E ZINCO E NA QUALIDADE DE COCÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

Área de Concentração: Qualidade de Alimentos

TERESINA-PI

2019

ELYNNE KRYSLLEN DO CARMO BARROS

**CARACTERIZAÇÃO E DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE
GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM BASE NOS TEORES DE
PROTEÍNAS, FERRO E ZINCO E NA QUALIDADE DE COCÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

Área de Concentração: Qualidade de Alimentos

Aprovado em: ___/___/_____.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha
(Orientador/Presidente)

Prof. Dr. Alessandro de Lima (IFPI)
(1º Examinador)

Prof.^a. Dr.^a. Regilda Saraiva dos Reis Moreira–Araújo (PPGAN/UFPI)
(2º Examinadora)

Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno-Silva (PPGAN/UFPI)
(Suplente)

Aos meus pais e a minha irmã por serem fonte de amor e apoio!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades concedidas, paciência e fortalecimento nos momentos difíceis, pela força para correr atrás dos meus objetivos e por proporcionar em minha vida grandes realizações.

Aos meus pais Ivanilde e Francisco e minha irmã Alinny, pelo exemplo de vida, incentivo aos estudos, amor e apoio incondicional e por muitas vezes abdicar de coisas para me fornecer condições de realizar meus sonhos. A toda minha família que torceu e me apoiou durante a realização dessa etapa.

Ao meu orientador Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pela confiança, paciência e pelos valiosos ensinamentos durante esses dois anos, não tenho nem palavras para agradecer.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Alessandro de Lima, Profa. Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo, e Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno-Silva, pela disponibilidade em contribuir para a melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição pela oportunidade de realização dessa especialização. Aos professores do PPGAN por todos os conhecimentos transmitidos e as secretárias Ianca Abreu e Luana Silva por toda ajuda.

À Embrapa Meio-Norte, pelo fornecimento das amostras, estrutura de laboratórios para realização das análises e oportunidade do estágio. A todos os funcionários que não mediram esforços para ajudar durante minha passagem, em especial aos técnicos Luís José Duarte e Antônio Carlos dos Santos, e as estagiárias Elane Sousa e Camila Carvalho.

Ao Programa de Biofortificação *HarvestPlus*, pelo financiamento do projeto e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos durante a realização do curso de Mestrado.

À Profa. Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo e aos componentes do grupo LABROMBIOQ/LASA, pelo acolhimento durante a realização do estágio docente e a possibilidade de um semestre de diversos aprendizados.

À turma de mestrado 2017/2019 pelo excelente convívio, pelas ajudas e trocas durante o período de aulas e mais além.

À liga do apê, Islanne e Mara Cristina, minhas companheiras de lar, obrigada pelos momentos compartilhados, lanches, filmes, boletos, rsrs, pela experiência que muito contribuiu para meu

crescimento pessoal. Amo vocês e espero que nossa amizade perdure pra vida. Islanne obrigada por compartilhar sua “mainha” comigo.

Às “nerds” Loanne, Stefany, Raísa e Thamara, obrigada por todo apoio desde o início, pelas nossas saídas para desopilar, pelas caronas, pelo encorajamento, pelo colo, vocês são demais, excelentes profissionais, o mundo espera por vocês, o conquistem.

Às amigas de turma da área de alimentos: Ana Karine, Fabrícia e Michele, pelos bons momentos vividos, conhecimentos trocados e pela amizade.

Às minhas queridas professoras da UFMA, Dra. Virgínia Abreu e Dra. Ana Lúcia Fernandes, que tanto me ajudaram e me incentivaram nas etapas de seleção e durante a realização do mestrado, são pessoas e profissionais maravilhosas, a quem serei grata por toda a vida.

Ao Haroldo pela paciência, companheirismo, disponibilidade em ajudar, pelas caronas para a Embrapa, e a toda sua família, que agora é minha também e que nunca mediram esforços para me apoiar.

A todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para realização desse trabalho, e que torceram e me apoiaram para essa conquista.

O MEU MUITO OBRIGADA!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

BARROS, E. K. do 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 em Alimentos e Nutrição) - Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina - PI.

No melhoramento, a caracterização do germoplasma e os estudos de divergência genética são importantes por permitirem identificar parentais que quando cruzados gerem populações com variabilidade genética ampla e progênes superiores. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi caracterizar genótipos de feijão-caupi e a divergência genética para qualidade nutricional e de cocção. Conduziu-se um ensaio em blocos ao acaso, com 24 tratamentos (linhagens e cultivares) e duas repetições, em condições de casa de vegetação, em Teresina PI, no ano agrícola 2018/2019. A partir de amostras de grãos dos genótipos, realizaram-se análises dos conteúdos de proteínas, ferro e zinco e da porcentagem de grãos cozidos, respectivamente, pelos métodos *Kjeldahl*; digestão nitro-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica; e cocção em panela de pressão elétrica e avaliação da porcentagem de grão cozidos via cozedor de Mattson. As médias foram agrupadas pelo teste de Tocher. A dissimilaridade genética foi avaliada por meio da distância generalizada de Mahalanobis e o agrupamento dos genótipos com base nos métodos da ligação média entre grupo - UPGMA e de otimização de Tocher. O teor médio de proteínas nos genótipos avaliados foi de 28,53 g 100g⁻¹ de feijão-caupi, destacando-se três genótipos com valores variando de 31,78 a 32,23 g 100g⁻¹. Os maiores teores de ferro e zinco obtidos foram de 6,82 e 6,41 mg por 100g de feijão-caupi, respectivamente, e todos os genótipos apresentaram altos teores para esses minerais. A porcentagem de grãos cozidos variou de 3 a 100%, com média de 63,21%, e a subclasse comercial Manteiga apresentou a melhor qualidade de cocção. As médias foram agrupadas por meio do teste de Tocher. Para avaliação da divergência genética entre os genótipos foram estimadas as distâncias generalizadas de Mahalanobis (D²) e o agrupamento dos genótipos com base nas metodologias de ligação média entre grupo - UPGMA e de otimização de Tocher. O teste de Tocher evidenciou a existência de variabilidade para todos os caracteres, notadamente para a porcentagem de grãos cozidos. A porcentagem de grãos cozidos e o teor de proteínas foram os caracteres que mais contribuíram para a divergência genética entre os genótipos. Os genótipos BRS Novaera e MNC11-1019E-15 apresentaram a maior dissimilaridade genética, enquanto BRS Tumucumaque e TVU-167, a maior similaridade genética. Os métodos de otimização de Tocher e UPGMA possibilitaram a formação de seis grupos, havendo concordância entre os grupos formados pelos dois métodos e algumas coincidências de agrupamento por classe/subclasse comercial. Para o incremento do teor de proteínas, recomenda-se o cruzamento MNC00-595F-27 e MNC11-1019E-15. Os cruzamentos TVU-167 e MNC01-649F-2-11; e IT-829-889 e MNC11-1019E-15 favorecem ao aumento dos teores de ferro e zinco, respectivamente. Com relação à qualidade de cocção, dentre as combinações que obtiveram maior divergência genética entre si, as melhores porcentagens de grãos cozidos foram obtidas pela combinação MNC00-595F-27 e MNC11-1019E-15. Essas combinações são promissoras para o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi biofortificadas em ferro, zinco e proteína e com melhor qualidade de cocção.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, qualidade nutricional, porcentagem de grãos cozidos, dissimilaridade genética, melhoramento.

ABSTRACT

BARROS, E. K. do C. **CHARACTERIZATION AND GENETIC DIVERGENCE AMONG COWPEA GENOTYPES BASED ON PROTEIN, IRON AND ZINC CONTENT AND ON COOKING QUALITY.** 80 f. Dissertation (Master Science in Food and Nutrition) - Program of Post-Graduation in Food and Nutrition, Federal University of Piauí, Teresina - PI.

In breeding, germplasm characterization and genetic divergence studies are important because they allow the identification of parental species that, when crossed, generate populations with broad genetic variability and higher progenies. Thus, the objective of this work was to characterize cowpea genotypes and genetic divergence for nutritional and cooking quality. A randomized block trial was carried out with 24 treatments (lines and cultivars) and two replications, under greenhouse conditions, in Teresina PI, in the agricultural year 2018/2019. From grain samples of the genotypes, the proteins, iron and zinc contents and the percentage of cooked grains, respectively, were analyzed by Kjeldahl methods; nitro-perchloric digestion and reading in atomic absorption spectrophotometer; and cooking in electric pressure cooker and evaluation of the percentage of grain cooked through Mattson cooker. The means were grouped by the Tocher test. The genetic dissimilarity was evaluated through the generalized distance of Mahalanobis and the grouping of the genotypes based on the average link between group - UPGMA and Tocher optimization methods. The average protein content in the evaluated genotypes was 28.53 g 100g⁻¹ of cowpea, with three genotypes with values varying from 31.78 to 32.23 g 100g⁻¹. The highest iron and zinc contents were 6.82 and 6.41 mg 100g⁻¹ of cowpea, respectively, and all genotypes showed high contents for these minerals. The percentage of cooked grains ranged from 3 to 100%, with a average of 63.21%, and the Manteiga commercial subclass showed the best cooking quality. The averages were grouped by means of the Tocher test. To evaluate the genetic divergence among the genotypes, generalized distances of Mahalanobis (D^2) were estimated and the grouping of genotypes based on the average link between group - UPGMA and Tocher optimization methodologies. The Tocher test showed the existence of variability for all the characteristics, especially for the percentage of cooked grains. The percentage of cooked grains and the protein content were the characteristics that contributed the most to the genetic divergence among the genotypes. BRS Novaera and MNC11-1019E-15 genotypes presented the greatest genetic dissimilarity, while BRS Tumucumaque and TVU-167, the greatest genetic similarity. The optimization of Tocher and UPGMA methods allowed the formation of six groups, with agreement between the groups formed by the two methods and some coincidences of grouping by class / commercial subclass. For the increase of the protein content, MNC00-595F-27 and MNC11-1019E-15 cross is recommended. TVU-167 and MNC01-649F-2-11; and IT-829-889 and MNC11-1019E-15 crosses favor the increase of iron and zinc contents, respectively. Regarding the cooking quality, among the combinations that obtained the greatest genetic divergence among them, the best percentages of cooked grains were obtained by the combination MNC00-595F-27 and MNC11-1019E-15. These combinations are promising for the development of cowpea cultivars biofortified in protein, iron and zinc, and with better cooking quality.

Key words: *Vigna unguiculata*, nutritional quality, percentage of cooked grains, genetic dissimilarity, biofortification, breeding.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
BAG	Banco Ativo de Germoplasma
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DEP	Desnutrição Energético-Protéica
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
D ²	Distância Generalizada de Mahalanobis
DP	Desvio-Padrão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IDR	Ingestão Diária Recomendada
ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
PGC	Porcentagem de Grãos Cozidos
QC	Qualidade de Cocção
SC	Subclasse Comercial
TACO	Tabela de Composição de Alimentos
TF	Teor de Ferro
TP	Teor de Proteínas
TZ	Teor de Zinco
UPGMA	<i>Unweighted pair-group method using arithmetic averages</i>

LISTA DE TABELAS

1. Classificação do feijão-caupi quanto a cor e aspecto do tegumento do grão.	19
2. Teores de Proteínas, e dos minerais Ferro e Zinco de algumas leguminosas.	25
3. Teores de ferro e zinco de algumas cultivares de feijão-caupi.	32
4. Nome, classe e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi avaliados. Teresina, PI, 2019.	36
5. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) de proteínas (P) de 24 genótipos de feijão-caupi analisados, em base seca. Teresina, PI, 2019.	42
6. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) de ferro (Fe) de 24 genótipos de feijão-caupi analisados, em base seca. Teresina, PI, 2019.	46
7. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) de zinco (Zn) de 24 genótipos de feijão-caupi analisados, em base seca. Teresina, PI, 2019.	50
8. Médias e desvio-padrão (DP) para a porcentagem (%) de grãos cozidos (PGC) de 24 genótipos de feijão-caupi analisados. Teresina-PI, 2019.	53
9. Contribuição relativa das características teores de proteína, ferro e zinco e porcentagem de grãos cozidos para a divergência genética entre 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.	56
10. Dissimilaridade genética entre 24 genótipos de feijão-caupi em relação aos caracteres teores de proteína, ferro e zinco e porcentagem de grãos cozidos, baseado na distância de Mahalanobis (D^2). Teresina-PI, 2019.	58
11. Resultado do agrupamento pelo método de otimização de Tocher modificado com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) entre os 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.	59

LISTA DE FIGURAS

1. Mapa da produção total de feijão-caupi, incluindo três safras. 22
2. Grãos após a lavagem e farinha obtida após a trituração dos grãos. 37
3. Grãos de feijão-caupi acondicionados em sacos de organza, imersão prévia em água, panela de pressão utilizada no experimento e visão interna dos sacos dispostos na panela. 40
4. Grãos de feijão-caupi após a cocção, acondicionados no cozedor de Mattson. 40
5. Dendograma representativo da dissimilaridade genética entre os 24 genótipos de feijão-caupi, obtidos pelo método de agrupamento UPGMA, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade. 61

LISTA DE QUADROS

1. Classes e subclasses comerciais de feijão-caupi.	20
2. Médias do teor de proteínas (TP) por classes/subclasses de 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.	45
3. Médias do teor de ferro (TF) por classes/subclasses de 24 genótipos de feijão-caupi, analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.	49
4. Médias do teor de zinco (TZ) por classes/subclasses de 24 genótipos de feijão-caupi, analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.	52
5. Médias da porcentagem de grãos cozidos (PGC) por classes/subclasses comerciais de 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina-PI, 2019.	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Feijão-Caupi.....	18
2.1.1 Classificação Botânica e Origem.....	18
2.1.2 Classificação Comercial	18
2.1.3 Cultivo	21
2.1.4 Mercado e Consumo	22
2.1.5 Composição Química e Perfil de Minerais do Grão.....	24
2.1.5.1 Composição Química do Grão	25
2.1.5.2 Perfil de Minerais do Grão	26
2.1.6 Qualidade Culinária do Grão.....	27
2.1.7 Melhoramento Genético para Qualidade Nutricional e Culinária	28
2.1.7.1 Variabilidade Genética	29
2.1.7.2 Biofortificação	30
2.1.7.3 Divergência Genética e Seleção de Parentais.....	32
3 OBJETIVOS	35
3.1 Geral	35
3.2 Específicos	35
4 METODOLOGIA.....	36
4.1 Material Experimental.....	36
4.2 Condução Experimental	37
4.3 Delineamento Experimental	37
4.4 Preparo das Amostras.....	37
4.5 Análises Físico-Químicas	38
4.5.1 Teor de Proteínas	38
4.5.2 Teor de Ferro e Zinco	38
4.5.3 Qualidade de Cocção.....	39
4.6 Análises Estatísticas.....	40
4.6.1 Agrupamento de Médias.....	40
4.6.2 Divergência Genética	41
4.6.3 Software Utilizado.....	41

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 Agrupamento de Médias	42
5.1.1 Teor de Proteínas	42
5.1.2 Teor de Ferro	46
5.1.3 Teor de Zinco.....	50
5.1.4 Qualidade de Cocção	53
5.2 Divergência Genética.....	56
5.2.1 Distância Generalizada de Mahalanobis.....	57
5.2.2 Agrupamento dos genótipos pelo Método de Otimização de Tocher	57
5.2.3 Agrupamento dos genótipos pelo Método da Ligação Média entre Grupo - UPGMA...	60
6 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A fome no mundo aumentou para 821 milhões de pessoas e para 39,3 milhões na América Latina e no Caribe, em 2017. O Brasil imerso em uma crise política, vive um cenário de retrocesso e pode voltar ao mapa da fome em 2019, após ter saído em 2014 pela primeira vez. A coexistência da fome, da desnutrição e das deficiências de micronutrientes, acontece principalmente devido à falta de acesso a uma alimentação saudável e ativa (FAO e OPAS, 2017; FAO, 2018).

A desnutrição energético-proteica (DEP) é definida como uma doença decorrente de diversos fatores, considerada de alta letalidade, tem alta capacidade de promover alterações fisiológicas buscando adaptar o organismo a falta de nutrientes. Dietas pobres em ferro e zinco podem acarretar anemia ferropriva, redução da capacidade de trabalho, problemas no sistema imunológico, retardo no desenvolvimento mental e até a morte (NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2006; LIMA; GAMALLO; OLIVEIRA, 2010).

Alimentos de origem animal são fontes biodisponíveis de minerais, entretanto, possuem alto custo, tornando-os inacessíveis a diversas pessoas. Nutricionalmente, as leguminosas são ricas em fibras, proteínas, vitaminas do complexo B, minerais como cálcio, ferro, fósforo, potássio e magnésio, além de fitoquímicos, como os compostos fenólicos. Dentre as leguminosas mais consumidas, se encontram os feijões que possuem alto conteúdo de minerais e podem ser utilizados na prevenção das deficiências destes (RIBEIRO, 2010; MOTTA et al., 2016).

A legislação brasileira considera como feijões apenas os grãos provenientes das espécies *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp., conhecidas como feijão-comum e feijão-caupi, respectivamente. A produção de feijão-caupi se dá nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, o seu cultivo é impulsionado pelo baixo custo e pela possibilidade de bons rendimentos (BRASIL, 2008; SILVA; ROCHA; MENEZES JUNIOR, 2016).

