



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

ANA BEATRIZ MACHADO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM
POTENCIAL DE USO NA BIOFORTIFICAÇÃO**

FORTALEZA

2023

ANA BEATRIZ MACHADO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM
POTENCIAL DE USO NA BIOFORTIFICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: MELHORAMENTO GENÉTICO

Orientadora: Cândida Hermínia Campos de Magalhães

Coorientador: Edy Sousa de Brito

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S578c Silva, Ana Beatriz Machado da.
Caracterização nutricional de genótipos de feijão-caupi com potencial de uso na biofortificação / Ana Beatriz Machado da Silva. – 2023.
64 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Cândida Hermínia Campos de Magalhães.

Coorientação: Prof. Dr. Edy Sousa de Brito.

1. Biofortificação. 2. Componentes químicos. 3. Nutrientes. I. Título.

CDD 630

ANA BEATRIZ MACHADO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM
POTENCIAL DE USO NA BIOFORTIFICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Melhoramento Genético

Orientadora: Cândida Hermínia Campos de Magalhães
Coorientador: Edy Sousa de Brito

Aprovada em 21/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Cândida Hermínia Campos de Magalhães (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Edy Sousa de Brito
Embrapa Agroindústria Tropical

Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi
Embrapa Agroindústria Tropical

Dr. Tomil Ricardo Maia de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

RESUMO

A composição nutricional das sementes do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), tem sido alvo de estudos visto que pesquisas apontam a variabilidade entre genótipos para os nutrientes e que são importantes para a alimentação humana, possibilitando, por meio do melhoramento genético, a obtenção de cultivares biofortificadas. Salienta-se a importância do fornecimento de alimentos enriquecidos ou biofortificados, não só para a indústria de alimentos como também para elevar a qualidade da alimentação e nutrição da população. Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o potencial nutricional de genótipos de feijão-caupi com potencial de uso na biofortificação. Para tanto, foram avaliados 43 genótipos oriundos do Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal do Ceará (UFC), que passaram por análise centesimal e mineral, e destes foram escolhidos oito genótipos que se sobressaíram no ranqueamento do Índice de Qualidade Nutricional (IQN1). Os oito genótipos selecionados e duas testemunhas (BRS Tumucumaque e BRS Juruá) foram conduzidos em experimento de campo. Após a colheita dos grãos imaturos foram conduzidas análises químicas: centesimal, nutricional e de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), para identificar os compostos químicos de cada genótipo estudado. O genótipo CE-0685 apresentou o maior teor dos minerais P, Mg e Fe, enquanto os genótipos CE-0024 e CE-0097, apresentaram os maiores teores de Na e redução nos teores de todos os demais nutrientes. Os genótipos CE-0796, CE-0024 e CE-0685, apresentam os maiores teores de sacarose e de estaquiose, verbascose e rafinose (oligossacarídeos). Por outro lado, os genótipos CE-1002, BRS Juruá e CE-0978 apresentaram os maiores teores de aminoácidos livres como valina, leucina, fenilalanina, tirosina, carboidratos como α -glicose e β -glicose, ácido acético, ácido fumárico, acetilcolina e uracila, além de compostos fenólicos (trigonelina). O resultado de RMN indica que o feijão-caupi contém compostos alifáticos, carboidratos e aromáticos. Os principais compostos detectados foram os carboidratos e aminoácidos. Os genótipos CE-0796, CE-1002, CE-0685 e BRS Juruá possuem potencial nutricional para o consumo de grãos verdes.

Palavras-chave: biofortificação; componentes químicos; nutrientes; *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT

The nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seeds has been the subject of studies since research indicates the variability between genotypes for nutrients that are important for human nutrition, enabling, through genetic improvement, obtaining biofortified cultivars. It emphasizes the importance of providing enriched or biofortified foods, not only for the food industry but also to improve the quality of food and nutrition for the population. Thus, the objective of this work was to evaluate the nutritional potential of cowpea genotypes with potential use in biofortification. For that, 43 genotypes from the Active Germplasm Bank of the Federal University of Ceará (UFC) were evaluated, which underwent centesimal and mineral analysis, and from these eight genotypes were chosen that stood out in the ranking of the Nutritional Quality Index (IQN1). The eight selected genotypes and two controls (BRS Tumucumaque and BRS Juruá) were carried out in a field experiment. After harvesting the immature grains, chemical analyzes were carried out: centesimal, nutritional and Nuclear Magnetic Resonance (NMR) to identify the chemical compounds of each genotype studied. The genotype CE-0685 had the highest content of P, Mg and Fe minerals, while the genotypes CE-0024 and CE-0097 had the highest levels of Na and a reduction in the levels of all other nutrients. The genotypes CE-0796, CE-0024 and CE-0685 have the highest levels of sucrose and stachyose, verbascose and raffinose (oligosaccharides). On the other hand, the genotypes CE-1002, BRS Juruá and CE-0978 showed the highest levels of amino acids such as valine, leucine, phenylalanine, tyrosine, carbohydrates such as α -glucose and β -glucose, in addition to phenolics such as trigonelline, among others such as acetic acid, fumaric acid, acetylcholine and uracil. The NMR result indicates that cowpea contains a high level of aliphatic, carbohydrate and aromatic compounds. The main compounds detected were carbohydrates and amino acids. The genotypes CE-0796, CE-1002, CE-0685 and BRS Juruá have nutritional potential for the consumption of green grains.

Key words: biofortification; chemical components; nutrients; *Vigna unguiculata*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Esquema dos processos da metodologia para análise de sementes de feijão-caupi	21
Figura 2-	Croqui da área experimental	23
Figura 3-	Gráfico resultante da análise multivariada da análise centesimal de 10 genótipos de feijão-caupi	34
Figura 4-	Gráfico resultante da análise multivariada dos minerais de 10 genótipo diferentes de feijão-caupi com a) escores e b) variáveis relevantes.....	38
Figura 5-	¹ H RMN do genótipo CE-0796 com os assinalamentos dos compostos caracterizados.....	40
Figura 6-	Gráfico resultante da análise multivariada dos espectros de RMN de 10 genótipos de feijão-caupi com a) escores e b) variáveis relevantes.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Informações nutricionais do feijão-caupi em 100g.....	18
Tabela 2-	Análise de química e fertilidade do solo da área experimental	23
Tabela 3-	Valores médios seguidos do desvio padrão da composição centesimal em genótipos de feijão-caupi com grão imaturo (verde) e grão maduro (seco).	31
Tabela 4-	Resumo da análise de variância: quadrados médios (QM), herdabilidade ($h^2\%$) e relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) para descritores de composição centesimal e nutricional de grãos verdes de 10 genótipos de feijão- caupi.	33
Tabela 5-	Valores médios seguidos do desvio padrão de nutrientes em genótipos de feijão-caupi com grãos imaturos (verdes) e grãos maduros (secos).....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS GERAL, ESPECÍFICOS E HIPÓTESES	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
2.3 Hipótese Científica	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Feijão-Caupi: Aspectos Gerais e Socioeconômicos	14
3.2 Tipos Comerciais de Grãos e Cultivares Melhoradas	15
3.3 Qualidade Nutricional e Funcional do Feijão-Caupi	17
3.4 Biofortificação no Feijão-Caupi	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Material Vegetal	21
4.2 Ranking de Qualidade Nutricional	22
4.3. Experimento de Campo	22
4.4 Análise Centesimal	25
4.5 Análise de Minerais	27
4.6 Análise RMN (Espectroscopia De Ressonância Magnética Nuclear)	28
4.7 Análise Estatística	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A - APARÊNCIA DOS 43 GENÓTIPOS E SUAS NOMEAÇÕES	53
APÊNDICE B - INFORMAÇÕES SOBRE OS 43 GENÓTIPOS QUANTO AO NOME COMUM, ORIGEM, CLASSE E SUBCLASSE	54
APÊNDICE C - VALORES MÉDIOS SEGUIDOS DO DESVIO PADRÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM GRÃO SECO	56
APÊNDICE D - VALORES MÉDIOS SEGUIDOS DO DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM GRÃO SECO	58

APÊNDICE E - RESULTADO DO ÍNDICE DE QUALIDADE NUTRICIONAL (IQN1) DOS 43 GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI DO BANCO DE GERMOPLASMA DA UFC.....	64
APÊNDICE F - CARACTERÍSTICAS DO CICLO REPRODUTIVO INERENTES AOS 10 ACESSOS SELECIONADOS PARA SELEÇÃO DE GRÃO-VERDES DO BANCO DE GERMOPLASMA DA UFC.....	65
APÊNDICE G - CARACTERÍSTICAS QUANTO A VAGEM E GRÃOS SECOS INERENTES AOS 10 ACESSOS SELECIONADOS PARA SELEÇÃO DE GRÃO-VERDES DO BANCO DE GERMOPLASMA DA UFC.....	66
APÊNDICE H - APARÊNCIA E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS 10 GENÓTIPOS.....	67

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é o segundo tipo de feijão mais cultivado no país e constitui uma das principais culturas alimentícias para os humanos. Apresenta grãos ricos em nutrientes que podem ser utilizados na alimentação da população, evitando deficiências causadas pela falta de minerais, como ferro e zinco (DIAS *et al.*, 2020). No Brasil, a expansão da cultura tem ocorrido principalmente para as regiões de cerrado, no período de safrinha, devido a precocidade e a tolerância ao déficit hídrico, além do baixo custo e a possibilidade de bons rendimentos (SÁ, 2019). Na região Nordeste, cerca de 25 milhões de pessoas consomem essa cultura, principalmente para obter proteínas e minerais, como ferro e zinco, em substituição às fontes de proteína animal de alto custo.

Na safra 2019/2020 no Brasil, obteve-se produção total superior a 722 mil toneladas e, especificamente no Ceará, 155,9 mil toneladas, sendo o maior Estado produtor nesse ano. Apesar de a produção ser expressiva em 17 Unidades da Federação, as regiões Norte e Nordeste são responsáveis por mais de 75% da produção nacional. Além da boa aceitação no mercado interno, o feijão-caupi tem ganhado cada vez mais novos mercados. Em 2019, o Brasil exportou 43 mil toneladas que foram destinadas para 40 países da Europa, Ásia, África, América do Norte e Oriente Médio (CONAB, 2020).

O principal mercado para o feijão-caupi no Brasil é a produção de grãos secos e sementes, entretanto, os grãos imaturos conhecidos como feijão-verde ou fresco são bastante apreciados na culinária, por apresentar um sabor característico e fácil preparo, atributos que estão relacionados com a colheita das vagens, indicada pelo estágio de desenvolvimento em que as mesmas encontram-se próximo a maturação e o momento em que param de acumular fotossintatos e os grãos apresentam umidade em torno de 60 a 70% (VIEIRA; BEZERRA; SANTOS, 2021). O conhecimento sobre as linhagens adaptáveis às condições do semiárido, se faz necessário para favorecer a produtividade e comercialização na região nordeste (ARAÚJO, 2019). O feijão-caupi possui composição química variável conforme o genótipo. Logo, o conhecimento sobre alguns componentes benéficos à saúde humana também é uma característica importante a ser observada (SOMBIÉ *et al.*, 2018).