O feijão-caupi é um alimento de grande importância para a população brasileira, seu consumo pode chegar a 18 kg por pessoa anualmente nos estados do nordeste, uma vez que ele tem baixo custo e é fonte de diversos nutrientes de importante papel para saúde. O valor nutritivo do feijão-caupi depende de diversos fatores como genética, condições agroclimáticas e manejo pós-colheita. Sua farinha é facilmente obtida e utilizada como meio para fortificação de alimentos. Novos estudos têm sido feitos buscando utilizar a farinha no desenvolvimento

de novos produtos (ANDRADE JUNIOR, 2002; FROTA et al., 2009; CAVALCANTE et al., 2016; GONÇALVES et al., 2016).

O melhoramento genético de alimentos é promovido a partir da identificação de genótipos com elevados teores dos nutrientes que se quer melhorar, nos quais se avaliam o desempenho em cruzamentos e, conseqüentemente, a capacidade de transmissão das suas características superiores, ou seja, genótipos que possuem uma alta capacidade em extrair quantidade de nutrientes em níveis suficientes e adequados para as necessidades humanas (CAKMAK, 2008).

Assim, é uma opção para se obter um produto com melhor qualidade agrônômica e nutricional, sem que ocorram alterações na forma de preparo e nas características organolépticas do produto. O melhoramento do feijão-caupi objetiva desenvolver cultivares mais adequadas à diversos tipos de agriculturas, solos, climas e regiões, aumentando produtividade, além de melhorar a qualidade nutricional (ABREU et al., 1994; RIBEIRO, 2010; FREIRE FILHO, 2011).

No Brasil, as técnicas de melhoramento do feijão são baseadas na hibridação (cruzamento) de cultivares ou linhagens para geração de novas linhagens superiores e cultivares melhoradas. A divergência genética tem sido estudada visando a seleção de genitores divergentes para formação de híbridos ou de novas populações segregantes com características complementares via cruzamentos (MACHADO et al., 2002).

Para o melhoramento de qualquer cultura é necessário avaliar as cultivares e as linhagens mais promissoras vindas de algum programa de melhoramento, para que assim sejam recomendados novos materiais para os agricultores e para identificar novos progenitores para participação em programas de hibridação e o desenvolvimento de novas linhagens (ABREU et al., 1994; RIBEIRO, 2010).

O desenvolvimento de novas cultivares obtidas por técnicas de melhoramento genético têm mostrado importantes mudanças na composição físico-química das sementes, além de aumento de resistência a pragas, produtividade, adaptabilidade e estabilidade da produção (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008; FREIRE FILHO, 2011).

Estudos de divergência genética em genótipos de feijão-caupi são importantes por maximizarem as chances de se obter cultivares com características nutricionais e culinárias

melhores às disponíveis atualmente no mercado. Vários trabalhos foram conduzidos avaliando a variabilidade e a divergência de genótipos de feijão-caupi, no entanto com base em características morfoagronômicas (SANTOS et al., 2014; SOUSA et al., 2017; STOIOLOVA; PEREIRA, 2013) ou morfoagronômicas e nutricionais (BRAHMAIAH et al., 2014) estudos nesse tema envolvendo características nutritivas e culinárias são inexistentes na literatura.

A caracterização e a seleção adequada de genitores para qualidade nutricional e culinária são de suma importância para verificar a variabilidade para essas características, bem como melhor orientar o melhorista no planejamento de hibridações (cruzamentos), etapa base de um programa de melhoramento, que posteriormente originará novas cultivares de feijão-caupi biofortificadas e com excelente qualidade de cocção.

Portanto, além de gerar novas cultivares de feijão-caupi biofortificadas que poderão ser cultivadas e consumidas, também podem ser utilizadas como matéria-prima para preparação de novos alimentos industrializados.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Feijão-Caupi

2.1.1 Classificação Botânica e Origem

O feijão-caupi é uma planta *Dicotyledonea*, da ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna*, secção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata* (VERDCOURT, 1970; MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; SMARTT, 1990; PADULOSI; NG, 1997).

Steele e Mehra (1980) estudaram possíveis centros de origem do feijão-caupi como Índia, Etiópia, Paquistão, Irã, África e América Latina. Esses autores observaram que predominantemente havia ocorrência do gênero na África, dessa forma, há consenso de que este é originário da África.

Estudos indicam que o feijão-caupi foi introduzido no Brasil primeiramente no estado da Bahia pelos portugueses na segunda metade do século XVI, espalhando-se posteriormente pela região Nordeste e a partir de então para todo o país, onde é cultivada para produção de grão seco e feijão verde, exibe diferentes nomenclaturas que variam da localização do cultivo. Por exemplo, no Nordeste é conhecido por feijão-macassar e feijão-de-corda; no Norte, manteiguinha, feijão-de-estrada, feijão-da-colônia e feijão-de-praia (FREIRE FILHO et al., 1988; FREIRE FILHO, 2011).

2.1.2 Classificação Comercial

Mediante o aumento da comercialização interna e externa do feijão-caupi, foi necessário a caracterização e classificação dos grãos quanto às diferenças das cultivares. De acordo com a legislação brasileira, são considerados feijões apenas os grãos provenientes das espécies *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp., conhecidas como feijão-comum e feijão-caupi, respectivamente (BRASIL, 2008).

Segundo a coloração do tegumento (película) do grão, o feijão-caupi pode ser classificado em quatro classes:

- a) Branco: produto que contém, no mínimo 90% de grãos de coloração branca;
- b) Preto: produto que contém, no mínimo 90% de grãos de coloração preta;

- c) Cores: produto que contém, no mínimo 90% de grãos da classe cores, admitindo-se até 10% de outras cultivares da classe cores, que apresentem contraste na cor ou no tamanho;
- d) Misturado: produto que não atende às especificações de nenhuma das classes anteriores (BRASIL, 2008).

Como a legislação do Ministério da Agricultura e Pecuária limita-se a classes, Freire Filho et al. (2000; 2005) subdividiram as classes branco e cores em subclasses, com o objetivo de agregar o nome oficial e o nome popular. Freire Filho (2011) e Freire Filho et al. (2017) modificaram a definição de algumas subclasses (Tabela 1). O Quadro 1 ilustra as classes e subclasses comerciais de feijão-caupi.

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

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

¹Instrução Normativa nº12, de 28/03/2008 do MAPA (BRASIL, 2008); ²Adaptado de Freire Filho et al (2011).

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

		
Classe Branco, subclasse Branco Liso.	Classe Branco, subclasse Branco Rugoso.	Classe Branco, subclasse Fradinho.
		
Classe Branco, subclasse Olho-Marrom.	Classe Branco, subclasse Olho-Vermelho.	Classe Preto, subclasse Preto-Fosco.
		
Classe Preto, subclasse Preto-Brilhoso.	Classe cores, subclasse Mulato liso.	Classe cores, subclasse Mulato rugoso.
		
Classe cores, subclasse Canapu.	Classe cores, subclasse Sempre-verde.	Classe cores, subclasse Verde.
		
Classe cores, subclasse Manteiga.	Classe cores, subclasse Vinagre.	Classe cores, subclasse Azulão.
		
Classe cores, subclasse Corujinha.		Classe cores, subclasse Rajado.

Fonte: Freire Filho (2011) e Freire Filho et al. (2017).

Com relação às classes comerciais, no comércio a granel, predominam as subclasses: Mulato liso, Branco liso, Branco rugoso, Canapu e Sempre-verde, enquanto no comércio de grãos empacotados, as subclasses: Mulato liso, Sempre-verde, Branco liso, Branco rugoso e Fradinho (FREIRE FILHO, 2011; FREIRE FILHO et al., 2017).

A grande diversidade de tipos de grãos faz com que no programa de melhoramento de feijão-caupi sejam conduzidas várias populações segregantes direcionadas para a obtenção de cultivares com os diferentes tipos que o mercado demanda (DAMASCENO-SILVA; ROCHA; MENEZES-JÚNIOR, 2016).

2.1.3 Cultivo

Os maiores produtores mundiais de feijão são Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia, em ordem, estes são responsáveis por mais de 56% da produção mundial, sendo 14 grupos comerciais de feijões cultivados. No Brasil, os grupos comerciais mais cultivados são o carioca, o preto e o feijão-caupi (COÊLHO, 2018; FAOSTAT, 2018).

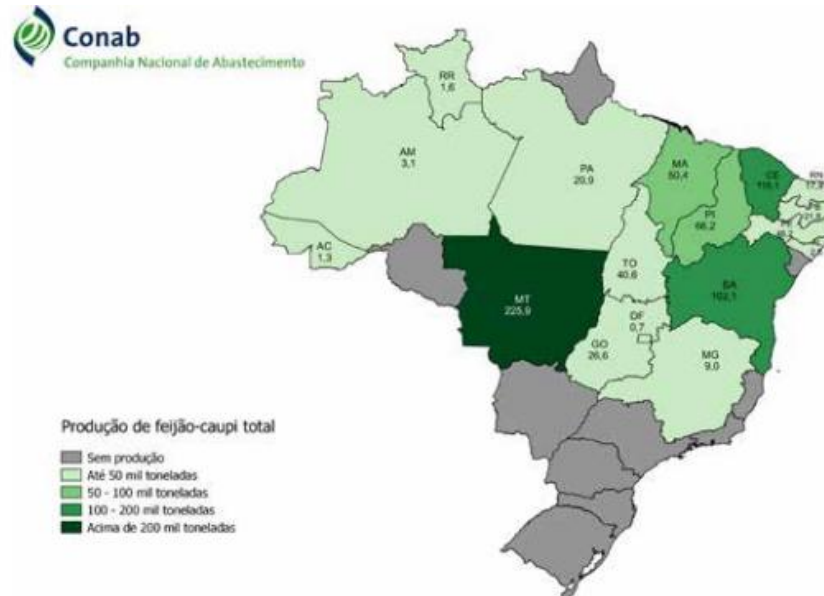
O feijão-caupi é uma planta herbácea, autógama, predominantemente de clima quente, mas se apresenta versátil, com grande capacidade de ajuste a diferentes ecossistemas, apresenta um curto ciclo de cultivo, baixa exigência hídrica e rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade, com adaptação a diferentes condições ambientais e sistemas de produção. A literatura indica que o feijão-caupi é cultivado em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia, América, Europa e Oceania (SINGH et al., 2002; FREIRE FILHO et al., 2005; FREIRE FILHO, 2011).

As regiões Norte e Nordeste concentravam a maior produção de feijão-caupi. Com a chegada de novos tipos de tecnologias que permitem o cultivo totalmente mecanizado, a área plantada, produtividade e produção da região Centro-Oeste vem crescendo neste segmento, com destaque para o estado de Mato Grosso (DAMASCENO-SILVA; ROCHA; MENEZES-JÚNIOR, 2016). Os estados que apresentam as maiores produções em ordem decrescente são Mato Grosso (225,9 mil tons), Ceará (118,1 mil tons), Bahia (102,1 mil tons) e Piauí (66,2 mil tons) (CONAB, 2019) (Figura 1).

No Brasil, a depender da região de cultivo, pode-se conseguir três safras. A primeira safra (das águas), a segunda safra (da seca) e a 3ª safra (inverno/irrigada). Na primeira, segunda e terceira safra de 2017/18 o Brasil teve uma área plantada de 411,0; 1023,3 e 78,4 mil hectares, respectivamente. A produtividade média foi de 521 kg ha⁻¹. Na região Nordeste

é cultivada a maior área de feijão-caupi na primeira safra. O Piauí é o estado brasileiro que dispõe de maior área para plantação dessa cultura durante essa safra (SALVADOR, 2017; CONAB, 2019).

Figura 1. Mapa da produção total de feijão-caupi no Brasil, incluindo as três safras.



Fonte: CONAB, 2019.

Para a obtenção de uma boa produtividade no cultivo do feijão-caupi é necessário escolher bem a cultivar e o sistema de produção, para isso, a resistência ou tolerância a pragas também deve ser observada. Outras características a serem consideradas são o ciclo de maturação, o porte da planta, o tipo comercial do grão e o mercado (ROCHA et al., 2017).

2.1.4 Mercado e Consumo

O alto teor de proteínas e carboidratos, o teor de lipídios relativamente baixo e o padrão de aminoácidos do feijão-caupi complementares ao dos grãos de cereais o tornam um alimento nutricional importante na dieta humana (JAYATHILAKE et al., 2018). O feijão-caupi representa um dos principais componentes da dieta alimentar, principalmente de zonas rurais, é considerado alimento básico (ANDRADE JUNIOR, 2002).

De acordo com o guia alimentar para população brasileira, a maior parte da proteína consumida por essa população é fornecida pelo consumo da combinação arroz + feijão. O feijão-caupi é considerado a principal fonte de proteína nas regiões Leste e Oeste da África. Nas regiões tropicais úmidas, é indicado como um alimento que proporciona mais da metade da proteína vegetal da dieta humana. Tem a possibilidade de consumo de diferentes formas,

vagens verdes e grãos secos, além de ser utilizado como matéria prima em preparações populares, como o acarajé (BRASIL, 2008; MOREIRA et al., 2008).

No Brasil, três segmentos de mercado de feijão-caupi se destacam: grãos secos, feijão verde (vagem para obtenção do grão verde ou o próprio grão verde, já debulhado) e sementes. Além desses mercados, há ainda o de feijão-vagem (feijão-de-metro) do cultigrupo *Sesquipedalis*, com grandes possibilidades de expansão, e o de feijão processado industrialmente, o qual está em fase inicial e com boas perspectivas (FREIRE FILHO et al., 2017).

O Guia alimentar para a população brasileira estimula o consumo de uma porção, equivalente a uma concha, diária de feijão e orienta que embora essa leguminosa seja rica em ferro, esse mineral é menos disponível que quando fornecido por alimentos de origem animal, por isso, deve ser consumido de maneira conjunta a alimentos ricos em vitamina C (BRASIL, 2008).

Por ser rico em amido e proteínas, facilmente se obtém farinha dos grãos de feijão-caupi. Além de ser fonte de vitaminas do complexo B, o grão também é rico em lisina e, produzindo boa complementação de aminoácidos, além de poder ser utilizada com o objetivo de melhorar a qualidade nutricional de outras farinhas a base de cereais (ANDRADE JUNIOR, 2002).

Kerr et al. (2001) analisaram a farinha obtida de grãos de feijão-caupi em diferentes tamanhos (0,5, 1,0 e 2,0 mm) e não observaram diferenças na composição centesimal das farinhas, mas perceberam que quanto mais fina a farinha, é também menor a temperatura de gelatinização e a capacidade de ligação com a água, e maior a quantidade de amido que pode ser extraído.

Frota et al. (2009) utilizaram a farinha extraída a partir de feijão-caupi com o intuito de enriquecer biscoito e rocambole, e avaliaram a aceitabilidade e composição química dos produtos. Os autores observaram um aumento de 30 e 20% no teor de proteínas do biscoito e rocambole, respectivamente. Todas as formulações produzidas foram bem aceitas sensorialmente.

Cavalcante et al (2016) elaboraram formulações de pão de queijo utilizando a farinha obtida de grãos biofortificados de feijão-caupi em substituição a polvilho, e obtiveram um

aumento nos teores de proteínas e carboidratos, e dos minerais cobre, ferro, fósforo, magnésio, manganês e zinco.

A Embrapa Meio-Norte atualmente tem pesquisado o desenvolvimento de produtos com 100% de feijão-caupi. Uma parceria entre esta e o Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL, resultou em um biscoito com 100% de feijão-caupi, apresentado como uma nova opção para incrementar o mercado de produtos funcionais. Além de não conter glúten, podendo ser consumido por portadores de doença celíaca, o biscoito contém altos teores de ferro e zinco, e o dobro de proteínas quando comparado a biscoitos elaborados com outros cereais (SINIMBU, 2018).

2.1.5 Composição Química e Perfil de Minerais do grão

Os grãos de leguminosas são consideradas importantes fontes de proteínas na alimentação. Estes contêm ainda baixo teor de gordura (máximo de 3%) e alto de carboidratos (55 a 75%), tornando-se, assim, fonte de calorias. Entretanto, a quantidade de nutrientes é influenciada por diversos fatores como espécie, gênero, mudanças climáticas, manipulação genética, práticas agronômicas, manejo pós-colheita, armazenamento, idade das sementes e tratamento térmico aplicado (SILVA et al., 2002; VASCONCELOS et al., 2010).

A composição química do grão em conjunto com as características agronômicas associadas ao feijão-caupi, em termos de resistência a estresses bióticos e abióticos, pode constituir uma vantagem valiosa em comparação com outras leguminosas. Contudo, existe a necessidade de atualizar os dados químicos disponíveis. Além disso, a variabilidade nos níveis de fitoquímicos do feijão-caupi dependem da cultivar e da interação com o ambiente onde é cultivado, uma área de pesquisa que tem recebido pouca atenção (GONÇALVES et al., 2016).

Para título de comparação, a Tabela 2 apresenta os valores encontrados na Tabela de Composição de Alimentos para quantidade de proteínas, e dos minerais ferro e zinco de leguminosas consumidas pela população brasileira (TACO, 2011).

Tabela 2. Teores de Proteínas, e dos minerais Ferro e Zinco de algumas leguminosas.

<i>Leguminosa</i>	<i>Proteínas (g 100g⁻¹)</i>	<i>Ferro (mg 100g⁻¹)</i>	<i>Zinco (mg 100g⁻¹)</i>
<i>Ervilha (Vagem)</i>	7,5	1,4	1,2
<i>Feijão Caupi (Cru)</i>	20,2	5,1	3,9
<i>Feijão Comum (Cru)</i>	20,0	8,0	2,9
<i>Grão de Bico (Cru)</i>	21,2	5,4	3,2
<i>Lentilha (Cru)</i>	23,2	7,0	3,5
<i>Soja (Farinha)</i>	36,0	13,1	4,5

Fonte: (TACO, 2011).

2.1.5.1 Composição Química do Grão

A tabela de composição de alimentos (TACO) traz os seguintes percentuais para o feijão-caupi: 12,7% de umidade, 339 kcal, 20,2% de proteínas, 2,4% de lipídeos, 61,2% de carboidratos, 3,5% de cinzas e 23,6% de fibras alimentares. Mas outros estudos demonstram variações nessas quantidades, as proteínas podem variar entre 20,3 e 29,3%, lipídeos de 0,5 a 2,9% e carboidratos de 51,4 a 74,5% (TACO, 2011; SILVA et al., 2002; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

Frota, Soares e Arêas (2008) analisaram a composição centesimal da cultivar de feijão-caupi BRS Milênio e obtiveram resultados semelhantes a outras cultivares, apresentando cerca de 24,5% de proteínas, 19,4% de fibras, 51,4% de carboidratos e o baixo teor de 2,2% de lipídios, contendo alta proporção de ácidos graxos insaturados, especialmente o ácido linoleico. O segundo ácido graxo em abundância é o palmítico.

As proteínas encontradas no feijão-caupi são compostas principalmente por glutamina, asparagina e fenilalanina + tirosina. Havendo ainda presença de arginina, leucina, lisina, valina, prolina e de todos os aminoácidos não essenciais. Tem sido relatado também a escassez de aminoácidos sulfurados (TSHOVHOTE et al., 2003; ADEBOOYE e SINGH, 2007; VASCONCELOS et al., 2010; CARVALHO et al., 2012; GONÇALVES et al., 2016).

Frota et al (2017) avaliaram a digestibilidade protéica e o escore de aminoácidos da proteína integral e de um isolado protéico do grão de feijão-caupi e observou-se que o valor nutritivo do isolado foi maior do que na proteína integral. Com base nos resultados, os autores afirmaram que o isolado protéico é interessante para incorporação em produtos alimentícios,

especialmente naqueles à base de cereais, os quais têm lisina como aminoácido limitante e excesso de metionina.

Zia-Ul-Haq et al. (2010) analisaram o perfil lipídico de cultivares de feijão-caupi. Eles obtiveram um teor máximo de 3% de gordura para as cultivares avaliadas. Os resultados obtidos indicaram que as cultivares tem grande estabilidade oxidativa e proteção durante o armazenamento e processamento. Pelo perfil de ácidos graxos encontraram a presença de ácidos graxos saturados e insaturados, sendo predominantes os ácidos linoleico (41%) e palmítico (26,5%).

O feijão-caupi é considerado ser possuidor de compostos fenólicos com potencial benéficos para saúde. Nderitu et al. (2013) observaram que a digestão enzimática do feijão-caupi inibe danos ao DNA causados por radicais, sugerindo-se, assim, que os compostos fenólicos presentes do feijão-caupi possuem alguma atividade sequestradora de radicais após a digestão gastrointestinal.

Moreira-Araújo et al (2018) avaliaram a cultivar BRS Xiquexique e obtiveram os compostos fenólicos: catequina ($2,07 \pm 0,33$ mg 100 g⁻¹), epicatequina ($0,48 \pm 0,13$ mg 100 g⁻¹), ácido gálico ($67,19 \pm 6,20$ mg 100 g⁻¹), ácido ferúlico ($32,07 \pm 0,75$ mg 100 g⁻¹) e ácido clorogênico ($3,08 \pm 0,49$ mg 100 g⁻¹), comprovando a atividade antioxidante do feijão-caupi. Barros et al (2017) e Cavalcante et al (2017) avaliaram o teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante, além de observarem que o aquecimento influencia nos teores, e por isso é recomendado o consumo do feijão junto ao caldo de cocção para aproveitamento dos compostos antioxidantes.

2.1.5.2 Perfil de minerais do grão

O feijão-caupi é considerado um alimento que pode melhorar a adequação de minerais como ferro e zinco na dieta, além de diminuir a prevalência de anemia. A deficiência desses minerais constitui um problema de saúde pública em diversos países em desenvolvimento, atingindo principalmente grupos populacionais biologicamente vulneráveis (WHO, 2007; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008; SALES; PEDRAZA, 2013; LANDIM et al., 2016).

O ferro é essencial em diversos processos fisiológicos do organismo humano, desenvolve função central no metabolismo energético celular, atua na produção de energia

oxidativa, no transporte de oxigênio, além de papel fundamental na inativação de radicais livres e na síntese de DNA (CANÇADO, 2010).

A deficiência de ferro pode ser causada pelo baixo consumo de alimentos de origem animal, pelo aumento da necessidade do mineral pelo organismo, pelo excesso de perda ou pela má-absorção. As perdas podem ocorrer, por exemplo, através de menstruações, problemas digestivos, varizes esofágicas, parasitoses e perdas cutâneas. A ingestão diária recomendada para o ferro é de 8 mg dia⁻¹ e 18 mg dia⁻¹ para mulheres e homens adultos, respectivamente (PADOVANI et al., 2006; MOREIRA; SILVA, 2014).

O zinco desenvolve diversas funções no organismo, atuando na proteção antioxidante, ação como cofator enzimático, no metabolismo energético e de vitamina A, resposta e regulação do sistema imunológico e síntese de proteínas. Estudos *in vivo* demonstram que a deficiência de zinco causa lesões oxidativas em humanos e animais (KING; SHAMES; WOODHOUSE, 2000; POWELL, 2000).

A deficiência de zinco acontece em função de deficiência alimentar, presença de compostos quelantes nos alimentos, problemas no processo de absorção gastrointestinal ou aumento na excreção urinária. As recomendações para ingestão do zinco são de 11 mg/dia e 8 mg/dia para homens e mulheres adultos, respectivamente (PADOVANI et al., 2006; CRUZ; SOARES, 2011).

Além de ferro e zinco, o feijão-caupi possui ainda boas quantidades de outros minerais. Iqbal et al. (2006) analisaram quatro leguminosas (grão de bico, feijão-caupi, lentilha e ervilha) e observaram que o feijão-caupi teve as maiores concentrações de potássio, magnésio e fósforo, não se apresentando diferente das demais leguminosas avaliadas quanto a manganês, zinco e ferro, com boa quantidade de cálcio.

2.1.6 Qualidade Culinária

Assim como a maior parte da leguminosas, o feijão-caupi deve passar por tratamento térmico para que diversos componentes que atuam gerando impacto negativo na qualidade da proteína, sejam inativados antes do consumo. Esses são conhecidos como fatores antinutricionais, os mais comuns no feijão-caupi são: Inibidores de tripsina, ácido fítico, hemaglutininas e taninos, com 30, 18, 12 e 4 mg g⁻¹ de proteína, respectivamente (LIENER, 1994; ROCHA, 2011).

O tratamento térmico é ainda responsável por dar ao feijão-caupi aspectos ideais para seu consumo, causando mudança em diversas propriedades sensoriais como textura, aroma, sabor e aparência. O tempo de cocção é um caráter muito importante para o consumidor, sendo a preferência por cultivares com rápido cocção, que determinam maior rapidez no preparo do alimento e economia de tempo e energia (ROCHA; DAMASCENO-SILVA; MENEZES-JÚNIOR, 2016). Além do que, o aquecimento prolongado pode provocar perda de proteínas, e diminuir o potencial benéfico nutricional (WASSIMI; HOSFIELD; UEBERSAX, 1988; LAM-SANCHEZ et al., 1990; YOKOHAMA; STONE, 2000).

O tempo de cocção diminui quando os grãos são hidratados anteriormente. De acordo com Martínéz-Manrique et al. (2011), as enzimas da parede celular pécica são as responsáveis pelas alterações que acontecem durante essa prévia imersão, que acaba por aumentar a taxa de termo solubilidade do polissacarídeo pécico, diminuindo o tempo de cocção. Outro fator que afeta diretamente o tempo de cocção é a quantidade de cálcio e magnésio do solo. Quando estes são maiores, os grãos necessitam de mais tempo de cocção para ficarem no ponto de consumo (PAREDES-LÓPEZ et al., 1989).

2.1.7 Melhoramento Genético para a Qualidade Nutricional e Culinária

O melhoramento genético do feijão-caupi tem diversos objetivos, como o desenvolvimento de cultivares adequadas à agricultura familiar e empresarial, aumento de resistência a pragas, produtividade, adaptabilidade e estabilidade da produção, além de melhorar os teores nutricionais e a qualidade culinária dos grãos (FREIRE FILHO, 2011).

Segundo Oliveira et al. (2017), a seleção simultânea de caracteres agrônômicos, nutricionais e culinários é uma estratégia de seleção muito vantajosa em um programa de melhoramento, uma vez que é mais barato, mais rápido e com a possibilidade de ganhos simultâneos em vários caracteres. Portanto, diante dos escassos recursos humanos e financeiros, a identificação genótipos que apresentam melhores resultados simultaneamente a várias características deve ser uma estratégia a ser utilizado pelos programas de melhoramento de caupi.

2.1.7.1 Variabilidade genética

A variabilidade genética é considerada a matéria prima do melhoramento genético e a sua caracterização e utilização nos programas de melhoramento genético é uma das primeiras etapas no melhoramento de qualquer espécie e crucial para a prática da seleção e obtenção de progressos genéticos.

A composição química e as propriedades nutricionais variam consideravelmente com o genótipo (genética), as condições edáficas (tipo de solo, pH, fertilidade, textura, matéria orgânica, entre outros) e as variações climáticas (temperatura, precipitação, radiação, entre outros) (ambiente). Dessa forma, variações nos teores de nutrientes têm sido observadas quando os genótipos (cultivares e linhagens) são cultivados em diferentes locais, anos e épocas (RIBEIRO, 2010; CARVALHO et al., 2012; D'ALBUQUERQUE, 2013; MURANAKA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017).

Carvalho et al. (2012) avaliaram 30 genótipos brasileiros de feijão-caupi, e com relação ao teor de proteínas e fibras, observaram uma variação de 20 a 30% e 20 a 35%, respectivamente, com a literatura disponível. Esses autores enfatizam que as altas quantidades de proteínas e fibras encontradas nos genótipos são importantes, já que o feijão-caupi é um alimento bastante consumido, principalmente pela população de baixa renda.

Avaliando 50 acessos de feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil, Rocha et al. (2011a) encontraram uma amplitude de variação para os teores de ferro e zinco, respectivamente, de 49,60 a 75,87 ppm e 40,68 a 63,72 ppm. Muranaka et al., 2016 avaliaram 240 acessos de feijão-caupi e observaram uma variação de 38,5 ppm a 68,7 ppm para o teor de ferro; e 31,5 ppm a 48,7 ppm para o teor de zinco. Silva et al. (2017) avaliaram 24 genótipos de feijão-caupi em Juazeiro-BA e encontraram uma variação para os teores de ferro e zinco, respectivamente, de 48 ppm a 69 ppm; e 29,9 ppm a 41,8 ppm.

Variabilidade para a porcentagem de hidratação, tempo de cocção e porcentagem de grãos duros foi observada em 20 genótipos de feijão-caupi em três ambientes da região Meio-Norte por D'albuquerque (2013), esse autor afirmou que esses caracteres são bastantes influenciados pelo ambiente (condições edafoclimáticas) e pela interação genótipos x ambientes.

Carvalho et al. (2011) utilizaram diferentes métodos de cocção, e encontraram tempos entre 2,6 e 28 min. Já Ceccon et al. (2013) observaram tempos de cocção entre 13 e 47 min.

D'albuquerque (2013) analisou 20 genótipos de feijão-caupi em diferentes ambientes do Meio-Norte do Brasil e encontrou variação de 12 a 24 minutos para o tempo de cocção. Silva et al. (2017) avaliaram 24 genótipos de feijão-caupi em Juazeiro-BA e encontraram uma variação para o tempo de cocção de 9,6 min. a 16,6 min.

As cultivares de feijão-caupi lançadas entre 2008 e 2015 apresentam rápida cocção, com tempo médio de cocção de 18 minutos (FREIRE FILHO. 2011; ROCHA et al., 2017).

A atividade de caracterização de genótipos, tanto morfoagronômica como nutricionais e culinárias, é de suma importância pois permite a prospecção de novos genes a serem inseridos nos programa de pré-melhoramento e melhoramento, o que garante ganhos sucessivos com a seleção e o desenvolvimento de cultivares biofortificadas e com qualidade culinária melhores às comercialmente disponíveis.

2.1.7.2 Biofortificação

Alguns países vêm adotando políticas públicas que buscam a redução na deficiência de nutrientes, a fortificação industrial de alimentos e a suplementação medicamentosa. Entretanto, existe a possibilidade de alimentos fortificados não chegarem à boa parte da população necessitada, devido à falta de infraestrutura para distribuição. Infraestrutura também é requerida em sistemas de saúde para que a suplementação aconteça de forma satisfatória, o que não é visto em países em desenvolvimento (NUTTI, CARVALHO e WATANABE, 2006).

A biofortificação é uma nova iniciativa de intervenção em saúde pública pelos alimentos, baseada na criação convencional e na biotecnologia moderna. A estratégia objetiva adicionar nutrientes às variedades que têm preferência agrônômica, bom consumo e alto rendimento. Em países desenvolvidos tem sustentado o controle da deficiência dos micronutrientes. Essa iniciativa complementa as intervenções existentes, como a suplementação e a fortificação industrial de alimentos (PFEIFFER e MCCLAFFERTY, 2007; SINGH et al., 2016).

Segundo Cakmak (2008) a biofortificação tem como limitação o fato de ser um processo a longo prazo que requer diversas atividades, além da incerteza se realmente funcionará de maneira efetiva, o autor cita que as etapas da biofortificação incluem pelo menos: 1. Identificação de uma variação genética útil e os pais mais promissores; 2.

Atividades de cruzamentos e retrocessos a longo prazo; 3. Estabilidade das características alvo nos diferentes ambientes que apresentam grande variação no solo e nas condições climáticas e 4. Adaptação de genótipos biofortificados recentemente desenvolvidos em uma série de práticas de manejo de culturas e solo aplicadas nas regiões ou países-alvo.

A rede BioFORT é o conjunto de projetos responsáveis pela biofortificação de alimentos no Brasil. É coordenada pela EMBRAPA, e objetiva reduzir os índices de desnutrição através do aumento dos teores de ferro, zinco e vitamina A na dieta da população mais carente. Pesquisadores de 15 unidades da EMBRAPA trabalham na rede BioFORT tendo o foco direcionado a biofortificar culturas básicas como arroz, feijão, feijão-caupi, mandioca, batata-doce, milho, abóbora e trigo, além do desenvolvimento de produtos a partir das matérias-primas biofortificadas. O programa brasileiro tem o suporte do programa *HarvestPlus*, um consórcio de pesquisa que atua na América Latina, África e Ásia (BIOFORT, 2019).

O consumo de feijão-caupi é alto e em alguns estados do Nordeste, com uma média de 18 kg/pessoa/ano. Dessa forma, o desenvolvimento de cultivares biofortificadas com alto teor de proteínas, ferro e zinco, pode beneficiar muitas pessoas, auxiliando na redução da desnutrição e garantindo maior segurança alimentar (NUTTI et al., 2009; ROCHA et al., 2014).

Estudos sobre o controle genético dos teores de ferro e zinco em feijão-caupi têm sido conduzidos, predominando nos cruzamentos a existência de efeito materno (herança extra nuclear) (MOURA, 2011), com os efeitos aditivos sendo mais importantes que os não-aditivos (CARVALHO, 2011) e a ocorrência de alta influência do ambiente (OLIVEIRA et al., 2017).

Entre 2007 e 2015, no âmbito dos programas BioFORT e *Harvestplus*, foram avaliados em *fast track* cerca de 300 genótipos de feijão caupi, realizados 15 cruzamentos entre genitores com altas concentrações de ferro e zinco e geradas e avançadas cerca de 3.000 populações segregantes. A concentração de ferro apresentou amplitude de 2,8 mg 100g⁻¹ a 12,13 mg 100g⁻¹ e a concentração de zinco, uma variação de 3,04 mg 100g⁻¹ a 7,04 mg 100g⁻¹. Atualmente há populações segregantes em avanços de gerações, linhagens elite sendo avaliadas no *fast track* e as melhores em teor de ferro e zinco estão sendo validadas em vários ambientes dos Estados do Piauí e Maranhão. As perspectivas são de que nos próximos anos sejam lançadas as primeiras cultivares biofortificadas resultantes de cruzamentos. Até o

momento, por meio de *fast track*, foram lançadas as cultivares BRS Aracê, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique, com altas concentrações de ferro e zinco no grão (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de ferro e zinco de algumas cultivares comerciais de feijão-caupi com alto conteúdo desses minerais.

Cultivar	Teor de Ferro (mg.100g⁻¹)	Teor de Zinco (mg.100g⁻¹)
BRS Xiquexique	7,74	5,37
BRS Tumucumaque	6,06	5,16
BRS Aracê	6,17	4,86

Adaptada de Freire Filho (2011).

Farinha resultante dessas três cultivares têm sido testadas como ingredientes parciais na formulação de vários produtos, como biscoitos (LANDIM et al., 2016), pão-de-queijo CAVALCANTE et al., 2016) e baião-de-dois (COSTA, 2014), com excelentes resultados quanto à fortificação de alimentos, bem como em estudos de impacto do consumo desses produtos como complemento alimentar na saúde de populações com carência de micronutrientes. Neste aspecto, Landim et al. (2016) avaliaram o impacto do consumo de biscoitos elaborados com farinha de feijão-caupi biofortificado, cultivar BRS Xiquexique, por pré-escolares, e constataram a eficiência dos biscoitos como complemento alimentar no controle da anemia ferropriva em crianças pré-escolares.