Os diferentes tipos de feijão-caupi, estão normalmente associados à alta concentração de ferro, que entre tantos benefícios, previne a anemia. Também são ricos em cálcio, mineral

que fortalece a estrutura óssea e dentária, e em magnésio, que ajuda a regular as taxas de açúcar no sangue, auxilia na regulação da pressão arterial e melhora o condicionamento físico. O boro vem sendo estudado com resultados satisfatórios na manutenção da densidade mineral óssea, além de ter importância na função das membranas afetando a eletrofisiologia cerebral e o desenvolvimento cognitivo (GERRANO *et al.*, 2019).

Além disso, são também relevantes fontes de calorias, por conterem alto teor de carboidratos e apresentarem baixo teor de lipídios, além de antioxidantes fundamentais para a saúde humana, crescimento e desenvolvimento, possuem ainda quantidades razoáveis de tiamina e ácido ascórbico (SILVA *et al.*, 2002). Quando a fonte proteica de uma alimentação for o feijão e sendo complementada com arroz leva a um equilíbrio entre os aminoácidos, pois enquanto o primeiro apresenta deficiência em aminoácidos sulfurados, o segundo apresenta deficiência em lisina. A variabilidade genética entre os genótipos de *Vigna* para diferentes proteínas ajuda a melhorar a qualidade nutricional da espécie através da reprodução genética (GERRANO *et al.*, 2019).

Pesquisas apontam a variabilidade para os minerais que são importantes para a alimentação humana, possibilitando, por meio do melhoramento genético, a obtenção de cultivares biofortificadas (GONÇALVES *et al.*, 2015), porém esses estudos estão sendo voltados para avaliação em feijão-caupi em seu estágio maduro havendo a carência, portanto, de dados voltados para os grãos em seu estado imaturo. Atualmente, as informações sobre a análise centesimal e nutricional de grãos imaturos (verdes) de feijão-caupi ainda são escassas e a comparação entre grãos verdes e grãos secos na literatura pouco existe (KARAPANOS *et al.*, 2017; NTATSI *et al.*, 2018; HAZRA *et al.*, 2007).

De acordo com Yadav *et al.* (2020) a biofortificação é um meio econômico e viável de fornecer micronutrientes a populações que podem ter acesso limitado a suplementos ou alimentos comercialmente fortificados. Os resultados dos estudos de eficácia, bem como os estudos de aceitação do consumidor, fornecem indicadores de que a biofortificação funciona e é bem aceita pelos consumidores. Além disso, a biofortificação é vista por pesquisadores da área como uma alternativa para complementar os programas de intervenção nutricional existentes, combatendo a raiz do problema da desnutrição e deficiências de micronutrientes.

Diante do exposto, torna-se necessário não só para a indústria de alimentos, como também para elevar a qualidade da alimentação e nutrição da população, o desenvolvimento de alimentos enriquecidos ou biofortificados, que possam favorecer a criação de novos produtos

ou melhorar os já existentes com composições balanceadas em relação a alguns nutrientes, proporcionando um maior valor nutritivo a diversos alimentos disponíveis no mercado (SANTIAGO *et al.*, 2001; MOREIRA-ARAÚJO *et al.*, 2002; MOREIRA-ARAÚJO; ARAÚJO; ARÊAS, 2008). A busca por alimentos com uma maior qualidade nutricional pode ser realizada por meio de pesquisas com melhoramento genético em culturas alimentícias, como o feijão-caupi. Nesse sentido, faz parte da identificação de genótipos que apresentem alto teor de determinados nutrientes a realização da caracterização de acessos de coleções de germoplasma e avaliação destes quanto ao seu potencial nutricional para grãos imaturos, sobretudo comparando os dados obtidos com grãos secos (maduros) e verdes (imaturos).

2. OBJETIVOS GERAL, ESPECÍFICOS E HIPÓTESES

2.1 Objetivo Geral:

- Avaliar o potencial nutricional de genótipos de feijão-caupi para o consumo de grãos verdes, partindo da pré-avaliação de genótipos em estagio maduro.

2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar os genótipos com maior teor de nutrientes dentre 43 genótipos avaliados em grãos crus secos (maduros);
- Avaliar a composição centesimal e teor de minerais em grãos verdes crus (imaturos) em 10 genótipos de feijão-caupi;
- Avaliar os compostos químicos em grãos verdes crus em 10 genótipos de feijão-caupi.

2.3 Hipótese Científica

- Existem diferenças quanto ao teor de minerais nos grãos verdes crus avaliados nos 10 genótipos de feijão-caupi;
- Os diferentes genótipos de feijão-caupi possuem potencial nutricional para o consumo de grãos verdes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Feijão-Caupi: Aspectos Gerais e Socioeconômicos

O feijão-caupi é uma planta herbácea, dicotiledônea, pertencente à ordem Fabales, família Fabaceae, tribo Phaseoleae, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp e subespécie *Unguiculata*, subdividida em quatro grupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora*, *Textilis* (PADULOSI & NG, 1997). O feijão-caupi pode também ser denominado na região Nordeste, como feijão-de-corda, feijão macassa ou macassar (GUIMARÃES *et al.*, 2020). Alguns estudiosos acreditam que a origem dessa cultura esteja, provavelmente, na África, e que essa leguminosa tenha sido introduzida no Brasil pela Bahia, no período da colonização, espalhando-se pela Região Nordeste, sobretudo no Semiárido. O feijão-caupi é a principal fonte de proteína no Leste e Oeste da África e proporciona mais da metade da proteína vegetal na dieta humana, na maioria das regiões tropicais semiúmidas (MOREIRA *et al.*, 2008). O feijão-caupi tem um importante papel na nutrição humana, na segurança alimentar e serve como fonte de renda para os agricultores do Brasil, além de diversos lugares da África e União Europeia (BOUKAR *et al.*, 2016).

As características morfológicas da planta de feijão-caupi possuem variação de acordo com a cultivar, desde porte, tamanho, cor da vagem e das sementes, incluindo a produção. Há cultivares com porte rasteiro, onde os ramos principais entram em contato direto com o solo, há o porte ereto, em que os ramos secundários formam um ângulo agudo em relação ao ramo principal, e cultivares com portes intermediários a estes (PAIVA *et al.*, 2014). Além disso, ele é utilizado também como forragem, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal, como adubo verde e proteção do solo (BEZERRA *et al.*, 2012).

O feijão-caupi é amplamente utilizado na alimentação humana, principalmente em países onde o consumo de proteína animal é restrito. É uma espécie de grande importância socioeconômica, cultural e nutricional, por ser uma fonte de proteína de baixo custo e fisiologicamente adaptada a diferentes condições ambientais. Constitui um dos mais importantes componentes da dieta alimentar das populações rurais, é responsável pela fixação do homem no campo e pela geração de emprego e renda (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). É uma

excelente fonte de proteínas, minerais, vitaminas e grande quantidade de fibras dietéticas. Com a decorrência das mudanças climáticas atuais, essas características demonstram que o feijão-caupi pode contribuir com o suprimento das necessidades proteicas na alimentação humana (GONÇALVES *et al.*, 2017)

A produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste e Norte do país, no entanto, a cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado (SANTOS *et al.*, 2019). Segundo dados da CONAB (2021), a produção nacional de feijão-caupi na safra 20/21 alcançou 712 mil toneladas produzidas em uma área de 1.307,8 mil hectares, com produtividade de 465 quilos por hectare. Para essa safra, a região Nordeste atingiu 535,5 mil toneladas, representando cerca de 75% da produção nacional. O estado do Ceará apresenta, entre os estados do Nordeste, a maior área plantada, com 380,4 mil hectares produzindo 144,9 mil toneladas, ocupando a 2ª posição no ranking nacional, perdendo apenas para o Mato Grosso, que produziu 150,6 mil toneladas.

Na Região Nordeste, o feijão-caupi tem grande importância, principalmente por apresentar alta demanda consumidora. O grão faz parte do hábito alimentar de seus habitantes e isso impacta na expressiva destinação de área que a região apresenta em comparação as demais regiões brasileiras (CONAB, 2020). Os principais produtores de feijão-caupi do Norte e Nordeste são agricultores familiares que ainda praticam técnicas tradicionais de cultivo, enquanto na região Centro-Oeste, a cultura é gerida por grandes produtores que trabalham em regime de alta tecnificação (FREIRE-FILHO *et al.*, 2011b). Com a ampliação das áreas produtivas, o surgimento de um novo perfil de produtor e de mercado consumidor ocasionou o aparecimento de novas demandas pelo feijão-caupi, o que ampliou os objetivos do melhoramento genético dessa cultura.

3.2 Tipos Comerciais de Grãos e Cultivares Melhoradas

O feijão-caupi possui importância na alimentação humana, porque apresenta elevados teores de carboidratos, proteínas, minerais, vitaminas e fibras. No nordeste do Brasil, é um produto que contribui para a economia e geração de renda, por ser um tipo de feijão adaptável às condições do semiárido, motivando a aceitação dos agricultores (VIEIRA *et al.*, 2020). As variedades de feijão-caupi apresentam ao longo do tempo uma estreita relação entre o agricultor e o meio ambiente, tendo sido selecionadas para dar uma melhor resposta às necessidades e às

preferências do consumidor (PAULINO & GOMES, 2015). É uma cultura que apresenta variabilidade genética, o que a torna versátil, sendo usada para várias finalidades e em diversos sistemas de produção.

No mercado existem três segmentos para a cultura do feijão-caupi: grãos secos, grãos verdes (imaturos) e sementes. A produção é amplamente direcionada, principalmente, para atender o consumo de grãos secos, no entanto, está crescendo também a procura por sementes ou grãos verdes debulhados, aumentando cada vez mais a importância desses produtos para uma cadeia crescente de mercado (ALVES, 2020). A comercialização para feijão-verde é realizada na forma de vagens ou grãos debulhados (ANDRADE *et al.*, 2020).

A produção de feijão-caupi visando atender o mercado de feijão-verde é uma alternativa viável para os agricultores familiares e empresariais, pois o seu mercado apresenta preços atrativos para o produtor, onde segundo dados da CEASA (2022), a caixa de feijão-verde (12 kg) tem custado em R\$ 66,00. O mesmo tem-se observado em vagem debulhada cujo custo médio da caixa está em R\$ 132,00/cx. Isso mostra perspectivas de expansão do consumo e do processamento industrial, além disso há genótipos com altos rendimentos e ciclo curto de produção (FREIRE FILHO *et al.*, 2008). O ponto de colheita para produção de grãos verdes, na grande maioria dos genótipos, é quando os grãos apresentam de 60 a 70% de umidade, um pouco antes ou um pouco após o estágio em que param de acumular fotossintatos e iniciam o processo de desidratação natural (FREIRE FILHO *et al.*, 2005). Com isso o consumo de feijão-caupi a partir de grãos verdes cozidos tem aumentado comercialmente e no processamento por agroindústrias, assim como na produção de farinha de feijão e no consumo em saladas.

Tendo em vista o potencial genético que o feijão-caupi possui, é primordial que seja feita a caracterização, descrição e a catalogação destes materiais, para se obter amplo conhecimento sobre a variabilidade existente. E dessa forma, identificar acessos que possuem características desejáveis para o desenvolvimento de novas cultivares e que atendam às exigências dos produtores, comerciantes e consumidores (SANTOS, 2019). De acordo com SOUZA (2018), recentemente, as técnicas de melhoramento genético, buscando características desejáveis em uma cultivar ideal, originam diversos materiais que compõem os bancos de germoplasma do feijão-caupi. Dentre eles, as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Juruá (FAOSTAT, 2017). Com o lançamento de novas cultivares, com altos teores de ferro e zinco, o feijão-caupi vem então se constituindo numa importante fonte desses minerais.