2.1.7.3 Divergência Genética e Seleção de Genitores

O melhoramento genético demanda tempo e mão-de-obra, a previsão de possíveis resultados de gerações futuras a partir de estudos de gerações iniciais, auxiliam o processo. Assim, pode-se descartar populações pouco promissoras e aumentar a probabilidade de sucesso. Diversos métodos foram desenvolvidos com esse objetivo. Estudos indicam que a população ideal para o melhoramento é aquela que associa média alta e maior variabilidade possível para a característica em questão (OLIVEIRA JÚNIOR; MIRANDA; CRUZ, 1999; MIRANDA; LAMBERT, 2004).

O método de prever o comportamento dos possíveis genitores, apesar de bastante usado, tem como deficiência o fato de não medir a divergência genética. Efetuar o cruzamento com dois genitores de média alta não assegura sucesso na população segregante. É necessário que

os genitores apresentem diversidade genética, o que acaba por possibilitar boa capacidade de combinação entre eles (ABREU et al., 1994; BERTAN; CARVALHO; OLIVEIRA, 2007).

Estudos sobre divergência genética são muito importantes, pois através destes pode-se selecionar genitores divergentes que após o cruzamento podem gerar populações com maior variabilidade e probabilidade de recuperação de genótipos superiores. Pode-se avaliar a divergência genética por meio de processos biométricos ou processos preditivos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

Em estudos de divergência entre genótipos de feijão-caupi, têm sido utilizadas frequentemente como medida de dissimilaridade as distâncias Euclidiana (SANTOS et al., 2014) e generalizada de Mahalanobis (DIAS; SILVA; BERTINI, 2009; SANTOS et al., 2016; SOUSA et al., 2017). Essa última tem como vantagem o uso da correlação entre os caracteres avaliados, entretanto só pode ser utilizado quando se tem a matriz de covariâncias residuais, o que só é possível em experimentos com repetições (PIMENTEL, 2010).

O agrupamento dos genótipos de feijão-caupi com base na dissimilaridade genética tem sido realizado mais comumente por meio dos métodos UPGMA (DIAS; SILVA; BERTINI, 2009; COSTA et al., 2013; SANTOS et al., 2016; SOUSA et al., 2017) e de otimização de Tocher (SANTOS et al., 2016; SOUSA et al., 2017;). A análise de componentes principais também tem sido utilizada para avaliar a divergência genética entre acessos de feijão-caupi (COSTA et al., 2013; MOLOSIWA et al., 2016; SANTOS et al., 2016).

Bertini, Teofilo e Dias (2009) analisaram 16 acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da Universidade Federal do Ceará, e concluíram que as características que mais contribuíram para diversidade genética foram o comprimento da vagem e o peso de 100 sementes. O resultado foi semelhante ao obtido por Oliveira et al. (2003) ao estudar outros 16 acessos do mesmo banco de germoplasma.

Passos et al. (2007) caracterizaram agronomicamente 22 genótipos de feijão-caupi do tipo prostrado e 20 do tipo semi-ereto. As características que mais contribuíram para a divergência genética foram o comprimento da vagem, a massa de grãos por vagem e a produtividade de vagens.

Santos et al. (2014) avaliaram a divergência genética entre 20 genótipos de feijão-caupi na região do ecótono Cerrado/Pantanal, e utilizaram a distância euclidiana para agrupar

os genótipos por meio dos agrupamentos de Tocher e Ward e concluíram existir uma alta correlação entre os dois métodos de agrupamentos e indicaram alguns cruzamentos com efeito heterótico para os caracteres avaliados.

Estudos de caracterização da nutricional e culinária dos grãos e a divergência genética de acessos de feijão-caupi ainda são escassos e em diferentes classes/subclasses comerciais são inexistentes na literatura. A prospecção de novos genes para qualidade nutricional em acessos do banco de germoplasma de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte é de suma importância para ampliar a variabilidade no germoplasma cultivado e, assim, a obtenção de ganhos e o desenvolvimento de novas cultivares biofortificadas e com melhor qualidade de cocção.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Caracterizar genótipos de feijão-caupi e a divergência genética para qualidade nutricional e de cocção.

3.2 Específicos

- Determinar o teor de proteínas, ferro e zinco no grão de genótipos de diferentes classes/subclasses comerciais de feijão-caupi;
- Avaliar a qualidade de cocção de genótipos de diferentes classes/subclasses comerciais de feijão-caupi;
- Analisar a divergência genética entre genótipos de diferentes classes/subclasses comerciais de feijão-caupi;
- Selecionar genótipos de feijão-caupi com alta divergência genética, alto teor de ferro e zinco e alta qualidade de cocção candidatos a parentais no programa de melhoramento;
- Indicar as melhores combinações híbridas (cruzamentos) visando o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi biofortificadas e com alta qualidade de cocção.

4 METODOLOGIA

4.1 Material Experimental

Foram analisados 24 genótipos de feijão-caupi (linhagens e cultivares) (Tabela 4) do Banco de Germoplasma e do Programa de Melhoramento da Embrapa Meio-Norte, situada em Teresina, Piauí. Os genótipos foram selecionados para representar três classes comerciais e 10 subclasses. Eles foram distribuídos da seguinte forma, com exceção da Classe Branco, onde suas subclasses comerciais foram representadas por apenas um genótipo por subclasse (Branco Liso, Branco Rugoso e Fradinho), as demais classes (Preto e Cores) foram representadas por três genótipos por subclasse, conforme pode ser verificado na Tabela 4.

Tabela 4. Nome, classe e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi avaliados. Teresina, PI, 2019.

Tratamento	Nome/Código	Classe Comercial	Subclasse Comercial
1	IT-97K-1042-3	Cores	Vinagre
2	IT-810-1045	Cores	Vinagre
3	IT-828-889	Cores	Vinagre
4	BRS Itaim	Branco	Fradinho
5	BRS Novaera	Branco	Branco Rugoso
6	BRS Tumucumaque	Branco	Branco Liso
7	Pretinho	Preto	Preto
8	BRS Tapaihum	Preto	Preto
9	MNC06-901-14-3	Preto	Preto
10	TVU-165	Cores	Manteiga
11	TVU-166	Cores	Manteiga
12	TVU-167	Cores	Manteiga
13	BRS Aracê	Cores	Verde
14	BRS Juruá	Cores	Verde
15	MNC00-595F-27	Cores	Verde
16	Pingo-de-Ouro 1-5-7	Cores	Canapu
17	Pingo-de-Ouro 1-5-8	Cores	Canapu
18	Inhuma	Cores	Canapu
19	MNC01-631F-20-5	Cores	Sempre-verde
20	BRS Rouxinol	Cores	Sempre-Verde
21	Bico de Ouro 1-5-24	Cores	Sempre-Verde
22	MNC01-649F-1-3	Cores	Rajado
23	MNC01-649F-2-11	Cores	Rajado
24	MNC11-1019E-15	Cores	Rajado

Fonte: Embrapa Meio-Norte.

4.2 Condução Experimental

Os 24 genótipos foram cultivados em condições de casa de vegetação no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, sob irrigação, no período de setembro de 2018 a janeiro de 2019. Após a colheita, as amostras de grãos de todos os genótipos foram analisadas no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte em Teresina – PI, no período de janeiro a fevereiro de 2019.

4.3 Delineamento Experimental

O ensaio foi conduzido no delineamento de blocos completos ao acaso com 24 tratamentos e duas repetições. A parcela experimental foi composta de uma fileira de 3,2m, espaçadas 1m entre a fileira e 0,2m entre as plantas, dentro da fileira.

4.4 Preparo das Amostras

Durante o cultivo foram realizados os tratos culturais recomendados para a cultura e a colheita foi realizada de 66 a 90 dias após o plantio, dependendo do ciclo de maturação do genótipo. Após a colheita, as sementes foram armazenadas em câmara sob ar condicionado até o momento das análises. As amostras de grãos foram previamente selecionadas, em seguida lavadas com água destilada, dispostas em sacos de papel e levadas para estufa (400/2ND-300) a 60°C durante 60h. Após a secagem, os grãos foram triturados com auxílio de moinho de bolas de zircônia (MM 200) para obtenção de uma farinha (Figura 2).

Figura 2. (a) Grãos após a lavagem; (b) Farinha obtida após a trituração dos grãos.



4.5 Análises Físico-Químicas do Grão

4.5.1 Teor de Proteínas

A determinação do teor de proteínas foi baseada na determinação de nitrogênio, pelo método de *Kjeldahl*, segundo AOAC (2008), utilizando-se o fator de 6,25.

O método é dividido em três partes. Para a etapa de digestão, pesou-se cerca de 200 mg da amostra em papel manteiga e em seguida a amostra foi transferida para o tubo de *Kjeldahl*. Junto a amostra foram adicionadas 2 g da mistura catalítica (sendo 96,5% de sulfato de potássio e 3,5% de sulfato de cobre) e 5 mL de ácido sulfúrico. O tubo foi levado ao aquecimento em bloco digestor a 400°C, até a solução se tornar azul-esverdeada, livre de material não digerido (cerca de 1h40m). Após esfriar, foram adicionadas 10 mL de água destilada, e o tubo acoplado ao conjunto de destilação.

Para etapa de destilação 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 0,02N de fator conhecido.

O teor de proteínas (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Nitrogênio Total} = \frac{Vac * F * 0,14}{P}$$

Onde:

Vac: volume de ácido clorídrico utilizado na titulação;

F: fator de correção da solução de ácido clorídrico;

P: peso da amostra em gramas.

O cálculo do teor de proteína em porcentagem foi obtido por meio da fórmula seguinte:

$$\text{Teor de proteína (\%)}: \text{Nitrogênio Total} \times 6,25$$

4.5.2 Teores de Ferro e Zinco

Para quantificação dos teores de Ferro e Zinco nos grãos dos genótipos de feijão-caupi, primeiramente houve a preparação do extrato. Para tal, foi pesado 0,2g da amostra que posteriormente foi transferida para o tubo de digestão e adicionado 5 mL de solução digestora

nitro-perclórica (2:1). Os tubos foram colocados em tubo digestor para aquecimento a 200°C por 1h40m. Após a digestão, os extratos se apresentaram límpidos e com volume aproximado de 2mL, após resfriamento foi adicionado água destilada até o volume de 20mL e os tubos agitados em agitador tipo vortex.

Para determinar a quantidade desses minerais, utilizou-se o método proposto por Silva e Queiroz (2002). Após o preparo dos extratos, realizou-se leitura direta em espectrofotômetro de absorção atômica de chama (iCE 3000 Series), onde o comprimento de onda específico de cada elemento foi selecionado de maneira prévia.

As amostras foram classificadas como fonte ou elevado teor em um determinado mineral quando forneceram 15% e 30%, da ingestão diária recomendada (IDR) do mineral por 100 g do produto, de acordo a Resolução nº 269, de 22 de setembro de 2005, considerando a ingestão preconizada por BRASIL (2005).

4.5.3 Qualidade de Cocção

A qualidade de cocção foi avaliada segundo a nova metodologia proposta por Carvalho et al. (2017) com adaptações. Para esta metodologia, duas amostras de 50 grãos de cada genótipo foram dispostas em sacos de organza e identificados. Estes foram colocados em água destilada por 60 min. Posteriormente, para a etapa de cozedura, os sacos foram colocados na parte inferior de uma panela de pressão elétrica (marca Electrolux) com capacidade para 5L, o nível de água utilizado foi 3/5 da capacidade da panela, mantendo a mesma água em que os sacos estavam imersos anteriormente (Figura 3).

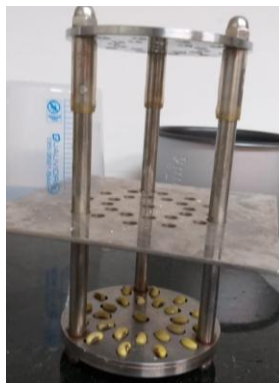
Os grãos contidos nos sacos foram cozidos por 30 minutos, e em seguida colocados em superfície lisa por cinco minutos para resfriamento. A avaliação da porcentagem de grãos cozidos foi realizada com o auxílio do cozedor de Mattson, onde os 25 pinos foram colocados nos grãos e aqueles que perfuraram os grãos completamente foram contabilizados. O tempo de molho e cocção foram pré-estabelecidos em testes preliminares realizados.

Figura 3. (a) Grãos de feijão-caupi acondicionados em sacos de organza; (b) Imersão prévia em água destilada; (c) Painel de pressão elétrica utilizada no experimento; (d) Visão interna dos sacos dispostos na panela.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 4. Grãos de feijão-caupi, após a cocção, acondicionados no cozedor de Mattson.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

4.6 Análise Estatística

4.6.1 Agrupamento de Médias

As médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Tocher com base no limite de distância intergrupo.

4.6.2 Divergência Genética

Para a determinação da divergência genética entre os genótipos foram estimadas as distâncias generalizadas de Mahalanobis (D^2) e o agrupamento dos genótipos foi realizado com base na ligação média entre grupo ou UPGMA (*Unweighted Pair-group Method using Arithmetic Averages*) e na otimização de Tocher.

O método de agrupamento UPGMA é classificado como hierárquico e aglomerativo, onde os indivíduos são agrupados por um processo que se repete em vários níveis até que seja estabelecido um dendrograma (diagrama bidimensional em forma de árvore), que é a representação simplificada da matriz de dissimilaridade. O método de Tocher é classificado como de otimização, onde se realiza a partição do conjunto de genótipos em subgrupos não-vazios e mutuamente exclusivos, por meio da maximização ou minimização de alguma medida preestabelecida; nesse método, adota-se o critério de que a média das medidas de dissimilaridade, dentro de cada grupo, deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos, ou seja, os genótipos que apresentam as maiores distâncias são utilizados no estabelecimento de grupos similares (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A contribuição dos caracteres para a divergência genética foi quantificada segundo a metodologia de Singh (1981).

4.6.3 Software Utilizado

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional Genes (CRUZ, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Agrupamento de Médias

5.1.1 Teor de proteínas

As médias e desvios padrão dos genótipos são apresentados na Tabela 5. A média geral foi de 28,53 g de proteínas. O teor de proteínas variou entre 23,35 g 100g⁻¹ (BRS Novaera) e 32,23 g 100g⁻¹ (MNC01-631-F-20-5), com diferença significativa entre eles pelo agrupamento de Tocher.

Tabela 5. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor (g.100g⁻¹) de proteínas (P) de 24 genótipos de feijão-caupi analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.

Genótipo	Teor de proteínas (g 100g ⁻¹) ± DP
IT-97K-1042-3	29,85 ± 0,78c
IT-810-1045	24,20 ± 0,04h
IT-828-889	26,41 ± 0,01f
BRS Itaim	25,14 ± 1,68g
BRS Novaera	23,35 ± 1,23h
BRS Tumucumaque	27,53 ± 0,08e
Pretinho	29,83 ± 0,12c
BRS Tapaihum	25,12 ± 0,82g
MNC06-901-14-3	26,21 ± 0,18f
TVU-165	26,38 ± 0,93f
TVU-166	27,01 ± 0,08f
TVU-167	27,12 ± 0,75f
BRS Aracê	29,90 ± 0,10c
BRS Juruá	30,21 ± 1,30c
MNC00-595F-27	31,84 ± 3,78a
Pingo-de-Ouro 1-5-7	29,82 ± 4,15c
Pingo-de-Ouro 1-5-8	29,38 ± 4,87c
Inhuma	30,06 ± 4,09c
MNC01-631F-20-5	32,23 ± 3,38a
BRS Rouxinol	30,77 ± 5,78b
Bico de Ouro 1-5-24	28,65 ± 4,36d
MNC01-649F-1-3	30,74 ± 5,33b
MNC01-649F-2-11	31,14 ± 4,01b
MNC11-1019E-15	31,78 ± 4,61a
Média geral	28,53

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tocher, com limite de distância intergrupo de 0,85.

O agrupamento de médias evidenciou que os genótipos MNC11-1019E-15, MNC01-631-F-20-5 e MNC00-59F-27, obtiveram os maiores teores de proteínas, enquanto os genótipos IT-810-1045 e BRS Novaera, os menores, entre os genótipos avaliados. A diferença no teor de proteínas dos genótipos está relacionada à capacidade destes de absorver o nitrogênio disponível no solo e de ser eficiente em realizar a fixação biológica do nitrogênio quando associados com bactérias nitrificantes presentes no solo (GOMES, 2016).

As médias obtidas para cada classe/subclasse comercial avaliada nesse estudo é apresentada no Quadro 2. Observa-se que a subclasse comercial Rajado apresentou a maior média para o teor de proteínas ($31,22\text{g } 100\text{g}^{-1}$), enquanto a classe Branco, o menor teor ($25,34\text{g } 100\text{g}^{-1}$).

Quando utilizado como fonte única de proteína, o valor nutricional da proteína do feijão é baixo, quando misturado ao arroz, por exemplo, forma uma dupla de proteínas mais nutritiva. Porque o feijão é pobre em aminoácidos sulfurados e rico em lisina, enquanto o arroz é pobre em lisina e rico em aminoácidos sulfurados.

Diversos trabalhos avaliaram o teor de proteínas em grãos de feijão-caupi, entretanto esse estudo apresentou média mais alta que a disponível na TACO ($20,20\text{g } 100\text{g}^{-1}$) e a apresentada na literatura. Castellón et al. (2003) e Cavalcante et al. (2017) avaliaram o teor de proteínas de cultivares de feijão-caupi e encontraram uma média de $22,37\text{g } 100\text{g}^{-1}$ e $16,48\text{g } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente.

Barreto et al. (2009) mediram o teor de proteínas em linhagens de feijão-caupi da subclasse comercial verde e obtiveram teores variando entre $24,36$ e $27,26\text{g}$. Neste trabalho, os genótipos dessa subclasse comercial analisados (BRS Aracê, BRS Juruá e MNC00-595-27F) apresentaram maior teor de proteínas, variando entre $29,90\text{g } 100\text{g}^{-1}$ a $31,84\text{g } 100\text{g}^{-1}$, com média $30,65\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

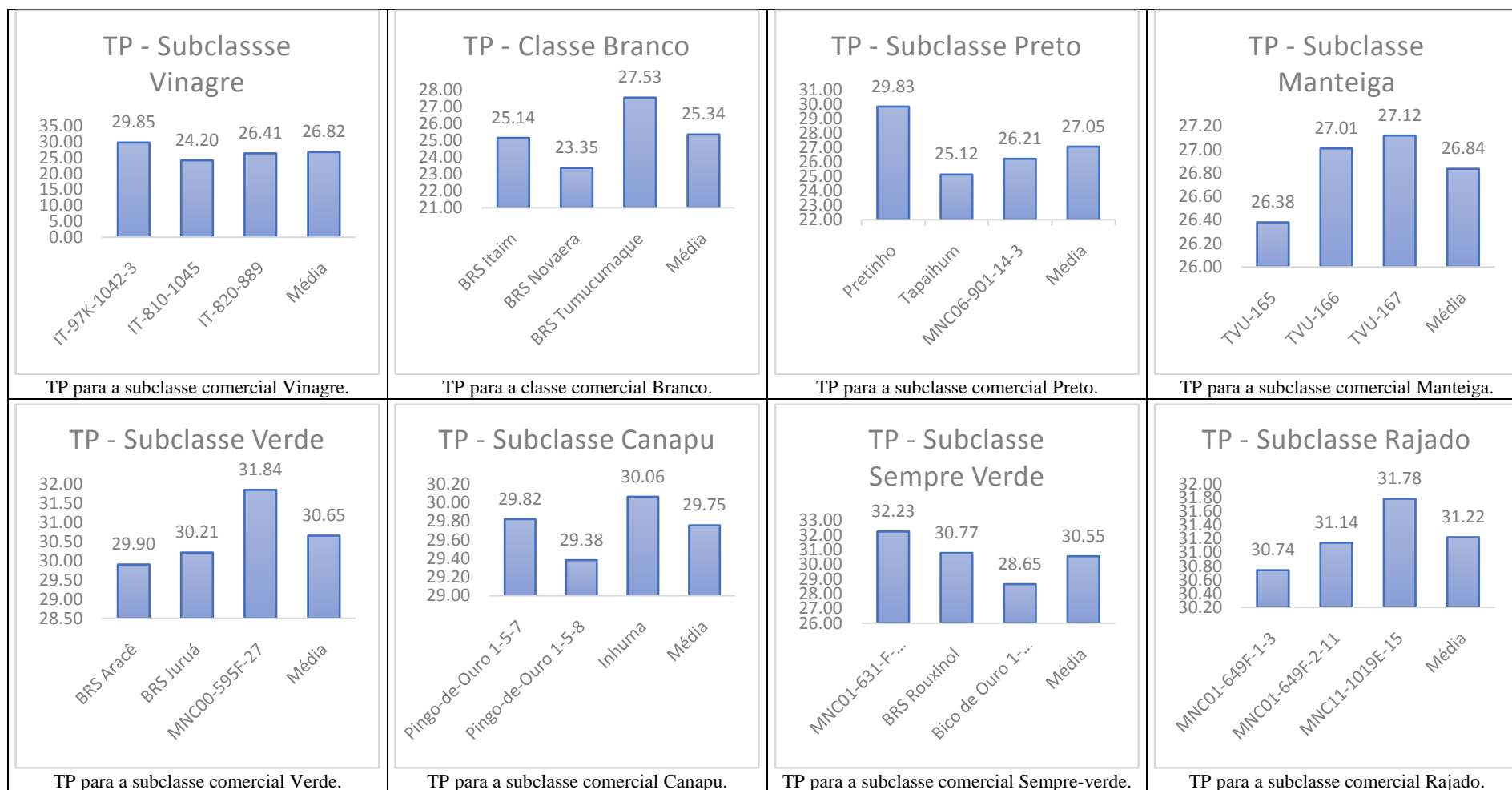
Rocha et al. (2011b) avaliaram o teor de proteínas em linhagens de feijão-caupi da classe comercial branca, subclasse Fradinho e os resultados para o teor de proteínas foi entre $20,38\text{g } 100\text{g}^{-1}$ e $24,94\text{g } 100\text{g}^{-1}$. No presente trabalho o genótipo BRS Itaim, pertencente a essa mesma classe e subclasse, apresentou teor um pouco maior, $25,14\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

A Ingestão Diária Recomendada (IDR) para adultos é de 50g de proteínas. A média dos genótipos analisados pode fornecer cerca de $57,01\%$ da IDR para atender as necessidades de um adulto. Assim, pode-se considerar que o feijão-caupi é um alimento com alto teor de

proteínas, sendo vantajoso seu consumo e sua utilização como matéria-prima na produção de diversos produtos.

O aproveitamento da fonte proteica, também chamado digestibilidade proteica, pode ser influenciada por diversos fatores, como compostos fenólicos, inibidores de proteína e o tratamento térmico. No feijão cru, a digestibilidade é baixa devido a atividade de inibidores de protease, durante o tratamento térmico há uma inibição na atividade dos inibidores, havendo um efeito benéfico na digestibilidade proteica (ANTUNES et al., 1995; MESQUITA et al., 2007).

Quadro 2. Médias do teor de proteínas (TP) por classes/subclasses comerciais de 24 genótipos de feijão-caupi, analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.



5.1.2 Teor de ferro

As médias e desvios padrão para o teor de ferro estão dispostas na Tabela 6. O genótipo IT-97K-1042-3 apresentou o maior conteúdo, com $6,82 \text{ mg}100\text{g}^{-1}$ de feijão-caupi. A média geral desse caráter foi de $6,01 \text{ mg} 100\text{g}^{-1}$, enquanto o genótipo com menor teor de ferro foi o Pingo-de-Ouro 1-5-7, com $5,24 \text{ mg} 100\text{g}^{-1}$.

Tabela 6. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor ($\text{mg}100\text{g}^{-1}$) de ferro (Fe) de 24 genótipos de feijão-caupi, analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.

Genótipo	Teor de Ferro \pm DP
IT-97K-1042-3	$6,82 \pm 0,93^a$
IT-810-1045	$5,28 \pm 1,49h$
IT-828-889	$6,22 \pm 2,30e$
BRS Itaim	$5,43 \pm 0,83h$
BRS Novaera	$6,74 \pm 0,88b$
BRS Tumucumaque	$6,63 \pm 1,33b$
Pretinho	$6,49 \pm 0,03c$
BRS Tapaihum	$5,38 \pm 1,69h$
MNC06-901-14-3	$6,30 \pm 0,73d$
TVU-165	$5,39 \pm 1,28h$
TVU-166	$6,10 \pm 1,14e$
TVU-167	$6,41 \pm 0,69c$
BRS Aracê	$6,42 \pm 0,38c$
BRS Juruá	$5,91 \pm 0,23f$
MNC00-595F-27	$5,72 \pm 0,78g$
Pingo-de-Ouro 1-5-7	$5,24 \pm 1,17i$
Pingo-de-Ouro 1-5-8	$5,77 \pm 2,24g$
Inhuma	$5,63 \pm 1,44g$
MNC01-631F-20-5	$6,25 \pm 1,47e$
BRS Rouxinol	$6,12 \pm 0,90e$
Bico de Ouro 1-5-24	$5,44 \pm 1,50h$
MNC01-649F-1-3	$6,62 \pm 0,78b$
MNC01-649F-2-11	$6,12 \pm 1,47e$
MNC11-1019E-15	$5,73 \pm 1,10g$
Média geral	6,01

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tocher, com limite de distância intergrupo de 1,37.

Os teores de ferro por classes/subclasses comerciais são mostrados no Quadro 3. Vale destacar que todas as subclasses obtiveram médias maiores ao conteúdo de ferro indicado pela

TACO (2011) para o feijão-caupi, que é de 5,1 mg. Há uma ampla literatura sobre o teor de ferro em genótipos de feijão-caupi. Alguns estudos apresentam teor desse mineral menor aos encontrados na presente pesquisa. Oliveira (2016) analisou 12 genótipos de feijão-caupi e obteve teor de ferro que variou de 4,85 e 5,54 mg 100g⁻¹. Rios et al. (2018) analisaram cinco cultivares comerciais de feijão-caupi e obtiveram média menor que a do presente estudo (4,8 mg 100g⁻¹); dentre as cultivares analisadas, estão BRS Novaera e BRS Itaim, que obtiveram 4,48 e 5,40 mg 100g⁻¹ de ferro, respectivamente. Na presente pesquisa, essas cultivares obtiveram médias mais altas, 6,74 e 5,43 mg 100g⁻¹, respectivamente.

Outros trabalhos com feijão-caupi apresentam médias similares e/ou maiores às encontradas neste estudo. Frota, Soares e Arêas (2008) ao caracterizar a BRS Milênio encontraram um teor de ferro de 6,8 mg 100g⁻¹. Freire Filho et al. (2011) observaram variações no teor de ferro entre 4,88 e 7,74 mg 100g⁻¹ em oito genótipos, entretanto é importante destacar que as cultivares BRS Tumucumaque (6,06), BRS Aracê (6,17) e BRS Itaim (4,88), de acordo com as análises do presente trabalho, apresentaram médias maiores: 6,63; 6,42 e 5,43 mg 100g⁻¹, respectivamente.

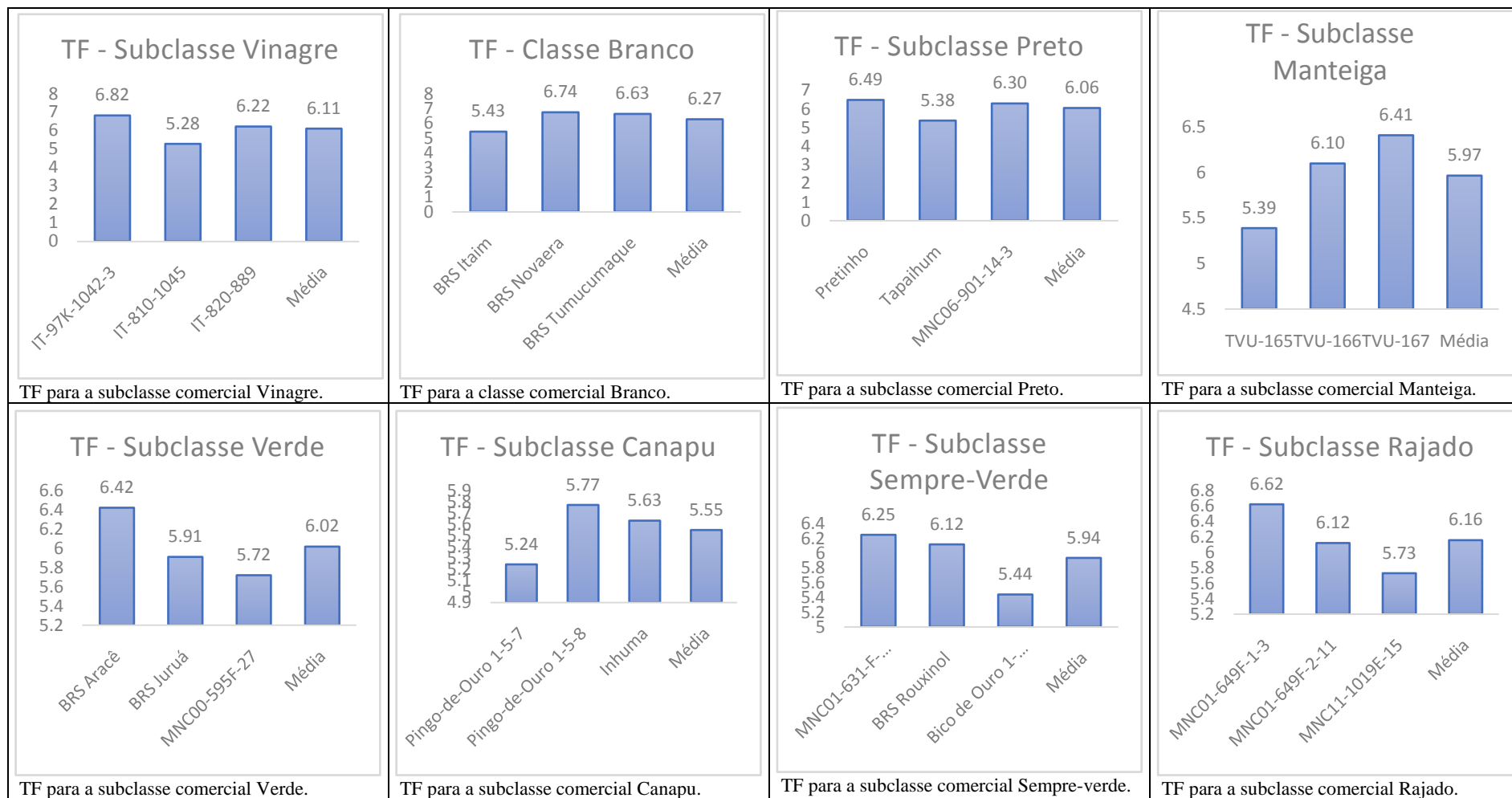
Rocha et al. (2011b) avaliaram teor de ferro em linhagens de feijão-caupi da classe comercial Branco, subclasse Fradinho e observaram variação entre 4,88 e 7,84 mg 100g⁻¹ de ferro. No presente estudo, a classe comercial Branco também foi analisada e esta obteve a maior média (6,27 mg 100g⁻¹), comparativamente às demais classes/subclasses avaliadas. Lovato et al (2018) analisaram cultivares biofortificadas de feijão comum e observaram variações entre 6,52 e 8,25 mg de ferro.

Contudo, ao analisar o teor de ferro indicado pela TACO (2011), de alimentos considerados fontes pela população, observa-se que o teor de ferro encontrado em grãos de feijão-caupi nesta pesquisa é maior que a encontrada nos outros legumes. O cereal aveia apresenta 4,4 mg e o grão de bico 5,4 mg de ferro. O feijão-caupi ficou atrás apenas da lentilha, que possui 7,0 mg de ferro.

A IDR para o ferro é de 14 mg por dia para adultos saudáveis. Dessa forma, se os grãos de feijão-caupi apresentarem 2,1 mg.100g⁻¹ (15% da IDR) pode ser considerado “fonte” desse mineral, e se apresentarem 4,2 mg.100g⁻¹ (30% da IDR) é considerado como “alto teor” desse mineral. Assim, pode-se considerar que todos os genótipos analisados nesse estudo possuem alto teor de ferro, entretanto sua absorção depende de diversos fatores (BRASIL, 2005; ANVISA, 2012).

O consumo de ferro é importante no combate a anemia, estima-se que 50% dos casos de anemia são decorrentes da deficiência de ferro. O ferro presente no feijão é do tipo não-heme, a sua absorção é dependente da solubilização do ferro ingerido no estômago e redução a forma ferrosa no intestino. A absorção do ferro não-heme é de aproximadamente 2 a 10% e é fortemente influenciada por vários componentes da dieta, como quantidade, consumo de alimentos em conjunto que podem facilitar ou inibir a absorção, estado de saúde e estado nutricional de ferro do indivíduo (WHO, 1989; BORTOLINE e FISBERG, 2010).

Quadro 3. Médias do teor de ferro (TF) por classes/subclasses comerciais de 24 genótipos, analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.



5.1.3 Teor de zinco

As médias e desvios padrão para o teor de zinco dos genótipos de feijão-caupi avaliados são apresentadas na Tabela 7. Os genótipos apresentaram média de 4,25 mg 100g⁻¹. O genótipo com maior teor de zinco foi o IT-810-1045, com 6,41mg 100g⁻¹. Esse genótipo também foi considerado o de maior teor de zinco por Rocha et al. (2008) ao avaliarem 46 genótipos de feijão-caupi. É possível observar que a média dos genótipos (4,25 mg) é maior que a indicada pela TACO (3,9 mg).

Tabela 7. Médias e desvio-padrão (DP) para o teor (mg 100g⁻¹) de zinco (Zn) de 24 genótipos de feijão-caupi, analisados em base seca. Teresina, PI, 2019.

Genótipo	Teor de zinco (mg 100g⁻¹) ± DP
IT-97K-1042-3	4,08 ± 0,09c
IT-810-1045	2,88 ± 0,36d
IT-828-889	6,41 ± 0,97 ^a
BRS Itaim	5,47 ± 0,96b
BRS Novaera	4,87 ± 0,96c
BRS Tumucumaque	4,57 ± 0,43c
Pretinho	4,42 ± 0,59c
BRS Tapaihum	3,37 ± 0,46d
MNC06-901-14-3	4,58 ± 0,54c
TVU-165	4,26 ± 1,13c
TVU-166	3,57 ± 0,05d
TVU-167	4,57 ± 0,49c
BRS Aracê	5,63 ± 0,94b
BRS Juruá	4,40 ± 0,21c
MNC00-595F-27	4,40 ± 0,30c
Pingo-de-Ouro 1-5-7	2,72 ± 1,31d
Pingo-de-Ouro 1-5-8	3,91 ± 0,98c
Inhuma	3,47 ± 0,25d
MNC01-631F-20-5	4,36 ± 0,23c
BRS Rouxinol	4,67 ± 0,22c
Bico de Ouro 1-5-24	3,54 ± 0,52d
MNC01-649F-1-3	4,54 ± 0,81c
MNC01-649F-2-11	3,96 ± 0,10c
MNC11-1019E-15	3,41 ± 0,28d
Média geral	4,25

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tocher, com limite de distância intergrupo de 7,76.