É importante mencionar que o termo feijão-verde não se refere à cor do grão, o verde, nesse caso, tem sentido de imaturo. Porém em feijão-caupi, há grãos realmente de cor verde, como exemplo a Cultivar BRS Juruá, que é a primeira cultivar desenvolvida no Brasil com grãos de cor verde, e tem por objetivo criar mais opções de consumo, sendo também uma opção para a indústria de processamento de alimentos. Além disso, tem alto teor de proteína (26,8%), é rica em ferro (65,6 mg kg⁻¹) e zinco (40,9 mg kg⁻¹), tem rápido cozimento, é bem adaptada às regiões Norte e Nordeste (EMBRAPA, 2009).

3.3 Qualidade Nutricional e Funcional do Feijão-Caupi

A alimentação e a nutrição estão relacionadas com o crescimento, desenvolvimento humano e com a qualidade de vida e cidadania, por constituírem requisitos básicos para a promoção e a proteção da saúde. Por outro lado, o consumo insuficiente de minerais (micronutrientes e macronutrientes) causam prejuízo à imunidade. As leguminosas podem fornecer suficientes quantidades de minerais para o consumo humano, atendendo à dose diária recomendada (DRI, Dietary Reference Intakes). Entretanto, excesso de alguns minerais pode funcionar como antagonista na absorção e na utilização de outros minerais e vitaminas (MARTINS & OLIVEIRA, 2020).

De acordo com Duarte (2021), a deficiência de vitaminas e minerais (micronutrientes) parece ser maior do que a deficiência de proteínas, carboidratos e gorduras (macronutrientes). A falta desses nutrientes essenciais compromete a saúde e o funcionamento do corpo, afetando muitas vezes, de modo silencioso, as pessoas de qualquer idade, sexo, raça e condição social (SOCCOL *et al.*, 2021). Esse fenômeno e suas consequências numéricas são chamados de fome oculta, que é a deficiência de nutrientes essenciais para o desenvolvimento e bom funcionamento do organismo, tais como, ferro, zinco, boro e vitamina A. Sua origem é decorrente de dietas pobres, com baixa variedade de alimentos, acesso e consumo a alimentos de pequena qualidade nutricional (DUARTE, 2021; VERGUTZ, 2016).

A má nutrição com proteínas-calorias é uma síndrome nutricional que afeta milhões de pessoas em países em desenvolvimento, principalmente devido ao alto preço para obtenção de proteínas de origem animal. Leguminosas, como o feijão-caupi, são importantes opções para suplementação proteica de origem vegetal, desde que associadas com outras fontes calóricas, como cereais. O feijão-caupi é uma excelente fonte de proteínas (23-25% em média), carboidratos (62%, em média) vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de

fibras alimentares, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) (FROTA *et al.*, 2008). Na tabela 1 pode-se observar as informações nutricionais do feijão-caupi.

Tabela 1- Informações nutricionais do feijão-caupi em 100 g

Nutriente	Valor
Energia	302 kcal
Umidade	12,7 g
Carboidrato total	61,9 g
Colesterol	0 mg
Proteína	20,2 g
Lipídios	2,37 g
Fibra alimentar	23,6 g
Cinzas	2,88 g
Ácidos graxos saturados	0,70 g
Cálcio	99,9 mg
Ferro	5,53 mg
Sódio	10,3 mg
Magnésio	178 mg
Fósforo	400 mg
Potássio	1.166 mg
Manganês	1,37 mg
Zinco	3,73 mg

Fonte: TBCA, 2021

O feijão-caupi apresenta grãos ricos em nutrientes que podem ser utilizados na alimentação da população, evitando deficiências causadas pela falta de minerais, como ferro e zinco (DIAS *et al.*, 2020). O ferro e o zinco são minerais essenciais no funcionamento do metabolismo humano e sua deficiência pode causar desnutrição ou fome oculta, o que impacta negativamente na saúde, afetando mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo (ORGANIZAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA DAS NAÇÕES UNIDAS, 2019). O ferro é um componente da hemoglobina do sangue com papel no transporte de oxigênio e sua deficiência pode levar a doenças como anemia, enquanto o zinco é um mineral essencial para aumentar a imunidade contra doenças e sua deficiência tem sido relacionada a diversos problemas de saúde (VAN DER STRAETEN *et al.*, 2020).

O consumo das diversas espécies de feijão torna-se vantajoso, pois sob o ponto de vista nutricional, essa leguminosa possui componentes e substâncias necessários à saúde humana. É considerado um substituto das proteínas animais por possuir baixo teor de gordura e sódio e

não conter nenhum colesterol, além de ser um acumulado de proteínas, fibras, complexo de carboidratos, vitaminas do complexo B, minerais e alto teor de fibra alimentar (LONDERO *et al.*, 2008). Na região Nordeste, cerca de 25 milhões de pessoas consome essa cultura, principalmente para obter proteínas e minerais, como ferro e zinco, em substituição às fontes de proteína animal de alto custo. A composição de minerais nos grãos de feijão-caupi pode ser alterada em função do genótipo, ambiente e da interação genótipos por ambientes, devido também à manipulação genética, práticas agronômicas (adubação, tratos culturais e remoção de plantas daninhas) manejo pós-colheita e de armazenamento, idade das sementes e no processamento aplicado na preparação dos grãos para consumo humano (UZOGARA; OFUYA, 1992).

Por essa razão, a relação dos constituintes minerais é importante para uma boa nutrição. Sabe-se que uma alimentação adequada, com a proporção correta de minerais, contribui para um bom funcionamento das funções fisiológicas do corpo humano, sobretudo em nível do sistema imune. A ingestão adequada de, particularmente, algumas vitaminas e minerais melhora a resposta do sistema imune (DUTRA *et al.*, 2020). Dessa forma, existem variações quanto aos teores de minerais em cultivares e genótipos avaliados em diferentes locais, assim como para diferentes anos e épocas de semeadura (ARAÚJO *et al.*, 2003; BURATTO *et al.*, 2009). Estudos recentes revelaram que existe variabilidade genética para o teor de proteína, ferro e zinco nos grãos de germoplasma de feijão-caupi (CARVALHO *et al.*, 2012). A determinação dos nutrientes nos grãos de genótipos de feijão-caupi fornece informações que auxiliam na seleção e desenvolvimento de cultivares biofortificadas (DIAS *et al.*, 2020).

3.4 Biofortificação no Feijão-Caupi

Sabendo-se então, que a alimentação é primordial para a vida e sobrevivência humana e que parte dos problemas de saúde está relacionada com o meio em que se vive, inevitavelmente, ao se pensar em saúde, pensa-se na produção de alimentos ou em um modelo agroalimentar, que seja capaz de suprir as deficiências de nutrientes imprescindíveis para o bom funcionamento do organismo, bem como atender o aumento populacional e o contexto de desnutrição e segurança alimentar (MENEGASSI *et al.*, 2018; MAURÍCIO, 2021).

Considerando essa problemática, a biofortificação de alimentos é um processo de melhoramento genético que somado às técnicas agronômicas e biotecnológicas têm o objetivo de agregar maiores teores de nutrientes, tais como, vitamina A, zinco, ferro, iodo, entre outros,

aos alimentos base, como milho, arroz, feijão, feijão-caupi, mandioca, batata doce, trigo, abóbora (SOCCOL *et al.*, 2021), e seu principal objetivo é amenizar a fome oculta. Além disso, acredita-se que a produção e distribuição de alimentos biofortificados é uma maneira para contribuir para o desenvolvimento agrícola e segurança alimentar (DUARTE, 2021).

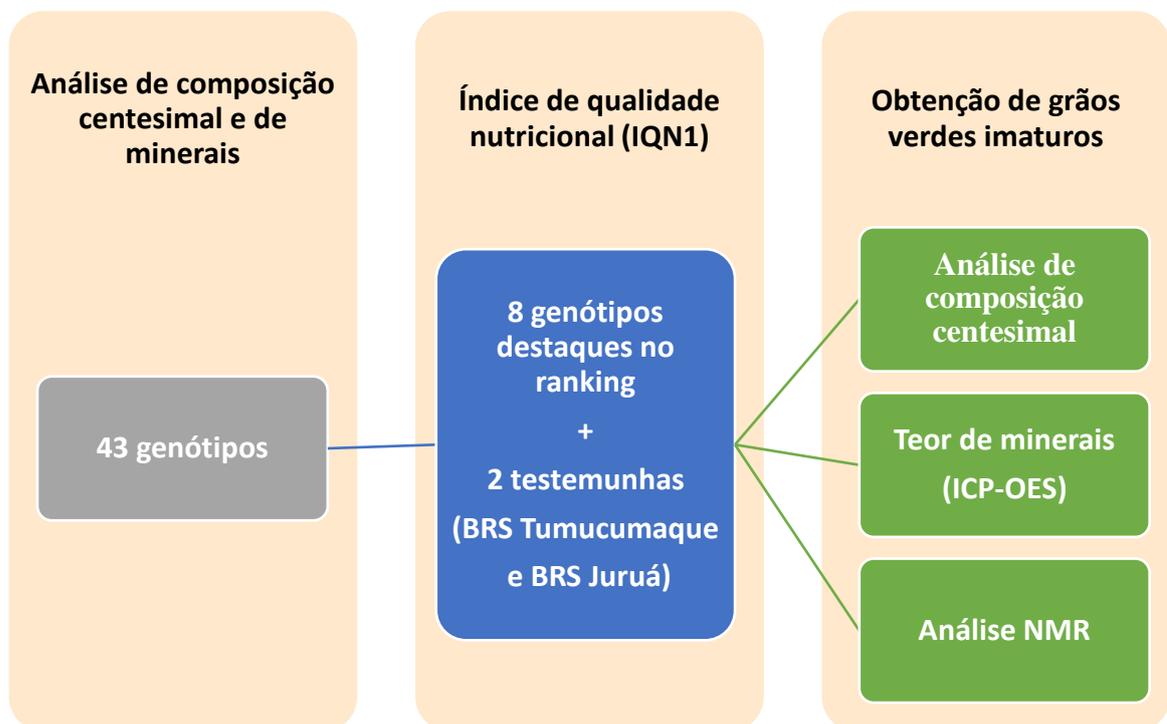
No feijão-caupi identificam-se muitos nutrientes que compõem o grão e que através do processo de biofortificação pode-se observar maior potencialização destes. Neste contexto, a biofortificação por melhoramento genético consiste na realização de processos de cruzamentos repetidos de plantas da mesma espécie até ocorrer a obtenção de cultivares com maiores potenciais nutritivos, aumentando os teores de nutrientes e vitaminas presentes (LOUREIRO *et al.*, 2018). Dessa forma, o uso dessa técnica tem como propósito enriquecer os grãos com nutrientes específicos, principalmente ferro e zinco, possibilitando agregar maiores teores em comparação com outros cultivares (PEREIRA *et al.*, 2020), resultando em novos genótipos mais produtivos, biofortificados, adaptados a diferentes ambientes e sistemas de produção (SILVA *et al.*, 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material Vegetal

A pesquisa envolveu a realização de experimentos conduzidos a campo e em laboratório. O primeiro experimento foi conduzido em laboratório com intuito de avaliar a composição centesimal e mineral em 43 genótipos oriundos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Universidade Federal do Ceará (UFC), que foram pré-selecionados por apresentar características ideais para prospecção de feijão-verde. O Apêndice A, mostra a aparência dos genótipos e o Apêndice B, informações gerais quanto ao nome comum, origem classe e subclasse de cada genótipo.

Todos os processos da metodologia foram organizados em esquema de eventos apresentados na Figura 1. A partir do resultado das análises da composição centesimal e mineral dos 43 genótipos oriundos do BAG da UFC foi construído um Índice de Qualidade Nutricional (IQN1), e então foram selecionados oito genótipos (Figura 1) que se sobressaíram no ranqueamento do Índice. Os oito genótipos selecionados, juntamente com duas testemunhas (BRS Tumucumaque e BRS Juruá) foram conduzidos em experimento de campo a fim de obter grãos verdes (imaturos) para a avaliação da qualidade nutricional. Após a obtenção dos grãos, foram feitas análises químicas: centesimal, mineral e de ressonância magnética nuclear (RNM).
Figura 1- Esquema dos processos da metodologia para análise de sementes de feijão-caupi.



4.2 Ranking de Qualidade Nutricional

O Índice de Qualidade Nutricional (IQN1) foi usado para identificar os 8 melhores genótipos com base nos resultados dos valores obtidos para proteína bruta e dos minerais, Ca, Mg, Fe, Br e Zn. Os pesos foram determinados de forma arbitrária de 4 para Proteína, 3 para os minerais Fe e Zn e 2 para os minerais Ca e Mg. O índice foi então calculado multiplicando-se o peso arbitrário dado a cada componente pela diferença calculada entre cada valor do respectivo componente e sua média geral seguido pela soma algébrica de cada termo. O resultado dessa soma foi então dividido pela soma dos pesos, assim como na fórmula abaixo:

$$IQN1 = \frac{[4(Pb - XPb)] + [3(Fe - XFe)] + [3(Zn - XZn)] + [2(Mg - XMg)] + [2(Ca - XCa)]}{4 + 3 + 3 + 2 + 2}$$

O índice obtido foi construído com base nas seguintes referências: PEREIRA (2013) e CARVALHO *et al.* (2012).

4.3. Experimento de Campo

O experimento foi conduzido no Setor de Horticultura pertencente ao Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza - CE, situado na latitude de 03°46' S, longitude 38°31' W e a 27 metros de altitude. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, inserido em uma área com nove metros de largura e 43 metros de comprimento, seguindo o croqui da Figura 2. Cada bloco foi aleatorizado contendo 10 genótipos de feijão-caupi que representaram os 10 tratamentos, e as parcelas em cada bloco foram constituídas de 10 plantas, sendo estas espaçadas uma da outra em 0,30 m. Cada linha da parcela teve 3 m de comprimento e o espaçamento de 1,5 m entre as parcelas. Entre os blocos o espaçamento foi de 2 m. A semeadura foi realizada utilizando-se 5 sementes por cova.

De acordo com a análise química do solo (Tabela 2), foi feita a adubação com 1,9 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 0,6 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, e para cada parcela de 3 metros foram aplicados 0,5 kg ha⁻¹ da mistura. Após 15 dias foi feito o desbaste deixando-se 1 planta por cova, e em 30 dias de semeadura foi aplicado a adubação foliar (Aminomax- Supra: N 5% (65 g/L), P₂O₅ 10% (130 g/L), K₂O 6% (78 g/L), Ca 2% (26 g/L), B 0,5% (6,5 g/L), Cu 0,2%

(2,6 g/L), Fe 0,1% (1,3 g/L), Mo 0,1% (1,3 g/L), Zn 1,1% (14,3 g/L), Carbono Orgânico Total 6% (78 g/L), Densidade 1,3 g/cm³) para o desenvolvimento das plantas e garantia de melhor produção. A irrigação foi feita durante 2 horas por dia, 1 hora no turno da manhã e 1 hora no turno da tarde, por meio de aspersores. Durante a condução do experimento foi realizada a capina das plantas daninhas entre linhas e blocos, assim como o controle das pragas, quando necessário. A colheita das vagens em estágio imaturo foi feita quando as mesmas estavam bem desenvolvidas e firmes, mas ainda tenras.

Figura 2- Croqui da área experimental

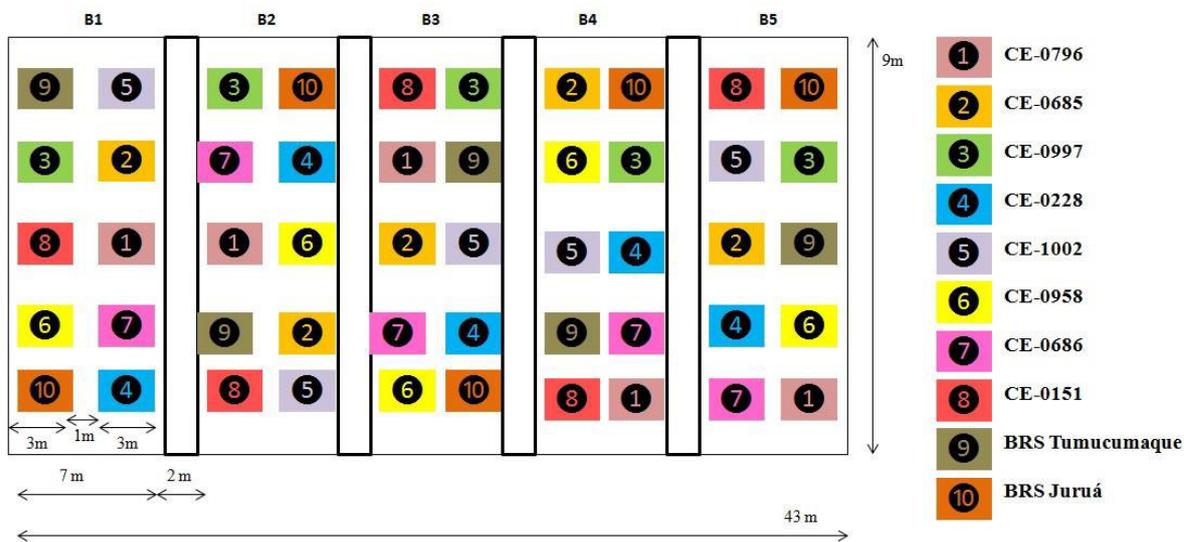


Tabela 2- Análise de química e fertilidade do solo da área experimental

Análise de Química e Fertilidade											
pH	P	S- SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	MO
H ₂ O (1:2,5)		mg dm ⁻³			cmol _c dm ³					g kg ⁻¹	
7,0	27,89	-	28,33	0,06	0,61	0,00	1,13	0,53	1,80	2,41	4,60

P, K⁺ e Na⁺: Extrator Mehlich 1; H+Al³⁺: Extrator Acetato de cálcio 0,5 M, pH 7,0; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺: Extrator KCl 1 M; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica e M.O: Matéria orgânica pelo método de Walkley-Black

Minerais				
Fe	Cu	Mn	Zn	B
mg dm ⁻³				
1,2757	0,0007	0,0120	0,0573	0,39
Fe, Cu, Mn e Zn: Extrator Mehlich 1			B: Extrator Água Quente	

A caracterização química dos grãos foi realizada em duas fases. Na primeira, foram feitas análises químicas dos 43 genótipos, utilizando-se os grãos crus secos, grãos colhidos no estágio maduro, para identificar possíveis diferenças quanto a umidade, cinzas, lipídeos e proteínas obtidas por meio da análise de composição centesimal e, quanto aos nutrientes (Fe, Zn, B, Ca, Mg, K, P, Na, S, Cu e Mn) obtidos por meio da análise de minerais. Na segunda fase, foram avaliados somente 10 genótipos, utilizando-se para tanto, grãos crus verdes, grãos colhidos no estágio imaturo, sendo as análises conduzidas em três etapas: composição centesimal, análise de minerais e análise de Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

Para a primeira etapa da caracterização química dos genótipos de feijão-caupi, os grãos crus secos foram lavados com água destilada e acondicionados para secagem em estufa a 60 °C por 48 horas. Para os grãos crus verdes, foi determinado o grau de umidade das sementes de cada amostra e, em seguida, foram secas na estufa à 45 °C por 72 horas. Após retirar da estufa, tanto para os grãos secos quanto para os grãos verdes, foram pesados novamente e aplicados a seguinte fórmula: % de umidade (U) = $(a-b/a) \times 100$, onde a= peso da semente úmida, b=peso da semente seca. Ao final das análises, os valores obtidos foram convertidos de base seca para base úmida.

Após esses procedimentos, em ambas as fases, os grãos foram moídos em moedor elétrico de café (CADENCE®, Modelo MDR 301), com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em frascos plásticos herméticos e armazenados em temperatura ambiente até a realização das análises. Essas análises foram realizadas com base em uma amostra composta de 30 g, na qual foram retiradas 3 subamostras, cada uma de 10 g. A partir desta subamostra foram realizadas todas as análises centesimais e minerais.

4.4 Análise Centesimal

A análise ou composição centesimal (determinação de umidade, cinzas, fibra bruta, lipídeos e proteínas) foi realizada em triplicata, conforme detalhamento apresentado no item anterior. O teor de carboidratos foi obtido por diferença, seguindo a metodologia de AOAC (2005) e as demais análises foram determinadas da seguinte forma:

Umidade - por gravimetria a 105 °C em estufa de secagem, com circulação de ar. Foram pesadas 3 g da amostra homogeneizada, em cápsula de porcelana previamente calcinada. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para a estufa a 105 °C por quatro horas, em seguida transferidas para um dessecador por 30 min. para resfriamento e após esse período pesadas. O teor de umidade em porcentagem foi obtido pela fórmula:

$$\text{Umidade (\%)} = [(P_i - P_f)/P_i] * 100$$

Onde, P_i = peso inicial da amostra e P_f = peso final da amostra

Matéria Mineral - o teor de cinzas foi determinado por incineração a 550 °C em mufla. Inicialmente foram pesadas 3 g da amostra em cadinhos previamente calcinados e depois foram transferidos para a mufla aumentando a temperatura gradualmente até atingir 550 °C. O teor de cinzas em porcentagem foi obtido pela fórmula:

$$\text{Cinzas} = 100 \times N/P$$

Onde: N = n° de gramas de cinzas e P = n° de gramas de amostra.