A médias do teor de zinco por classe/subclasse comercial são mostradas no Quadro 4. Observa-se que a classe comercial Branco e a subclasse comercial Verde obtiveram as maiores médias para o teor de zinco, enquanto as subclasses comerciais Rajado e Canapu, as menores, sendo que a subclasse Canapu teve média inferior a encontrada na TACO.

Diversos estudos apresentam resultados similares ou menores quanto ao teor de zinco em feijão-caupi. Boukar et al. (2011), Frota, Soares e Arêas (2008) e Santos e Boiteux (2013) obtiveram média de 3,81; 4,1 e 4,63 mg 100g⁻¹, respectivamente. Oliveira (2016) obteve médias variando entre 4,24 a 4,84 mg 100g⁻¹.

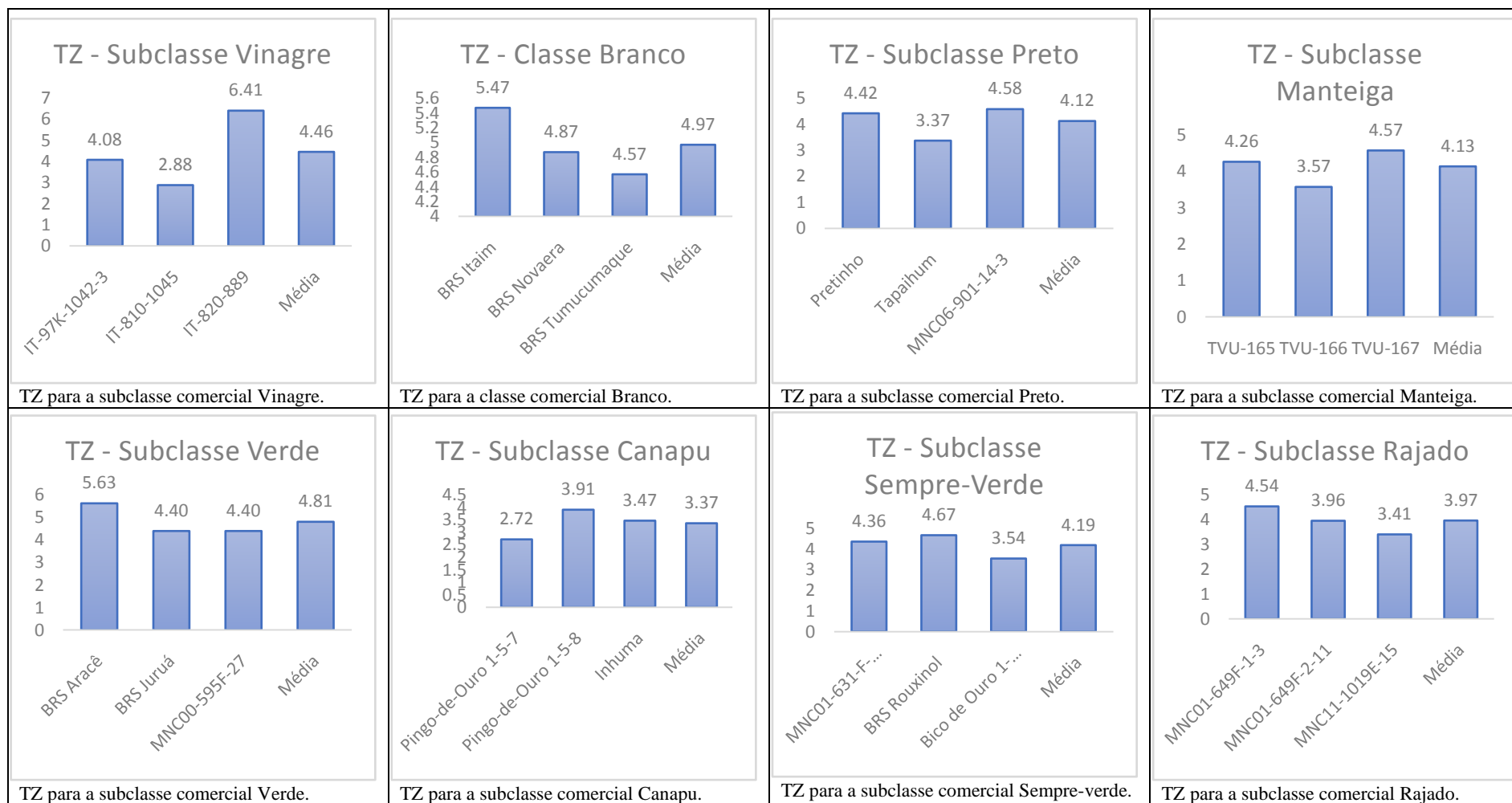
Carvalho et al. (2012) analisaram 30 genótipos de feijão caupi e obtiveram teores de zinco que variaram entre 2,8 e 4,4 mg 100g⁻¹ de zinco. Entre os genótipos avaliados, estão BRS Novaera (3,0 mg 100g⁻¹), BRS Tumucumaque (3,6 mg 100g⁻¹), Inhuma (3,0) e MNC01-631-F-20-5 (3,6 mg 100g⁻¹), que também foram avaliados neste estudo, e os resultados obtidos foram maiores, 4,87; 4,57; 3,47 e 4,36 mg 100g⁻¹, respectivamente.

Rios et al. (2018), ao avaliarem cinco genótipos de feijão-caupi, observaram médias variando entre 3,17 e 5,14 mg 100g⁻¹. As cultivares BRS Novaera e BRS Itaim foram avaliadas por esses autores e obtiveram médias de 3,17 e 5,14 mg 100g⁻¹, respectivamente, essas cultivares, no presente estudo, apresentaram médias de 4,87 e 5,47 mg 100g⁻¹, respectivamente. Barros (2014) avaliou quatro cultivares de feijão-caupi e obteve média de 3,58 mg 100g⁻¹, entre estas estavam as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Aracê e os teores obtidos foram 2,99 e 4,19 mg 100g⁻¹, respectivamente; no presente estudo, apresentaram teores de 4,57 e 5,63 mg de zinco, respectivamente.

A IDR para o teor de zinco é de 7 mg.dia⁻¹ para adultos saudáveis, correspondendo a média dos genótipos a 60,7% da IDR. Dessa forma, como todos os genótipos exibem teor de zinco maior que 2,1 mg 100g⁻¹ (valor correspondente a 30% da IDR) pode-se dizer que todos os genótipos apresentam alto teor de zinco (BRASIL, 2005; TACO, 2011; ANVISA, 2012).

O zinco possibilita diversas funções bioquímicas, sua deficiência pode causar alterações fisiológicas, como danos oxidativos, alterações do sistema imune, danos neuropsicológicos e dermatites. O consumo de zinco é influenciado pela fonte proteica da dieta. Alguns fatores podem afetar a biodisponibilidade do zinco na dieta, como fitatos, aminoácidos, fosfatos e ácidos orgânicos (MAFRA e COZZOLINO, 2004).

Quadro 4. Médias do teor de zinco (TZ) por classes/subclasses comerciais de 24 genótipos, analisado em base seca. Teresina, PI, 2019.



5.1.4 Qualidade de Cocção

A qualidade de cocção, a partir do tempo de molho e cocção pré-determinado em panela de pressão elétrica, foi avaliado por meio da porcentagem de grãos cozidos. As médias e desvios padrão da porcentagem de grãos cozidos dos genótipos avaliados estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8. Médias e desvio-padrão (DP) para porcentagem de grãos cozidos (PGC) de 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.

Genótipo	Porcentagem de grãos cozidos (%)
IT-97K-1042-3	76,0 ± 2,83c
IT-810-1045	84,0 ± 4,24b
IT-828-889	74,0 ± 4,24c
BRS Itaim	94,0 ± 5,66a
BRS Novaera	89,0 ± 4,24b
BRS Tumucumaque	93,0 ± 1,41a
Pretinho	59,0 ± 7,07d
BS Tapaihum	39,0 ± 4,24f
MNC06-901-14-3	59,0 ± 4,24d
TVU-165	99,0 ± 1,41a
TVU-166	97,0 ± 4,24a
TVU-167	100,0 ± 0,00a
BRS Aracê	96,0 ± 0,00a
BRS Juruá	78,0 ± 7,07c
MNC00-595F-27	96,0 ± 0,00a
Pingo-de-Ouro 1-5-7	47,0 ± 7,07e
Pingo-de-Ouro 1-5-8	46,0 ± 7,07e
Inhuma	25,0 ± 1,41g
MNC01-631-F-20-5	18,0 ± 5,66h
BRS Rouxinol	70,0 ± 7,07c
Bico de Ouro 1-5-24	52,0 ± 7,07d
MNC01-649F-1-3	17,0 ± 9,90h
MNC01-649F-2-11	6,0 ± 5,66i
MNC11-1019E-15	3,0 ± 1,41i
Média	63,21

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tocher, com limite de distância intergrupo de 7,0.

Houve diferença significativa entre os genótipos e sete deles foram considerados os de melhor qualidade de cocção (com maior porcentagem de grãos cozidos), são estes: BRS Itaim,

BRS Tumucumaque, TVU-165, TVU-166, TVU-167, BRS Aracê, MNC00-595F-27. Estes genótipos representam as subclasses Branco, Manteiga e Verde.

A subclasse manteiga foi a que obteve a melhor qualidade de cocção, com média de 98,67% de grãos cozidos, enquanto as subclasses Canapu e Rajado, as piores qualidades de cocção (Quadro 5). As subclasses Preto e Sempre Verde apresentaram qualidade de cocção intermediária, respectivamente, com 52,33% e 46,67% de grãos cozidos.

Dos 24 genótipos avaliados, dois (MNC01-649F-2-11 e MNC11-1019E-15) apresentaram as menores porcentagens de grãos cozidos. Ambos os genótipos são da subclasse comercial Rajado. Como os genótipos foram cultivados sob as mesmas condições e ao mesmo tempo, as diferenças observadas na qualidade de cocção são explicadas principalmente por diferenças genéticas.

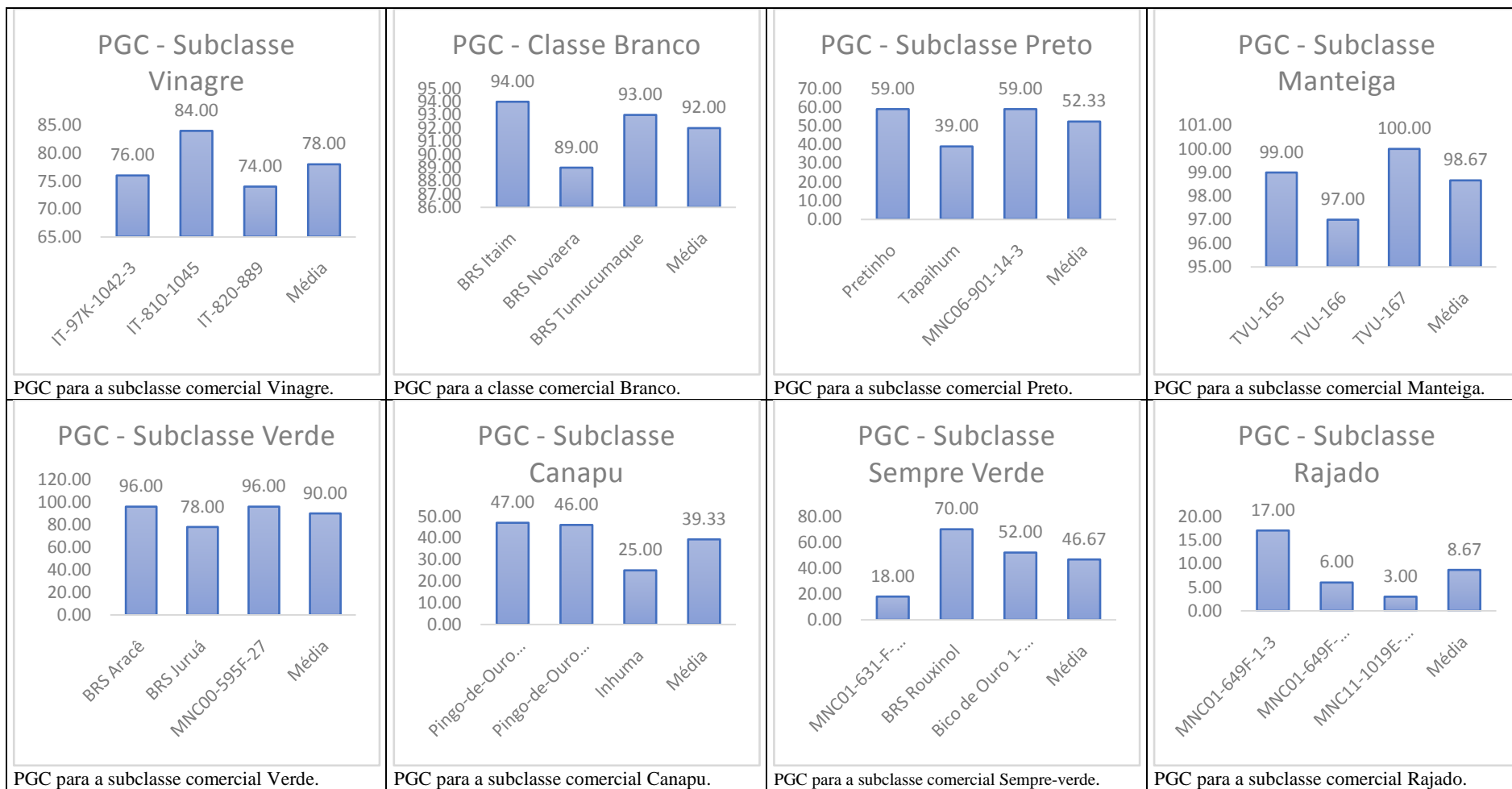
Carvalho et al. (2017) avaliaram 256 genótipos de feijão comum utilizando a mesma metodologia e obtiveram como resultado uma média de 36,71% para a porcentagem de grãos cozidos, menor que a média determinada no presente estudo (63,21%).

A literatura tem reportado que a maioria das avaliações do tempo de cocção tem utilizado o cozedor de Mattson. O novo método de avaliação, utilizado no presente estudo, tem como vantagens: um maior número de amostras possíveis de avaliações diárias e a utilização da panela de pressão que se assemelha ao processo realizado pelas donas de casa (CARVALHO et al., 2017).

Segundo o método de Mattson (1946) quando 13 das 25 varetas perfuram os grãos, a amostra é considerada cozida e o tempo anotado. Se for levado em consideração esse método em que com 52% dos grãos perfurados a amostra é considerada cozida, pode-se considerar que 16 dos 24 genótipos atingiram o ponto de cocção ideal para consumo.

Vários estudos têm avaliado o tempo de cocção em genótipos de feijão-caupi utilizando o cozedor de Mattson (1946). Os tempos de cocção variaram em decorrência do tempo de molho antes da cocção. Dias-Barbosa (2015) avaliou o tempo de cocção de 33 genótipos de feijão-caupi e obteve uma variação de 15,32 min. a 29,24 min., com uma média de 20,73 min. Ceccon et al. (2013), avaliando 20 genótipos de feijão-caupi obtiveram uma variação entre 16,59 min. e 47,61 min., com uma média de 26,03 min.

Quadro 5. Médias da porcentagem de grãos cozidos (PGC) por classes/subclasses comerciais de 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.



As subclasses comerciais Manteiga e Branco mostraram melhor qualidade de cocção, relativamente às demais classes/subclasses analisadas. Hamid et al. (2016), avaliando duas cultivares de feijão-caupi, sendo uma de grão preto e outra de grão vermelho, concluíram que a cultivar de grão preto apresentou cocção mais rápido do que a cultivar de grão vermelho. Diferentemente, no presente trabalho, a subclasse comercial Vinagre, de grão vermelho, apresentou uma qualidade de cocção melhor que a subclasse comercial Preto. Provavelmente, o tamanho do grão seja um dos aspectos que tenha influenciado na qualidade de cocção, pois os genótipos da subclasse comercial Manteiga apresentam tamanho de grão pequeno, pois são do tipo manteiguinha, e as demais classes/subclasses comerciais avaliadas apresentam grãos de tamanho médio a extra-grande.

5.2 Divergência Genética

As análises de divergência genética permitem identificar as combinações com maior efeito heterótico e melhor heterozigose e objetivam identificar genitores para formar populações e conseguir ganhos em ciclos sucessivos de seleção (PASSOS et al., 2007).

Verificaram-se diferenças significativas entre os genótipos para todos os caracteres avaliados, evidenciando variabilidade entre os genótipos. Na Tabela 9 é apresentada a contribuição relativa de cada um dos caracteres de qualidade avaliados. A partir dela pode-se notar que a variável que mais contribuiu para a variabilidade foi a qualidade de cocção, e a que menos contribuiu foi o mineral ferro. Segundo Cruz e Carneiro (2006) as características de menor importância ao estimar a divergência, são as que apresentam menor variabilidade.

Tabela 9. Contribuição relativa das características avaliadas para divergência genética em 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.

Característica	Contribuição (%)
Teor de proteínas	12,86%
Teor de ferro	4,41%
Teor de zinco	8,52%
Porcentagem de grãos cozidos	74,21%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

5.2.1 Distância Generalizada de Mahalanobis

As medidas de dissimilaridade genética entre os genótipos de feijão-caupi baseado na distância de Mahalanobis são apresentadas na Tabela 10. O conhecimento da distância genética é importante por possibilitar a escolha de genitores que vão dar origem a populações segregantes. A partir de então podemos observar que o máximo valor de divergência genética obtido foi entre os genótipos BRS Novaera e MNC11-1019E-15, $D^2 = 86,76$, significando que esses genótipos possuem menor similaridade.