Proteínas - a concentração de proteínas foi obtida com base na determinação do nitrogênio total. Foi utilizado um destilador de nitrogênio, seguindo o método de *Kjeldahl*. Foi utilizado o fator de conversão para proteínas vegetais de 5,75. Foi pesada 0,8 g da amostra em papel filtro e em seguida transferida para tubo de digestão, foram adicionados 5 mL de ácido sulfúrico e 2 g da mistura catalítica (composta de sulfato de potássio (K_2SO_4) e sulfato de cobre ($CuSO_4$) a 10:1), prosseguindo com a etapa de digestão com aquecimento em bloco digestor, até a solução se tornar azul-esverdeada, livre de material não digerido. Após essa etapa, foram acrescentados 15 mL de água deionizada em cada tubo, e os extratos diluídos foram transferidos para o destilador de nitrogênio e adicionados 10 mL de solução saturada de hidróxido de sódio. Após a ebulição toda a amônia da amostra foi transportada por arraste a vapor para um Erlenmeyer contendo solução de ácido bórico adicionado de dois indicadores (vermelho de metila e verde

de bromocresol) para fixar o nitrogênio da amostra. A análise foi conduzida conforme o manual de operação do equipamento. Na etapa da titulação, o nitrogênio total da amostra foi quantificado por meio de titulação com uma solução de ácido clorídrico 0,02 N de fator conhecido. O ponto de viragem indica o fim da reação que se caracteriza pela mudança da cor verde para a rosa. A dosagem de nitrogênio total na amostra foi calculada utilizando a equação:

$$\% \text{ de proteínas} = V \times F \times 0,0014 \times Fc \times 100/P$$

Onde:

V = volume gasto de HCl

F = fator de solução do HCl

FC = fator de conversão do nitrogênio em proteína (6,25 ou 6,38 ou 5,75)

P = peso da amostra

Lipídios - a fração extrato etéreo foi determinada em extrator intermitente de Soxhlet, utilizando-se éter de petróleo P.A. ou hexano como solvente. Foram pesadas cerca de 3 g de amostra previamente seca, em seguida foram transferidas para cartuchos. O extrator foi acoplado a um balão previamente calcinado a 105 °C e pesado. Em seguida, foram adicionados 150 mL de éter de petróleo ou hexano aos *reboilers*.

A extração contínua foi de seis horas, com temperatura a 60 °C. Após o término da extração, o balão com o resíduo extraído foi acondicionado em estufa a 105 °C, durante uma hora, e depois resfriado em dessecador até a temperatura ambiente e pesado. A concentração de lipídios em porcentagem foi obtida pela fórmula:

$$\text{Lipídios} = 100 \times N/ P$$

Onde: N = n° de gramas de lipídios; P = n° de gramas de amostra.

Fibra Bruta - a fração de fibra bruta é a porção dos carboidratos totais resistente ao tratamento sucessivo com ácido e base diluídos, sendo em maior parte constituída por celulose. A análise de fibra a concentração da FB foi determinada pelo sistema de análise proximal ou Weende, padronizado por Hennerberg e Stohmann. A Fibra bruta (FB) foi obtida através da digestão ácida e alcalina da amostra seca e desengordurada durante 30 min em cada digestão. A fibra bruta é a perda por ignição do resíduo seco remanescente após a digestão da amostra com 1,25% H₂SO₄ e 1,25% de NaOH sob condições específicas. Após os tratamentos, secagem

e pesagem do resíduo, este é recebido em cadinho de porcelana, levado à mufla para se calcular a diferença após a queima do resíduo para o cálculo real da FB.

$$\text{Fibra bruta} = 100 \times N / P$$

Onde: N = n° de gramas de fibra; P = n° de gramas de amostra.

4.5 Análise de Minerais

As análises minerais foram realizadas para grãos crus secos e grãos crus verdes. Para análise de P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Zn, Mn foi feito a digestão úmida. Foram pesados 500 mg da amostra por uma balança eletrônica de precisão (Bioprecisa – Eletronic Balance FA-2104N) e colocados em tubos digestores de 80 mL, depois foi adicionado 8 ml de mistura ácida 3:1 (600 mL de HNO³ e 200 mL de HClO₄) por meio do método de pipetagem. Os tubos foram colocados no bloco digestor dentro de uma capela de exaustão de gases, que foi aquecido lentamente até 120 °C, até cessar o desprendimento do vapor castanho de N₂O, a temperatura foi aumentada e mantida para 220 °C até cessar o desprendimento do vapor branco de HClO₄. Os tubos ficaram de 4 a 6 horas no bloco digestor. Após isso os tubos foram retirados para esfriar. E depois foi completado o volume até 50 mL com H₂O. A solução foi filtrada por um funil e papel filtro azul com 15 cm de diâmetro e despejado em um recipiente hermético de 50 mL para então ser feito a leitura pelo espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), seguindo o Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (EMBRAPA, 2009).

Para análise de Boro foi feita a digestão seca, onde 2 g de cada amostra de matéria orgânica do tecido vegetal, pesadas por uma balança eletrônica de precisão (Bioprecisa – Eletronic Balance FA-2104N) foi colocada em cadinhos de porcelana de 50 mL e incinerada no Forno Mufla elétrica (Cientec) inicialmente sob temperatura de 300 °C, e de hora em hora até que chegasse à temperatura de 600 °C, assim permanecendo por 6 horas. Após o esfriamento, os cadinhos foram transferidos para o dessecador. Após 2 horas o resíduo inorgânico (cinza) foi dissolvido em 10 ml de solução de ácido clorídrico, o material em suspensão foi transferido para os tubos Falcon e depois acrescentou-se 2 mL de solução tampão à mistura de ácido ascórbico e azometina H. Em seguida, cada frasco foi individualmente para o agitador, os quais ficaram em ambiente sem luz por 30 min., para então ser feita a leitura. A leitura foi feita utilizando-se o espectrofotômetro (FEMTO 600 plus) no feixe de luz com 420 nm, obtendo-se, dessa forma a absorbância.

4.6 Análise RMN (Espectroscopia De Ressonância Magnética Nuclear)

A Ressonância Magnética Nuclear (RMN) é uma técnica que explora as propriedades magnéticas dos núcleos atômicos das substâncias para investigar suas características físicas e químicas. Para análise de RMN, os grãos crus verdes foram separados em amostras de 50 g e depois foram acondicionados em freezer. As amostras foram liofilizadas e depois moídas no moedor elétrico de café (CADENCE®, Modelo MDR 301) e depois aproximadamente 35 mg, de cada amostra foram embebidos em uma mistura de 750 µL de D₂O e 1 mM de TMSP-d₄ (sódio-3-trimetilsililpropionato-2,2,3,3-d₄). As soluções foram misturadas por 2 min à temperatura ambiente, sonicadas e centrifugadas a 804,6 g por 8 min. Os fluídos foram transferidos para tubos de RMN de 5 mm.

Os espectros de RMN foram obtidos em um equipamento Agilent DD2 de 600 MHz (para núcleo de 1 H) e equipado com uma sonda One Probe de 5 mm de diâmetro interno (H-F/15N-31P) de detecção inversa e gradiente de campo no eixo “z”. Para realizar a quantificação, o pulso de 90° foi calibrado e a sonda, devidamente sintonizada. Inicialmente a sequência de pulsos de inversão-recuperação foi utilizada para estimar o tempo de relaxação dos núcleos amostrais. O valor encontrado foi distribuído entre o d1 (tempo de espera para relaxação dos núcleos) e o tempo de aquisição (AQ). Assim, os espectros unidimensionais de 1 H foram adquiridos com um tempo de espera entre cada aquisição de 25 s, AQ de 5,0 s, ganho de 30, 24 transientes em uma janela espectral de 16 ppm e 48k de número de pontos reais a 26 °C. Para o processamento desses dados, os espectros foram referenciados com o padrão interno propionato de tetrametilsilil (TMSP-d₄) em 0 ppm; foram utilizados 16k de pontos, efetuando multiplicação exponencial (lb = 0,3 Hz) e correção manual de fase.

4.7 Análise Estatística

A composição centesimal e de minerais foram realizadas em triplicata, sendo os resultados expressos em média ± desvio-padrão. A análise de variância (ANOVA), teste de médias adotando-se o teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade e parâmetros genéticos, herdabilidade ($h^2\% = \sigma^2G/\sigma^2E$) e relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe), foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2017).

O conjunto de dados da RMN foram avaliados por análise estatística multivariada. A região entre 0,6 e 9,3 ppm foi selecionada e realizada a exclusão do sinal residual da água. Inicialmente, os espectros foram convertidos para arquivos American Standard Code for Information Interchange (ASCII) para construção de uma matriz numérica. A fim de reduzir a dimensionalidade dos conjuntos de dados e para observar as tendências de composição de acordo com os genótipos, a matriz dos dados brutos foi importada usando o programa PLS Toolbox™ (versão 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated, Manson, WA USA) para análise multivariada não supervisionada por Análise de Componentes Principais (PCA).

Para pré-tratamentos espectrais, algoritmos de normalização e alinhamento de variáveis usando COW (Correlation Optimized Warping) com segmento de 20 pontos em uma janela de 10 pontos de dados foram aplicados previamente à decomposição das matrizes. Para a análise estatística multivariada dos minerais, uma matriz foi construída e importada para o programa PLS Toolbox™ (versão 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated, Manson, WA USA) sendo realizada por análise multivariada não supervisionada por Análise de Componentes Principais (PCA). Como pré-tratamento, a matriz foi centrada na média e dimensionada para variância unitária.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da Análise Centesimal e da Análise de nutrientes para os 43 genótipos com grãos secos (maduros) estão apresentados no Apêndice C e Apêndice D, respectivamente. Houve diferença estatística pelo teste de Scott & Knott à 5% de probabilidade para todos os resultados, menos para Matéria Seca (MS). Esse resultado foi usado para a construção do IQN1 (Apêndice E) em que o genótipo CE-0796 ficou em primeiro lugar, CE-0685 em segundo e sucessivamente, seguindo a ordem, os seguintes até a oitava posição: CE-0997, CE-0228, CE-1002, CE-0958, CE-0686, CE-0151. As duas cultivares BRS Tumucumaque e BRS Juruá foram escolhidas para serem as testemunhas, pois entre as quatro cultivares dentre os 43 genótipos selecionados, essas são as duas recomendadas para comercialização destinada para feijão-verde. O resultado obtido no estudo de Freitas *et al.* (2022), confirma a superioridade da biofortificação da cultivar BRS Tumucumaque para os teores de ferro e zinco.

A Tabela 3 mostra os resultados de composição centesimal para os 10 genótipos de grãos verdes (imaturos) selecionados baseado no IQN1, e observa-se que não houve diferença estatística pelo teste de Scott & Knott à 5% de probabilidade ($P < 0,05$) entre os tratamentos para Matéria Seca (MS), variando de $88,82 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ a $91,10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Para a variável Material Mineral (teor de cinzas), apenas o genótipo CE-1002 apresentou resultado abaixo da média e diferença estatística inferior aos demais. Os maiores valores de Extrato Etéreo (EE) foram observados nos genótipos CE-0997, CE-0070 e BRS Juruá, o qual também apresentou valor alto de Proteína Bruta (PB), assim como CE-0685 ($27,05 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e CE-0958 ($26,13 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). O teor de proteína é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade nutricional de leguminosas (KARAPANOS *et al.*, 2017).

Os resultados do teor de proteína revelam o enorme potencial desses grãos imaturos serem consumidos como vegetais, constituindo uma boa alternativa à dieta dos consumidores e permitindo uma opção variável com elevado teor de proteína vegetal. Os menores teores de Proteína foram identificados nos genótipos CE-0024 com $20,63 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e CE-0796 com $22,14 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. A variação e média geral observadas no presente estudo é maior do que os encontrados por DIAS BARBOSA *et al.* (2021), que avaliando 12 genótipos de feijão-caupi, encontraram variação de $19,21$ a $23,80 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e média geral de $22,14 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para Proteína Bruta. Assim como no trabalho de NÖRNBERG *et al.* (2022), que comparando a farinha de 2 cultivares de feijão-caupi obteve os valores de proteína variando de $19,73 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $23,3 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$.

100 g⁻¹, Fibra 25,4 a 21 100 g 100 g⁻¹, Extrato Etéreo variando de 1,07 g 100 g⁻¹ a 1,05 g 100 g⁻¹ e Material Mineral 3,61 a 3,83 g para 100g⁻¹ de amostra. Para Fibra Bruta (FB), em grãos verdes, apenas o genótipo CE-1002 teve valor diferente dos demais, entretanto, abaixo da média geral. O feijão-caupi, em geral, contém entre 2,5 e 32 g 100 g⁻¹ de fibra por peso de matéria seca (ABEBE& ALEMAYEHU, 2022). Em humanos, a fibra dietética desempenha um papel importante na redução do risco de doenças crônicas, como câncer e diabetes (ROBERFROID, 1997).

Além desses resultados, a tabela 3 mostra também os resultados obtidos para os genótipos com grãos maduros (secos), onde os mesmos 10 genótipos que foram avaliados apresentaram comportamento diferente em relação ao grão imaturo (verde). Em relação ao parâmetro Matéria Mineral (teor de cinzas), os genótipos CE-0958 e BRS Juruá foram os que tiveram melhores resultados, para Extrato Etéreo CE-0228 e CE-0997 foram os que obtiveram os melhores valores e para Proteína Bruta o CE-1002 com 30,78 g 100 g⁻¹ foi o que teve melhor destaque em relação aos demais. Não foi realizada análise de FB em grãos maduros.

Tabela 3- Valores médios seguidos do desvio padrão da composição centesimal em genótipos de feijão-caupi com grão imaturo (verde) e grão maduro (seco).

GRÃOS	MS	MM	EE	PB	FB
IMATUROS	g 100 g ⁻¹				
CE-0796	91,10±0,40 ^a	3,40±0,40 ^a	0,91±0,25 ^c	22,14±0,60 ^c	4,76±0,47 ^a
CE-1002	90,36±0,79 ^a	2,51±1,41 ^b	1,31±0,30 ^b	23,61±0,43 ^b	2,74±0,88 ^b
CE-0685	90,59±0,41 ^a	3,58±0,90 ^a	1,24±0,30 ^b	27,05±1,90 ^a	4,49±0,30 ^a
CE-0958	89,73±0,13 ^a	3,79±0,44 ^a	0,70±0,55 ^c	26,13±0,95 ^a	5,31±1,07 ^a
CE-0228	89,78±0,28 ^a	3,75±0,18 ^a	1,43±0,10 ^b	23,38±1,71 ^b	4,64±0,56 ^a
CE-0997	88,82±2,51 ^a	3,64±0,27 ^a	1,61±0,15 ^a	23,14±1,37 ^b	4,83±0,85 ^a
CE-0024	90,21±0,31 ^a	3,55±0,28 ^a	1,37±0,36 ^b	20,63±0,88 ^c	4,68±0,77 ^a
CE-0070	90,01±0,41 ^a	4,03±0,26 ^a	1,88±0,24 ^a	24,00±0,83 ^b	5,14±0,58 ^a
Tumucumaque	89,99±0,28 ^a	3,85±0,05 ^a	1,07±0,32 ^c	23,61±1,54 ^b	3,97±0,55 ^a
BRS Juruá	90,15±0,15 ^a	3,91±0,20 ^a	1,62±0,46 ^a	25,71±0,63 ^a	4,44±0,54 ^a
GRÃOS	MS	MM	EE	PB	
MADUROS	g 100 g ⁻¹				
CE-0796	89,37 ± 0,18 ^a	2,49 ± 0,34 ^c	0,98 ± 0,50 ^d	23,94 ± 0,46 ^g	

CE-1002	90,15 ± 1,57 ^a	3,64 ± 0,21 ^b	1,10 ± 0,05 ^d	30,78 ± 0,81 ^b
CE-0685	89,00 ± 0,28 ^a	2,52 ± 0,10 ^c	1,12 ± 0,19 ^d	28,18 ± 0,28 ^e
CE-0958	89,56 ± 1,12 ^a	3,26 ± 0,09 ^a	1,69 ± 0,12 ^d	22,08 ± 0,35 ^e
CE-0228	89,50 ± 0,35 ^a	1,83 ± 0,16 ^d	2,00 ± 0,07 ^b	22,01 ± 0,32 ⁱ
CE-0997	89,36 ± 1,12 ^a	3,26 ± 0,09 ^b	1,69 ± 0,12 ^b	22,08 ± 0,35 ⁱ
CE-0024	89,92 ± 0,82 ^a	3,35 ± 0,03 ^b	1,02 ± 0,06 ^d	24,71 ± 0,38 ^g
CE-0070	88,83 ± 0,25 ^a	2,31 ± 0,44 ^c	1,03 ± 0,13 ^d	21,76 ± 0,27 ⁱ
Tumucumaque	89,54 ± 0,93 ^a	3,59 ± 0,32 ^b	1,36 ± 0,05 ^c	23,42 ± 0,13 ^h
BRS Juruá	89,41 ± 0,91 ^a	3,78 ± 0,03 ^a	1,13 ± 0,11 ^d	22,44 ± 0,73 ⁱ

MS – Matéria seca, MM – Material Mineral, EE – Extrato Etéreo, PB – Proteínas, FB- Fibra Bruta. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, na coluna, pelo critério de Scott-Knott ($p = 0,05$).

A tabela 4 mostra os valores de herdabilidade e relação do coeficiente de variação genética e ambiental para os 10 genótipos, em que os valores de herdabilidade foi de nível intermediário para Matéria Seca e Material Mineral (acima de 50%) e alto (acima de 70%) para Extrato Etéreo, Proteína Bruta e Fibra Bruta. A herdabilidade de magnitude intermediária a alta indica maior variabilidade genética nas concentrações de composição centesimal em genótipos de feijão-caupi, o que possibilita a seleção de genótipos biofortificados. De acordo com Amaral *et al.* (2009), o processo de seleção apresenta condições mais favoráveis quando o coeficiente de herdabilidade é alta fazendo com que sofra menos variação do ambiente.

Nas porcentagens de herdabilidade diversos genes podem ser responsáveis por sua expressão e estes estão localizados em regiões distintas do genoma (MEDEIROS *et al.*, 2021), o que explicaria seus baixos valores de herdabilidade e os coeficientes de variações genética e ambiental. O ganho genético da seleção para estas variáveis é muito baixo, isso comprova que para o teor desses minerais não há variação genética. Estas informações servirão de suporte na escolha dos genótipos para seleção em programas de melhoramento no desenvolvimento de cultivares biofortificadas. Segundo Gerrano *et al.* (2022), isso resulta em desempenho genotípico variável, tornando necessário identificar genótipos específicos ou amplamente adaptados para adoção por agricultores para produção em pequena e grande escala. A seleção para agricultura familiar deve ser baseada nos caracteres de interesse econômico.

Tabela 4- Resumo da análise de variância: quadrados médios (QM), herdabilidade ($h^2\%$) e relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) para descritores de composição centesimal e nutricional de grãos verdes de 10 genótipos de feijão-caupi.

F.V.	Características/Quadrados médios				
	MS	MM	EE	PB	FB
TRATAMENTOS	1,78*	0,90*	0,63**	18,34**	2,58**
H ² (%)	56,86	61,7	82,82	92,3	81,29
CVg/CVe	0,51	0,56	0,98	1,54	0,93

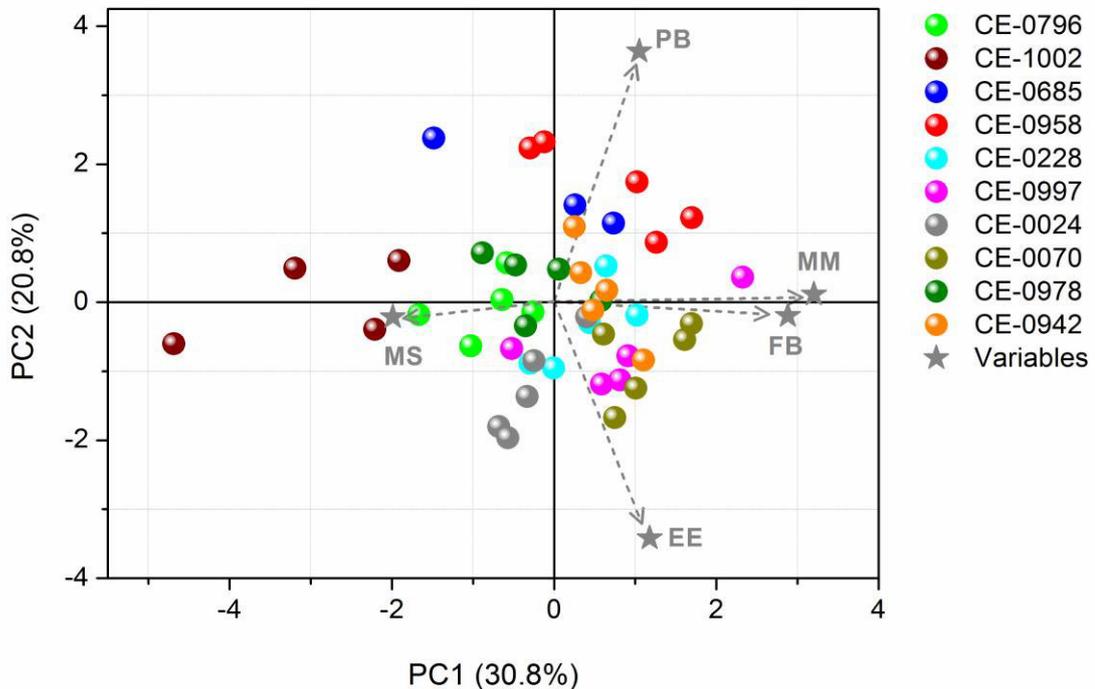
F.V.	Características/Quadrados médios				
	P	K	Ca	Mg	S
TRATAMENTOS	0,26 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
H ² (%)	13,84	27,47	0	0	0
CVg/CVe	0,17	0,27	0	0	0

F.V.	Características/Quadrados médios					
	Na	Cu	Fe	Zn	Mn	B
TRATAMENTOS	0,00 ^{ns}	0,53 ^{ns}	52,53 ^{ns}	33,53 ^{ns}	7,26 ^{ns}	508,62**
H ² (%)	0	8,5	0	40,95	3,64	86,2
CVg/CVe	0	0,13	0	0,37	0,08	1,11

*=Significativo a 5%, **=significativo a 1%, ^{ns}= não significativo. MS – Matéria seca, MM – Material Mineral, EE – Extrato Etéreo, PB – Proteínas, FB- Fibra Bruta, P – Fósforo, K – potássio, Ca – Cálcio, Mg –Magnésio, S – Enxofre, Na – Sódio, Cu – Cobre, Fe - Ferro, Zn – Zinco, Mn – Manganês e B – Boro.