O menor valor de divergência genética encontrado foi entre os genótipos BRS Tumucumaque e TVU-167, $D^2 = 0,38$, indicando que estes possuem maior similaridade. O cruzamento entre esses dois genótipos para fins de melhoramento deve ser evitado, tendo em vista que existe alta probabilidade de obtenção de descendentes menores aos parentais.

Outras combinações que obtiveram elevado valor de divergência genética e também merecem atenção na seleção dos genótipos são: TVU-167 e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 85,69$); BRS Aracê e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 78,70$); BRS Itaim e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 78,45$); TVU – 165 e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 76,77$); TVU-166 e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 76,55$); BRS Tumucumaque e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 76,44$); TVU-167 e MNC01-649F-2-11 ($D^2 = 74,79$); IT-810-1045 e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 60,40$); IT-829-889 e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 61,51$) e MNC00-595F-27 e MNC11-1019E-15 ($D^2 = 66,84$).

Dentre as combinações com maior D^2 , a combinação MNC00-595F-27 e MNC11-1019E-15 possui alto teor de proteínas. As combinações TVU-167 e MNC01-649F-2-11; e IT-829-889 e MNC11-1019E-15 possuem as maiores concentrações de ferro e zinco, respectivamente, dentre os maiores D^2 . Essas combinações poderiam gerar cultivares biofortificadas, uma vez que possuem divergência genética e alto teor de nutriente a ser ampliado. Com relação a maior dissimilaridade, chama a atenção o genótipo 24 (MNC11-1019E-15) que quando comparada aos outros 23 genótipos é apontado com maior valor de divergência genética em quinze casos.

5.2.2 Agrupamento dos genótipos pelo Método de Otimização de Tocher

O agrupamento formado de acordo com o método de otimização de Tocher é mostrado na Tabela 11. Esse método se baseia no princípio de que os genótipos são classificados como similares dentro do grupo, mas dissimilares entre os grupos.

Tabela 10. Dissimilaridade genética entre 24 genótipos de feijão-caupi em relação aos caracteres teores de proteínas, ferro e zinco e porcentagem de grãos cozidos, baseada na distância de Mahalanobis (D^2). Teresina, PI, 2019.

G	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	08,29	09,99	10,09	10,79	03,53	02,88	18,80	05,37	06,83	04,62	05,85	05,89	01,73	05,39	15,78	10,59	26,60	30,34	02,27	09,68	27,93	42,19	50,19
2		16,52	09,06	09,93	07,86	11,79	15,70	08,47	04,57	04,06	08,52	15,49	08,38	13,03	17,62	16,13	32,84	44,24	11,46	11,92	41,11	53,70	60,40
3			04,19	07,84	08,06	09,40	22,90	05,79	10,33	14,14	09,90	06,84	09,07	15,64	30,42	17,96	36,30	37,88	08,57	18,21	32,81	49,92	61,51
4				04,79	04,05	14,29	28,28	10,07	02,45	06,25	03,73	04,55	08,35	10,32	33,42	24,27	47,14	53,61	10,87	21,64	49,30	67,56	78,45
5					03,79	17,36	31,15	10,53	06,94	06,68	04,09	09,47	14,63	19,12	40,67	30,04	53,97	60,87	17,16	27,75	53,34	73,95	86,76
6						10,61	29,95	09,66	02,49	01,60	00,38	02,53	05,61	06,42	30,42	22,77	45,60	51,21	08,14	20,52	46,98	65,84	76,44
7							09,43	02,43	13,21	12,58	14,45	12,05	02,77	10,79	08,22	02,97	13,10	15,21	01,25	03,40	13,40	23,92	30,60
8								07,05	28,22	28,81	34,97	36,74	17,24	32,90	05,59	03,71	05,91	12,23	14,86	03,44	09,90	14,09	18,01
9									11,62	11,99	13,04	13,55	05,98	16,23	12,69	05,64	17,18	21,18	04,91	05,54	17,04	28,86	37,05
10										01,50	01,90	04,69	05,60	05,31	27,66	22,64	45,14	53,71	09,20	18,83	50,98	67,86	76,77
11											01,49	06,11	06,09	05,94	26,97	22,95	45,14	53,83	09,75	19,22	50,66	67,76	76,55
12												02,76	07,55	06,79	35,21	27,65	52,54	59,14	10,93	24,70	54,92	74,79	85,69
13													05,44	04,15	34,31	24,99	48,57	51,24	07,32	23,63	48,45	67,84	78,70
14														02,82	12,56	08,31	23,37	27,39	00,57	07,05	26,65	39,24	46,05
15															23,13	19,70	39,61	44,32	05,16	17,24	44,86	59,82	66,84
16																02,35	04,08	09,83	10,74	01,60	11,36	13,81	15,04
17																	04,02	07,08	05,72	00,52	06,70	12,21	16,17
18																		02,06	18,61	05,76	02,94	02,97	04,25
19																			20,96	10,75	00,90	01,50	03,66
20																				05,48	20,22	31,88	38,60
21																					10,57	16,21	19,83
22																						02,25	05,92
23																							00,98

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

1. IT-97K-1042-3; 2. IT-810-1045; 3. IT-828-889; 4. BRS Itaim; 5. BRS Novaera; 6. BRS Tumucumaque; 7. Pretinho; 8. BRS Tapaihum; 9. MNC06-901-14-3; 10. TVU-165; 11. TVU-166; 12. TVU-167; 13. BRS Aracê; 14. BRS Juruá; 15. MNC00-595F-27; 16. Pingo-de-Ouro 1-5-7; 17. Pingo-de-Ouro 1-5-8; 18. Inhuma; 19. MNC01-631F-20-5; 20. BRS Rouxinol; 21. Bico de Ouro 1-5-24; 22. MNC01-649F-1-3; 23. MNC01-649F-2-11; 24. MNC11-1019E-15.

Observou-se a formação de seis grupos de genótipos. Dias et al. (2015) e Sousa et al. (2017), avaliando 16 e 24 genótipos de feijão-caupi, respectivamente, para oito caracteres agronômicos, encontraram a formação de mais de seis grupos pelo método de otimização de Tocher.

O grupo 1 foi formado por 20,83% dos genótipos, compreendendo seis genótipos: BRS Tumucumaque; TVU-167; TVU-166; TVU-165 e BRS Aracê. Observa-se que todos os genótipos da subclasse comercial Manteiga ficaram alocados nesse grupo, evidenciando a existência de similaridade genética entre esses genótipos. O agrupamento de todos os representantes dessa subclasse comercial nesse grupo sugere que as características dos grãos dos representantes dessa subclasse comercial, como a cor do tegumento creme e tamanho pequeno, tipo manteiguinha (FREIRE FILHO, 2011; FREIRE FILHO et al. 2017), pode ter sido um aspecto que contribuiu para o agrupamento. Outro aspecto é a genealogia, pois os três genótipos apresentam a mesma. Por outro lado, esse grupo alocou também dois genótipos pertencentes às subclasses comerciais Branco Liso e Verde, evidenciando que a similaridade também pode ser devido a outros aspectos que estão ligados à genealogia dos genótipos.

Tabela 11. Resultado do agrupamento pelo método de otimização de Tocher modificado com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) entre os 24 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2019.

Grupo	Genótipos	%
1	BRS Tumucumaque (6), TVU-167 (12), TVU-166 (11), TVU-165 (10) e BRS Aracê (13).	20,83
2	Pingo-de-Ouro 1-5-7 (17), Bico de Ouro 1-5-24 (21), Pingo-de-Ouro 1-5-8 (16), BRS Tapaihum (8), Inhuma (18) e Pretinho (7).	25,00
3	BRS Juruá (14), BRS Rouxinol (20), IT-97K-1042-3 (1), MNC00-595F-27 (15) e MNC06-901-14-3 (9).	20,83
4	MNC01-631-F-20-5 (19), MNC01-649F-1-3 (22), MNC01-649F-2-11 (23) e MNC11-1019E-15 (24).	16,67
5	IT-828-889 (3), BRS Itaim (4) e BRS Novaera (5)	12,50
6	IT-810-1045 (2)	4,17

Fonte: Dados da Pesquisa, 2019.

O grupo 2 compreendeu 25% dos genótipos, sendo formado pelos genótipos Pingo-de-Ouro 1-5-8, Bico de Ouro 1-5-24, Pingo-de-Ouro 1-5-8, BRS Tapaihum, Inhuma e Pretinho. Esse grupo alocou a maioria dos genótipos da classe comercial Preto (pretinho e BRS Tapaihum) e todos da classe comercial Cores, subclasse Canapu, evidenciando mais um caso de similaridade entre representantes da subclasse comercial. Outro aspecto é a genealogia, pois os genótipos Pingo-de-Ouro 1-5-8 e Pingo-de-Ouro 1-5-24 são linhagens irmãos,

selecionados dentro da cultivar Pingo-de-Ouro. Segundo Freire Filho et al. (2017), os grãos da subclasse comercial Canapu apresentam cor marrom-claro, lisos, relativamente grandes, bem cheios e levemente comprimidos nas extremidades, com largura, comprimento e altura aproximadamente iguais e, juntamente com a subclasse comercial Sempre-Verde, é uma das subclasses comerciais de maior valor econômico.

Os genótipos IT-97K-1042-3, BS Juruá, MNC00-595F-27 e MNC06-901-14-3 foram alocados no grupo 3, representando 20,83% dos genótipos, e são pertencentes a diferentes subclasses comerciais (Vinagre, Verde e Preto), mas todos da classe Cores.

O grupo 4 compreendeu os genótipos MNC01-631-F-20-5, MNC01-649F-1-3, MNC01-649F-2-11 e MNC11-1019E-15. Todos os genótipos da classe comercial cores, subclasse Rajado foram alocados nesse grupo, evidenciando mais um caso de similaridade entre representantes de subclasse comercial. Adicionalmente, as linhagens MNC01-649F-1-3 e MNC01-649F-2-11 apresentam a mesma genealogia. Segundo Freire Filho et al. (2017), apresentam grãos com tegumento de cor marrom, com rajas longitudinais de tonalidade mais escura, com grande potencial de mercado no Brasil.

O grupo 5 compreendeu três genótipos, representando 12,5% dos genótipos, sendo dois representantes da classe Branco, subclasses Fradinho (BRS Itaim) e Branco Rugoso (BRS Novaera), e Cores, subclasse Vinagre (IT-828-889). Os genótipos da classe Branco são atualmente os que apresentam maior potencial para exportação. O grupo 6 compreendeu apenas um genótipo (IT-810-1045), 4,17% dos genótipos, pertencente à classe comercial Cores, subclasse Vinagre. Esse genótipo tem sua genealogia a partir de parentais africanos.

5.2.3 Agrupamento dos genótipos pelo Método da Ligação Média entre Grupo - UPGMA

O dendrograma representando a dissimilaridade genética entre os 24 genótipos de feijão-caupi obtido pelo método de agrupamento UPGMA, com base na distância generalizada de Mahalanobis, é apresentado na Figura 1. De acordo com o critério global, foi recomendado um ponto de corte a uma distância de 16,7 e a interpretação dos grupos foi realizada com base nesse ponto de corte. Segundo Cruz (1990), um contratempo comum a métodos de agrupamentos hierárquicos é relacionado a dificuldade na decisão da quantidade de grupos formados, porque não há um critério único definido para determinar este número. É sugerido a realização de análise visual de pontos onde ocorrem mudanças nos níveis, possibilitando assim delimitar os grupos.

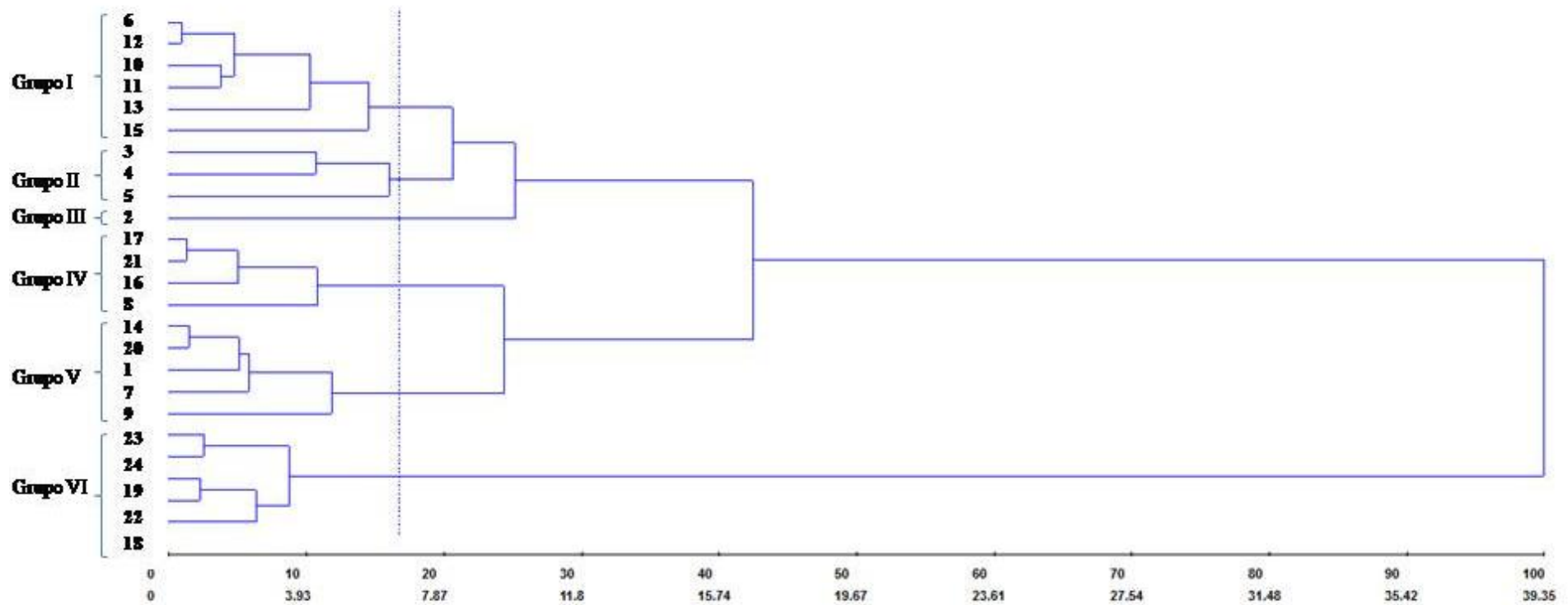


Figura 5. Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre os 24 genótipos de feijão-caupi, obtidos pelo método de agrupamento UPGMA, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade. (1) IT-97K-1042-3, (2) IT-810-1045, (3) IT-828-889, (4) BRS Itaim, (5) BRS Novaera, (6) BRS Tumucumaque, (7) Pretinho, (8) BRS Tapaihum, (9), (10) TVU-165, (11) TVU-166, (12) TVU-167, (13) BRS Aracê, (14) BRS Juruá, (15) MNC00-595F-27, (16) Pingo-de-Ouro 1-5-8, (17) Pingo-de-Ouro 1-5-7, (18) Inhuma, (19) MNC01-631-F-20-5, (20) BRS Rouxinol, (21) Bico de Ouro 1-5-24, (22) MNC01-649F-1-3, (23) MNC01-649F-2-11; (24) MNC11-1019E-15.

A partir do exame visual foi possível verificar a formação de seis grupos. Santos et al. (2016), avaliando 40 genótipos de feijão-caupi para sete caracteres agrônômicos, obtiveram a formação de quatro grupos pelo método de agrupamento UPGMA. O grupo (I) alocou seis genótipos (6, 12, 10, 11, 13 e 15); o grupo II, três genótipos (3, 4 e 5); o grupo III, apenas um genótipo (2); o grupo IV, quatro genótipos (17, 21, 16 e 8); o grupo V, cinco genótipos (14, 20, 1, 7 e 9); e o grupo VI, cinco genótipos (23, 24, 19, 22 e 18). De forma geral, tanto os agrupamentos determinados pelo método de Tocher como os gerados pelo método UPGMA apresentaram dentro dos grupos uma certa coincidência no agrupamento dos genótipos quanto a cor e aspecto do tegumento do grão ou das classes/subclasses comerciais. Apesar dessas características não terem sido incluídas nas análises de divergência, além das características estudadas, provavelmente também tiveram influência considerável na determinação da divergência entre os genótipos.

Os resultados evidenciaram uma forte associação entre os métodos UPGMA e de otimização de Tocher, tendo em vista muitas coincidências de agrupamentos dos genótipos observadas para a maioria dos grupos determinados por ambos os métodos. No entanto, observou-se uma pequena inconsistência de agrupamento, como por exemplo no Grupo IV determinado pelo método UPGMA, quando se compara com o seu análogo (grupo II) pelo método de Tocher, onde este alocou mais genótipos (7 e 18), além dos genótipos, considerados pelo método UPGMA (8, 16, 17 e 21).

Uma explicação para essa pequena inconsistência nos agrupamentos determinados pelos dois métodos são as diferenças nos princípios estatísticos em que são baseados. Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), o método UPGMA é classificado como hierárquico e aglomerativo, neste caso, não há preocupação com o número ótimo de grupos, uma vez que o interesse maior está na "árvore" e nas ramificações que são obtidas onde se avaliam pontos de alta mudança de nível, que tornam delimitadores do número de genótipos para determinado grupos genéticas, já o método de Tocher é de otimização, ou seja, há uma preocupação com o número ótimo de grupos, e adota o critério de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos, onde estes são formados a partir de pares de genótipos mais similares ou de menor distância.