Algoritmos de análises multivariadas também foram aplicados aos dados de análise centesimal. A Figura 3 apresenta as variáveis nutricionais (nutrientes identificados como estrelas no gráfico) relevantes para a discriminação das amostras. No geral, os genótipos apresentam composição semelhante já que a maioria das amostras estão alocadas em valores próximos ao eixo principal da PCA (no centro do gráfico). Algumas amostras se destacaram principalmente no eixo PC1 (30,8%). Os genótipos CE-0685, CE-0958 e BRS Juruá (CE-0942) apresentaram os maiores teores de Proteína Bruta, corroborando com os resultados de teste de médias aplicado (Scott-Knott $p = 0,05$).

Figura 3- Gráfico resultante da análise multivariada da análise centesimal de 10 genótipos de feijão-caupi



PB- Proteína Bruta; MM- Matéria Mineral; FB- Fibra Bruta; EE- Extrato Etéreo; MS- Matéria Seca.

Para a saúde humana e uma boa nutrição, é necessário um conjunto de minerais para suprir as necessidades metabólicas (GERRANO *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018). Como já foi descrito em outros estudos, o K, Ca, Zn e Fe são os quatro minerais mais importantes do feijão-caupi (GERRANO *et al.*, 2017). Este conjunto de minerais desempenha um papel significativo na saúde metabólica humana e traz vários benefícios, incluindo a regulação do equilíbrio hídrico e o controle da atividade elétrica do coração e outros músculos (K), formação óssea (Ca), formação de glóbulos vermelhos (Fe) e também cumpre muitas funções do metabolismo bioquímico (Zn) (GERRANO *et al.*, 2017; ANO & UBOCHI, 2008) Normalmente, esses minerais são fornecidos na ingestão de alimentos e sua quantidade varia de acordo com a espécie. Vários estudos referem os grãos secos do feijão-caupi como uma boa fonte de minerais, especialmente potássio, cálcio, magnésio e fósforo (NTATSI *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

Nesse trabalho para os minerais avaliados (P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Zn, Mn, B), em grãos imaturos, verificou-se que não houve diferenças significativas pelo teste de Scott & Knott à 5% de probabilidade ($P < 0,05$) entre os tratamentos (genótipos), exceto para Boro (Tabela 5), em que CE-0796, CE-1002, CE-0685, CE-0958 tiveram os maiores valores para

esse mineral. Já para os resultados de grãos maduros houve diferença estatística para todos os nutrientes avaliados. Fazendo a comparação desses resultados de grãos verdes e grãos secos, pode-se observar que todos os genótipos avaliados para grão imaturo pertencem ao mesmo grupo do resultado estatístico, o que sugere que é possível selecionar vários, dependendo do objetivo do melhoramento. Em contrapartida analisando o resultado dos 10 genótipos com grãos secos observa-se muita variação dentro desse conjunto de genótipos avaliados, isso é importante porque permitiria atender às diversas necessidades e preferências nutricionais de diferentes consumidores, sendo estes valiosos recursos genéticos para produzir novos produtos de feijão-caupi interessantes para serem explorados em programas para biofortificação e na indústria e mercado de alimentos.

Ferro (Fe) foi o mineral encontrado em maior quantidade nos grãos de feijão tanto para grãos secos quanto verde, e apresentaram resultados com valores próximos nos 10 genótipos estudados. Houve um destaque para o tratamento CE-0796 que apresentou valor bem acima da média, apresentando alta concentração de Fe, precisando este acesso ser mais bem avaliado. Seguindo a ordem de maior quantidade, zinco (Zn) é o seguinte onde na análise de grãos imaturos não houve diferença estatística entre os genótipos e para grãos maduros o genótipo CE-0958 e CE-0997 tiveram destaque em relação aos demais (Tabela 5). A utilização de alimentos com alta concentração de Zn é importante para a saúde humana, pois a deficiência desse nutriente reduz a resistência do organismo a infecções (ZORODDU *et al.*, 2019). O uso de alimentos biofortificados com Fe é uma alternativa para prevenir a anemia, que é a manifestação clínica mais reconhecida da deficiência de Fe no organismo. A variação entre os teores de minerais encontrados no feijão-caupi pode ser explicada pela variabilidade genética da cultura, condições edafoclimáticas e a existência da interação entre genótipo e ambiente (SILVA *et al.*, 2012). Existe variabilidade genética nas vagens de feijão-caupi para a concentração de minerais (TEKA *et al.*, 2020; COELHO *et al.*, 2021; MBUMA *et al.*, 2021; MOHAMMED *et al.*, 2021), permitindo a biofortificação desses nutrientes.

Tabela 5- Valores médios seguidos do desvio padrão de nutrientes em genótipos de feijão-caupi com grãos imaturos(verdes) e grãos maduros (secos).

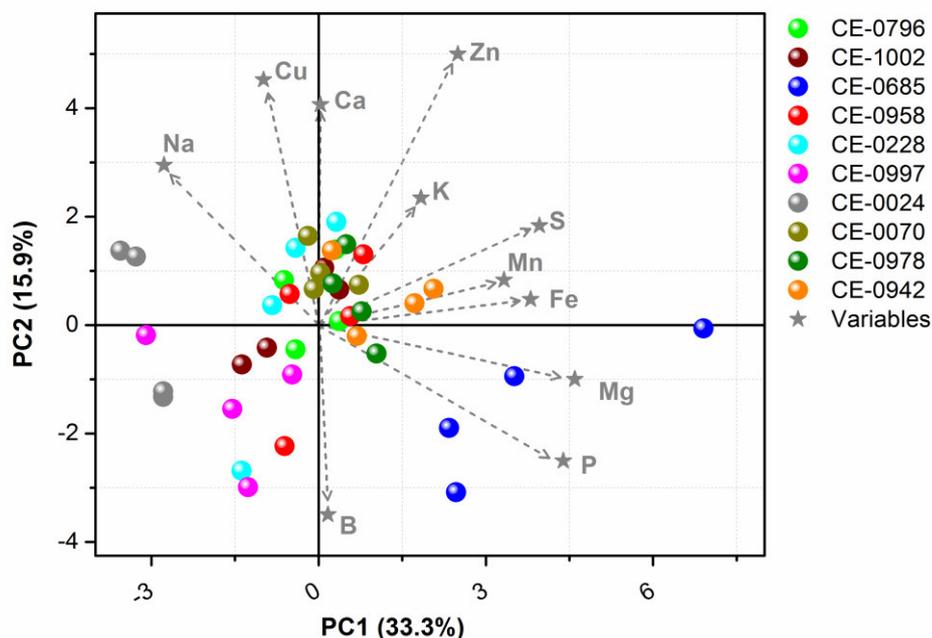
GRÃOS IMATUROS	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	g/kg						mg/kg				
CE-0796	4,98 ± 0,62 ^a	11,79±0,88 ^a	0,61±0,15 ^a	1,85±0,18 ^a	1,54±0,12 ^a	0,17±0,0 9 ^a	5,0±1 ^a	62,0±6,9 ^a	47,0±4 ^a	13,2±1,4 8 ^a	37,54±7,04 ^a
CE-1002	4,39± 0,56 ^a	12,75±1,01 ^a	0,68±0,16 ^a	1,83±0,14 ^a	1,49±0,12 ^a	0,22±0,1 2 ^a	5,4±0,89 ^a	67,0±12,6 4 ^a	45,8±7,1 2 ^a	14,4±2,0 7 ^a	39,11±5,81 ^a
CE-0685	4,92 ± 0,69 ^a	12,62±1,35 ^a	0,62±0,17 ^a	1,93±0,23 ^a	1,55±0,18 ^a	0,17±0,0 5 ^a	5,20±0,4 4 ^a	64,0±16,4 4 ^a	52,0±6,0 4 ^a	17,0±3,9 3 ^a	36,35±6,51 ^a
CE-0958	4,53±0,27 ^a	12,33±0,89 ^a	0,67±0,12 ^a	1,88±0,07 ^a	1,45±0,09 ^a	0,18±0,0 8 ^a	5,20±0,8 3 ^a	60,4±3,36 ^a	48,8±4,4 9 ^a	16,2±2,1 6 ^a	27,98±13,2 7 ^a
CE-0228	4,90±0,35 ^a	11,63±1,77 ^a	0,57±0,17 ^a	1,94±0,12 ^a	1,60±0,07 ^a	0,24±0,0 9 ^a	5,8±0,44 ^a	61,6±11,0 3 ^a	53,4±3,5 0 ^a	17,0±3,7 4 ^a	20,82±9,44 ^b
CE-0997	4,42±0,32 ^a	12,38±0,72 ^a	0,58±0,17 ^a	1,93±0,09 ^a	1,45±0,11 ^a	0,24±0,1 9 ^a	6,0±0 ^a	61,4±3,04 ^a	50,2±5,4 0 ^a	16,2±2,6 8 ^a	20,36±7,78 ^b
CE-0024	4,66±0,54 ^a	11,67±0,86 ^a	0,54±0,15 ^a	1,89±0,09 ^a	1,50±0,11 ^a	0,25±0,1 3 ^a	5,9±0,83 ^a	68,2±11,2 1 ^a	51,4±2,5 0 ^a	16,4±3,7 8 ^a	15,21±10,1 1 ^b
CE-0070	4,47±0,39 ^a	11,48±0,87 ^a	0,68±0,13 ^a	1,91±0,15 ^a	1,53±0,10 ^a	0,22±0,1 9 ^a	5,6±0,89 ^a	66,2±5,58 ^a	52,4±4,2 1 ^a	16,6±2,0 7 ^a	14,75±5,65 ^b
Tumucumaque	4,62±0,28 ^a	12,58±1,07 ^a	0,65±0,16 ^a	1,92±0,05 ^a	1,53±0,06 ^a	0,26±0,0 9 ^a	5,8±0,44 ^a	69,2±11,1 2 ^a	53,2±1,9 2 ^a	15,4±1,6 7 ^a	14,38±7,99 ^b
Juruá	4,40±0,51 ^a	11,13±0,81 ^a	0,72±0,14 ^a	1,87±0,13 ^a	1,51±0,11 ^a	0,24±0,1 4 ^a	5,6±0,54 ^a	61,4±6,10 ^a	49,6±2,3 0 ^a	15,8±0,8 3 ^a	16,40±7,15 ^b