6 CONCLUSÕES

Os genótipos de feijão-caupi apresentam alto teor de proteínas, e dos minerais ferro e zinco, com quantidades superiores a 30% da IDR.

A qualidade de cocção e o teor de proteínas as características que apresentam maior variabilidade genética e os principais contribuintes para a divergência genética entre os genótipos de feijão-caupi avaliados.

A cultivar BRS Novaera e a linhagem MNC11-1019E-15 são os genótipos mais geneticamente divergentes, enquanto a cultivar BRS Tumucumaque e a linhagem TVU-167, os mais similares, em termos de proteínas, ferro, zinco e qualidade de cocção.

As classes/subclasses comerciais de feijão-caupi: Rajado e Verde destacam-se em teor de proteínas; Branco, Verde e Vinagre apresentam maior potencial para os teores de ferro e zinco; e Manteiga, Branco e Verde exibem a melhor qualidade de cocção.

Considerando os melhores teores de proteínas, ferro e zinco; qualidade de cocção e a alta divergência genética entre os genótipos, recomenda-se os cruzamentos MNC00-595F-27 x MNC11-1019E-15, TVU-167 x MNC01-649F-2-11 e IT-829-889 x MNC11-1019E-15, visando o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi biofortificadas e com excelente qualidade de cocção.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões sul e alto Parnaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 105-112, 1994.

ADEBOOYE, O.C.; SINGH, V. Effect of cooking on the profile of phenolics, tannins, phytate, amino acid, fatty acid and mineral nutrients of whole-grain and decorticated vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Food Quality**, v. 30, p. 1101-1120, 2007.

ANDRADE JUNIOR, A. S. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108p.

ANTUNES, P. L.; BILHALVA, A. B.; ELIAS, M. C.; SOARES, G.J.D. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivares rico 23, pirata-1 e rosinha-g2. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, n.1, jan-abr/1995.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANTÁRIA. Resolução da diretoria colegiada. **RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012**. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre Informação Nutricional Complementar.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. ed. 17, v. 2, Chapter 50, p.15-18, 2008.

BARRETO, A.L.H.; FRANCO, L.J.D.; MOURA, R.M.; SANTOS, A.C.; MEDEIROS, A.M.; ASSUNÇÃO FILHO, J.R.; ROCHA, M.M.; SILVA, K.J.D.; FREIRE FILHO, F.R.; NUTTI, M.R.; CARVALHO, J.L.V. Avaliação dos conteúdos de ferro, zinco e proteínas em linhagens de feijão-caupi tipo verde. In: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 3., 2009. **Anais...** Aracaju/Rio de Janeiro: Embrapa Tabuleiros Costeiros/Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009.

BARROS, N. V. A. **Influência do cocção na composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão-caupi**. 2014. 90 f. Dissertação

(Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2014.

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, p.824-31, 2017.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Parental selection strategies in plant breeding programs. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 211-222, 2007.

BERTINI, C. H. C. M.; TEOFILO, E. M.; DIAS, F. T. C. Divergência genética entre acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da UFC. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 1, p. 99-105, 2009.

BIOFORT. Disponível em: <<https://biofort.com.br/rede-biofort/>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

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

BOUKAR, O. MASSAWE, F.; MURANAKA, S.; FRANCO, J.; MAZIYA-DIXON, B.; SINGH, B.; FATOKUN, C. Evaluation of cowpea germplasm lines for protein and mineral concentrations in grains. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, v.9, n.4, 2011.

BRAHMAIAH, M.; JHANSI RANI, K.; SUNIL, N.; KESHAVULU, K. Genetic divergence in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] for yield components and seed quality parameters. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 5, n. 1, p. 107-111, 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas e minerais.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável**. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. 210p

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant soil**, v. 302, p. 1-17, 2008.

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

CARVALHO, L.M.J.; PEREIRA, E.J.; VIANA, D.S.; NUTTI, M.R.; ROCHA, M.M.; SILVA, K.J.D.; CARVALHO, J.L.V. Tempo de cocção de cultivares de feijão-caupi. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO, 4., 2011. **Anais...** Teresina/Rio de Janeiro: Embrapa Meio-Norte/Embrapa Agroindústria de Alimentos.

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

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

CARVALHO, L. C. B. **Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

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

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

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Effect of thermal processing on chemical compositions, bioactive compounds, and antioxidant activities of cowpea cultivars. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1050-58, 2017.

CECCON, G.; ROCHA, M.M.; SANTOS, A.; BRITO, M.F.F.; MONTEIRO, P.O. Produtividade e tempo de cocção de grãos de feijão-caupi de porte ereto e semiereto cultivados em dourados, MS, ano 2011. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013. **Anais...**Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2013.

COÊLHO, J.D. **Produção de grãos – feijão, milho e soja**. Caderno Setorial ETENE. Ano 3, nº33, junho 2018.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Observatório Agrícola, Safra 2018/19**. Quinto levantamento, fevereiro de 2019.

COSTA, E. M. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; MEDEIROS, A. M.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J. Genetic divergence among African cowpea lines based on morphoagronomic traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6773-6781, 2013.

COSTA, N. Q. **Características nutritivas e sensoriais de formulações de baião-de-dois elaboradas a partir de arroz integral e feijão-caupi biofortificados**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990..

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. vol.1, 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

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

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Volume 2. Viçosa: Editora UFV, 2006. 585p.

CRUZ, C.D.; FERREIRA, F.M.; PESSONI, L.A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620p.

CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n.1, p. 207-222, 2011.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Vol.1. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.

D'ALBUQUERQUE, C. L. C. **Adaptabilidade estabilidade produtiva e características tecnológicas de genótipos de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. 2013. 119 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; MENEZES JUNIOR, J. A. N. Sócioeconomia. In: BASTOS, E. A. (Coord.). **A Cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte; Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Divisão de Análise de Risco de Pragas, 2016.

DIAS, F. T. C.; BERTINI, C. H. C. M.; SILVA, A. P. M.; CAVALCANTI, J. J. V. Variabilidade genética de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce analisada por marcadores RAPD e ISSR. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 563-572, 2009.

DIAS-BARBOSA, C. Z. M. C. **Seleção de linhagens elite de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) para biofortificação de ferro e zinco**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

FAO/OPAS. **Panorama da Segurança Alimentar e Nutricional. América Latina e o Caribe**. Santiago: FAO, 2017.

FAO: **Fome aumenta no mundo e na América Latina e no Caribe pelo terceiro ano consecutivo**. 2018. Disponível em:

<<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/1152189/>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

FAOSTAT. **Crops**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 29 nov. 2018.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, A. A. Cultivares de caupi para região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 67-88. (Embrapa Meio-Norte. Circular técnica, 28).

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

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

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO, 4., 2011. **Palestras...** Teresina/Rio de Janeiro: Embrapa Meio-Norte/Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* Cultura: aspectos socioeconômicos. In: DO VALE, J. C.; BERTINI, C. H. M.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. p. 9-34.

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.

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Utilização de farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p.44-50, 2009.

FROTA, K. M. G.; LOPES, L. A. R.; SILVA, I. C. V.; ARÊAS, J. A. G. Nutritional quality of the protein of *Vigna unguiculata* L. Walp. and its protein isolate. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 792-798, 2017.

GOMES, G. R. **Componentes de produção, rendimento e qualidade nutricional do feijão-vagem arbustivo em sistemas de produção convencional e orgânico**. 2016. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

GONÇALVES, A.; GOUFO, P.; BARROS, A.; DOMÍNGUEZ-PERLES, R.; TRINDADE, H.; ROSA, E. A.; FERREIRA, L.; RODRIGUES, M. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 2941-2951, 2016.

HAMID, S.; MUZAFFAR, S.; WANI, I.A.; MASOODI, F.A.; BHAT, M.M. Physical and cooking characteristics of two cowpea cultivars grown in temperate Indian climate. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, p. 127-134, 2016.

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

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

- KERR, W. L.; WARD, C. D. W.; MCWATTERS, K. H.; RESURRECCION, A. V. A. Milling and particle size of cowpea flour and snack chip quality. **Food Research International**, v. 34, p. 39-45, 2001.
- KING, J.C.; SHAMES, D.M.; WOODHOUSE, L.R. Zinc homeostasis in Humans. **The Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1360-1366, 2000.
- LANDIM, L. A. S. R.; PESSOA, M. L.; BRANDÃO, A. C.; MORGANO, M. A.; ARAÚJO, M.A.M.; ROCHA, M.M.; ARÊAS, J.A.; MOREIRA-ARAÚJO, R.S. Impact of the two different iron fortified cookies on treatment of anemia in preschool children in Brazil. **Nutrición Hospitalaria**, v. 33, n. 5, p. 1142-1148, 2016.
- LAM-SANCHEZ, A.; DURIGAN, J. F.; CAMPOS, S. L.; SILVESTRE, S. R.; PEDROSO, P. A. C.; BANZATTO, D. A. Efeitos da época de semeadura sobre a composição química e características físico-químicas de grão de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus angularis* (Wild) Wright e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Alimentos e Nutrição**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 1990.
- LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 34, n. 1, p. 31-67, 1994.
- LIMA, A. M.; GAMALLO, S. M. M.; OLIVEIRA, F. L. C. Desnutrição energético-proteica grave durante a hospitalização: aspectos fisiopatológicos e terapêuticos. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 28, n. 3, p. 353-61, 2010.
- LOVATO, F.; KOWALESKI, J.; SILVA, S.Z.; HELDT, L.F.S. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biofortificado (*Phaseolus vulgaris* L.) **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, 2018.
- MACHADO, C. F.; NUNES, G. H. S.; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. Divergência genética entre genótipos de feijoeiro a partir de técnicas multivariadas. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 251-258, 2002.

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

MARÉCHAL, R.; MARCHERPA, J. M.; STAINER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, v. 28, p. 1-273, 1978.

MARTINÉZ-MANRIQUE, E.; JACINTO-HERNÁNDEZ, C.; GARZA-GARCÍA, R.; CAMPOS, A.; MORENO, E.; BERNAL-LUGO, I. Enzymatic changes in pectic polysaccharides related to the beneficial effect of soaking on bean cooking time. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, p. 2394-2398, 2011.

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

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 proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1114-1121, jul-ago, 2007.

MIRANDA, M. A. P.; LAMBERT, E. S. Biometria e o Melhoramento de Plantas na era da genômica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 2, p. 228-249, 2004.

MOLOSIWA, O. O.; GWAFILA, C.; MAKORE, J.; CHITE, S. M. Phenotypic variation in cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) germplasm collection from Botswana. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, v. 8, n. 7, p. 153-163, 2016.

MOREIRA, A. S.; SILVA, R. A. A. Anemia ferropriva em portadores de anemia falciforme: a importância de se avaliar o estado nutricional de ferro. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 13, n. 2, p. 236-41, 2014.

MOREIRA, P. X.; BARBOSA, M. M.; GALLÃO, M. I.; LIMA, A. C.; AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S. Estrutura e composição química do feijão caupi (*Vigna Unguiculata* (L.)

Walp.). In: BRITO, E. S. (ed) **Feijão Caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 97p.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. et al. 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.

MOTTA, C.; BENTO, C.; NASCIMENTO, A.C.; SANTOS, M. A importância das leguminosas na alimentação, nutrição e promoção da saúde. **Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge**, n.1, 2016.

MOURA, J. O. **Potencial de populações segregantes de feijão-caupi para biofortificação e produção de grãos**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

MURANAKA, S.; SHONO, M.; MYODA, T.; TAKEUSHI, J.; FRANCO, J.; NAKASAWA, Y.; BOUKAR, O.; TAGAKI, H. Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. **Plant Genetic Resources; Characterization and Utilization**, v. 14, n. 1, p. 67-76, 2016.

NDERITU, A.M.; DYKES, L.; AWIKA, J.M.; MINNAAR, A.; DUODU, K.G.; Phenolic composition and inhibitory effect against oxidative DNA damage of cooked cowpeas as affected by simulated in vitro gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 141, n. 3, p. 1763-1771, 2013.

NUTTI, M.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. **A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes**. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE GEOLOGIA MÉDICA, 2006, Rio de Janeiro.

NUTTI, M.; ROCHA, M. M.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V.; FREIRE FILHO, F. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J. Biofortificação de feijão-caupi no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

OLIVEIRA, D. G.; ROCHA, M.M.; DAMASCENO-SILVA, K.J.; SÁ, F.V.; LIMA, L.R.L.; RESENDE, M.D.V. Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition, and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.

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

OLIVEIRA, F. J.; ANUNCIACÃO FILHO, C. J.; BASTOS, G. Q.; REIS, O.V. Divergência genética entre cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.5, p.605-611, 2003.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; MIRANDA, G. V.; CRUZ, C.D. Predição de Populações F3 a partir de dialelos desbalanceados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 781-87, 1999.

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

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

PAREDES-LÓPEZ, O.; REYES-MORENO, C.; MONTES-RIVEIRA, R.; CARAHEZ-TREJO, A. Hard-to-cook phenomenon in common beans: influence of growing location and hardening procedures. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 24, n. 5, p. 535-542, 1989.

PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; CRUZ, P. J.; ROCHA, M. M.; CRUZ, E. M. O.; ROCHA, M. A. C.; BAHIA, H. F.; SALDANHA, R. B. Divergência genética em feijão-caupi. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 579-586, 2007.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, v. 47, p. 88-105, 2007.

PIMENTEL, A. J. B. **Seleção de genitores e predição do potencial genético de populações segregantes de trigo**. 2010.43 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

POWELL, S. R. The antioxidant properties of zinc. **The Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1447-54, 2000.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1367-1376, 2010.

RIOS, M. J. B. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; FIGUEIREDO, E. V. T, ROCHA, M. M.; HASHIMOTO, J. M. Chemical, granulometric and technological characteristics of whole flours from comercial cultivars of cowpea. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 217-224, 2018.

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

ROCHA, M. M. Qualidade tecnológica dos grãos. In: RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: pós-produção**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2011. (Árvore do Conhecimento). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_8_510200683535.html. Acesso em: 21 mar. 2019.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D. Variabilidade genética de acessos de feijão-caupi para os teores de ferro, zinco e proteínas nos grãos. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., Teresina, 2011. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011a.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. **Avaliação dos teores de ferro, zinco e proteína em linhagens de feijão-caupi da classe comercial branca, subclasse fradinho.** Teresina, EMBRAPA Meio-Norte, 2011b. 4p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 226).

ROCHA, M. M.; ALMEIDA, M. J. O.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NEVES, A. C. **BioFort: saúde na mesa do brasileiro: Biofortificação do feijão-caupi.** 45 p. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; FREIRE FILHO, F. R.; MENEZES JUNIOR, J. A. N. Importância econômica. In: **Cultivo de feijão-caupi.** 2ed, mar/2017. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2).

SALES, M.C.; PEDRASA, D.F. Parâmetros bioquímicos do estado nutricional de micronutrientes e seu significado para as ações de saúde pública. **Revista Espaço para a Saúde**, v. 14, n. 1 e 2, p. 94-103, 2013.

SALVADOR, C.A. **Feijão: análise da conjuntura agropecuária**, 2017. Disponível em: < http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018/_feijao_2017_18.pdf >. Acesso em: 12 fev. 2019.

SANTOS, A.; CECCON, G.; DAVIDE, L. M. C.; NETO, A. L.; SILVA, J. F.; ALVAREZ, R. C. F. Integrated multivariate analysis to identify superior cowpea genotypes. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 2, p. 223-231, 2016.

SANTOS, J. A. S.; SOARES, C. M. G.; CORREA, A. M.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. Agronomic performance and genetic dissimilarity among cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 3, n. 8, p. 271-278, 2014.

SANTOS, C. A. F.; BOITEUX, L. S. Breeding biofortified cowpea lines for semi-arid tropical areas by combining higher seed protein and mineral levels. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6782-6789, 2013.

SILVA, S. M. S.; MAIA, J. M.; ARAÚJO, Z. B.; FREIRE FILHO, F. R.; **Composição química de 45 genótipos de feijão caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.)**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2002. 2p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 149).

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

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

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics e Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

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

SINGH, U.; PRAHARAJ, C. S.; CHATURVEDI, S. K.; BOHRA, A. Biofortification: introduction, approaches, limitations, and challenges. In: SINGH, U.; PRAHARAJ, C. S.; SINGH, S. S.; SINGH, N. P. **Biofortification of food crops**. Jobner: Springer, 2016. 492p.

SINIMBU, F. **Biscoito de feijão-caupi é mais nutritivo e não contém glúten**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/35752476/biscoito-de-feijao-caupi-e-mais-nutritivo-e-nao-contem-gluten>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

SMARTT, J. **Grain legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: University Press, 1990. 333p.

SOUSA, S.; TAVARES, T.; BARROS, H.; NASCIMENTO, I.; SANTOS, V.; FIDELIS, R. Divergência genética de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no sul do Tocantins. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 419-429, 2017.

STEELE, W. M.; MEHRA, K. L. Structure, evolution and adaptation to farming system and environment in *Vigna*. In: SUMERFIELD, D.R.; BUTING, A. H. (ed.). **Advances in legumes science**. England: Royal Botanic Gardens, 1980. p. 459-468.

STOIOLOVA, T.; PEREIRA, G. Assessment of the genetic diversity in a germplasm collection of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) using morphological traits. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 2, p. 208-215, 2013.

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

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

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

VERDCOURT, B. Studies in the leguminosae: papilionoideae for the flora of tropical East Africa. **Kew Bulletin**, v. 24, p. 507-569, 1970.

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

WHO – World Health Organization. **Preventing and controlling micronutrient deficiencies in populations affected by an emergency**. 2007. Disponível em: <https://www.who.int/nutrition/publications/WHO_WFP_UNICEFstatement.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2019.

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

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

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