GRÃOS	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Zn	Mn	B
MADUROS	g/kg						mg/kg				
CE-0796	4,19 ± 0,04 ^b	15,10 ± 1,26 ^a	0,45 ± 0,02 ^d	1,69 ± 0,08 ^b	1,58 ± 0,01 ^b	0,43 ± 0,05 ^c	7,00 ± 0,00 ^a	113,33 ± 41,00 ^a	56,33 ± 0,58 ^a	17,00 ± 0,00 ^b	5.56±1.26 ^d
CE-1002	4,12 ± 0,67 ^b	10,90 ± 1,84 ^b	0,51 ± 0,06 ^c	1,64 ± 0,19 ^b	1,51 ± 0,23 ^c	0,25 ± 0,06 ^d	6,00 ± 1,00 ^b	68,33 ± 15,01 ^b	49,33 ± 4,04 ^b	15,33 ± 1,15 ^c	9.88±2.15 ^b
CE-0685	4,87 ± 0,05 ^a	12,72 ± 0,66 ^b	0,44 ± 0,03 ^d	2,06 ± 0,10 ^a	1,61 ± 0,01 ^b	0,18 ± 0,03 ^d	6,00 ± 0,00 ^b	76,67 ± 4,51 ^b	45,67 ± 0,58 ^b	19,33 ± 0,58 ^a	10.76±0.28 ^b
CE-0958	4,51 ± 0,03 ^a	13,49 ± 1,06 ^a	0,47 ± 0,05 ^c	1,85 ± 0,10 ^b	1,57 ± 0,10 ^c	0,46 ± 0,10 ^c	6,33 ± 1,15 ^b	60,33 ± 7,64 ^b	51,00 ± 1,73 ^a	14,33 ± 0,58 ^c	12.33±1.41 ^a
CE-0228	3,47 ± 0,13 ^c	12,40 ± 1,10 ^b	0,87 ± 0,04 ^a	1,80 ± 0,04 ^b	1,47 ± 0,04 ^c	0,45 ± 0,03 ^c	6,00 ± 0,00 ^b	68,33 ± 28,92 ^b	46,67 ± 2,08 ^b	13,67 ± 2,89 ^d	13.40±1.94 ^a
CE-0997	4,53 ± 1,10 ^a	14,84 ± 4,02 ^a	0,45 ± 0,14 ^d	2,05 ± 0,58 ^a	1,56 ± 0,38 ^c	0,65 ± 0,25 ^b	6,33 ± 2,52 ^b	65,00 ± 24,02 ^b	53,00 ± 13,86 ^a	14,33 ± 3,21 ^c	7.06±1.06 ^c
CE-0024	3,56 ± 0,11 ^c	11,66 ± 0,77 ^b	0,55 ± 0,03 ^c	1,63 ± 0,05 ^b	1,49 ± 0,15 ^c	0,67 ± 0,10 ^b	5,00 ± 1,00 ^b	57,67 ± 5,13 ^b	40,33 ± 1,15 ^c	13,33 ± 0,58 ^d	7.31±0.75 ^c
CE-0070	3,87 ± 0,10 ^c	14,40 ± 1,13 ^a	0,61 ± 0,03 ^b	1,97 ± 0,09 ^a	1,45 ± 0,04 ^c	0,62 ± 0,06 ^b	7,00 ± 0,00 ^a	61,00 ± 14,18 ^b	47,67 ± 0,58 ^b	13,33 ± 0,58 ^d	8.48±0.52 ^c
Tumucumaque	4,24 ± 0,04 ^b	12,56 ± 0,54 ^b	0,70 ± 0,05 ^b	1,89 ± 0,10 ^a	1,63 ± 0,12 ^b	0,20 ± 0,06 ^d	5,00 ± 1,00 ^b	61,67 ± 6,03 ^b	40,33 ± 1,15 ^c	9,67 ± 0,58 ^f	13.16±3.04 ^a
Juruá	4,28 ± 0,17 ^b	14,56 ± 0,76 ^a	0,67 ± 0,03 ^b	1,85 ± 0,06 ^b	1,61 ± 0,02 ^b	0,35 ± 0,06 ^c	5,33 ± 1,15 ^b	52,00 ± 24,43 ^b	47,67 ± 2,08 ^b	15,67 ± 0,58 ^c	10.47±0.89 ^b

P – Fósforo, K – potássio, Ca – Cálcio, Mg – Magnésio, S – Enxofre, Na – Sódio, Cu – Cobre, Fe - Ferro, Zn – Zinco, Mn – manganês e B - Boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, na coluna, pelo critério de Scott-Knott (p = 0,05).

Além da comparação de médias por meio do teste de Scott&Knott, o resultado da análise para grãos imaturos também foi associado a algoritmos de análises. A Figura 4 apresenta os gráficos de escores (a) e as variáveis relevantes (nutrientes identificados como estrelas no gráfico) para a discriminação das amostras (b). De acordo com o PCA, no geral, os genótipos apresentam composição semelhante já que a maioria das amostras estão alocadas em valores próximos ao eixo principal da PCA (no centro do gráfico). Contudo, algumas amostras se destacam demonstrando uma tendência de separação dos genótipos de acordo com a composição dos minerais, principalmente no eixo PC1. A análise das variáveis relevantes para a distinção indica os minerais mais importantes que levam à discriminação em que o genótipo CE-0685 apresentou o maior teor dos minerais P, Mg e Fe, enquanto os genótipos CE-0024 e CE-0097, apresentaram os maiores teores de Na e redução nos teores de todos os demais nutrientes.

Figura 4- Gráfico resultante da análise multivariada dos minerais de 10 genótipo diferentes de feijão-caupi com a) escores e b) variáveis relevantes.



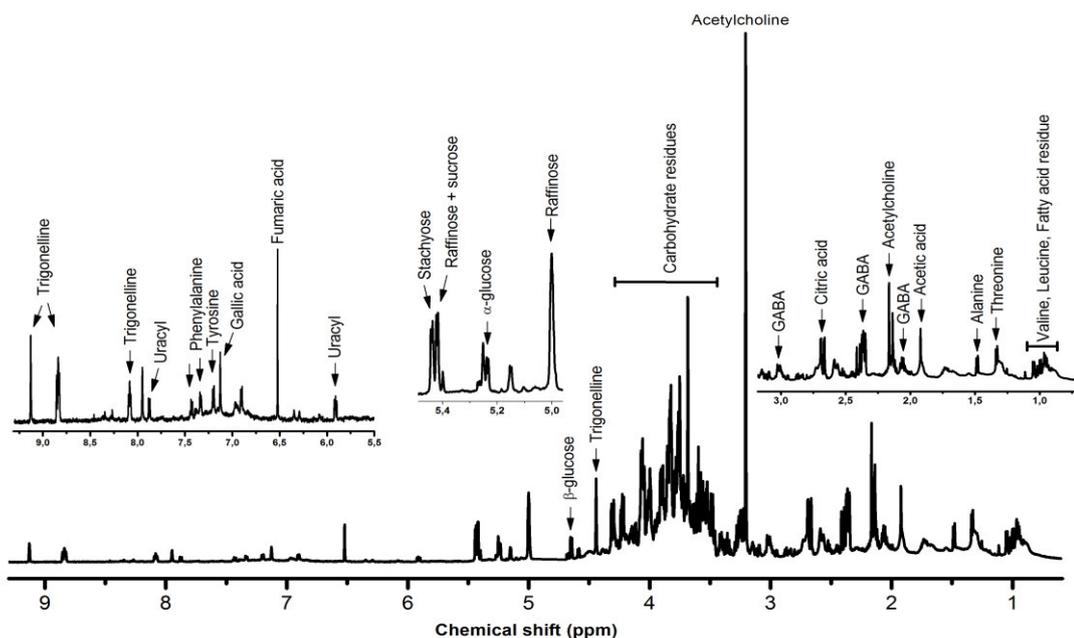
Na Figura 5 está apresentado o espectro de ^1H NMR do genótipo CE-0796 com os principais compostos caracterizados nos genótipos estudados. O espectro indica que o feijão-caupi contém um alto nível de compostos alifáticos, aromáticos e de carboidratos. Os principais compostos detectados foram os carboidratos e aminoácidos. O feijão-caupi, em geral, tem muitos carboidratos em suas sementes maduras (crus) e grãos imaturos (verdes). O grão contém

50-60% de carboidratos (MUNE *et al.*, 2008), a maioria dos quais é amido. Nas sementes, o amido é o carboidrato encontrado em maior quantidade, com os açúcares representando apenas uma quantidade menor (DU *et al.*, 2014). De acordo com TCHIAGAM *et al.* (2011), o sabor do feijão-fradinho é muito afetado pela concentração de sacarose das sementes. Estaquiase (3,43%), sacarose (2,97%) e rafinose (1,24%) são os principais açúcares presentes no grão.

Foram detectados os ácidos orgânicos gálico, fumárico, cítrico, acético, que segundo Troni *et al.* (2019) a acidez é um parâmetro que auxilia nas distinções do sabor e odor, além de contribuir na conservação e qualidade dos alimentos. Bezerra *et al.* (2019) ao analisarem a composição química de oito cultivares de feijão-caupi obteve valores variando entre 0,53 a 0,81% em porcentagem de ácido cítrico. Estes mesmos autores afirmam que a acidificação do tecido pode ocorrer devido a inadequações durante o armazenamento, na qual pode ser oriunda de processos biológicos como a hidrólise enzimática.

Os genótipos em estudo apresentaram grande quantidade de aminoácidos essenciais como: fenilamina e tirosina, além de alanina, valina, leucina, treonina. A caracterização realizada está de acordo com os resultados obtidos em trabalhos recentemente publicados utilizando a Análise de Ressonância Magnética Nuclear (ALVES FILHO *et al.*, 2017; BENTO *et al.*, 2021; COELHO *et al.*, 2020; HERNÁNDEZ-GUERRERO *et al.*, 2021).

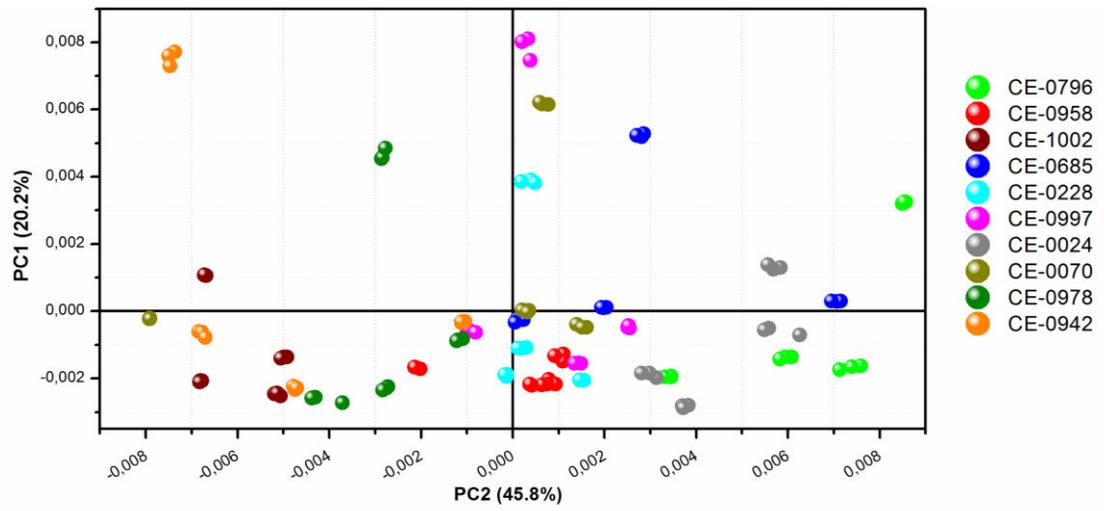
Figura 5- 1H RMN do genótipo CE-0796 com os assinalamentos dos compostos caracterizados



Os escores (Figura 6) mostram uma tendência principal de separação dos genótipos, principalmente no eixo PC1. A análise das variáveis relevantes para a distinção das amostras indica os metabólitos mais importantes que levam à discriminação. Os genótipos CE-0796, CE-0024 e CE-0685, apresentam os maiores teores de sacarose e de estaquiose, verbascose e rafinose (oligossacarídeos), que segundo CHEN *et al.* (2019) esses compostos apresentam atividades prebióticas que estimulam a atividade de bactérias e lactobacilos no estômago, e deste modo é benéfico ao consumo. Além disso, usando os dados morfológicos do Apêndice F e Apêndice G, pode-se observar que esses genótipos apresentam em comum a cor violeta da flor, maturidade reprodutiva tardia e cor do grão pertencente a classe cores e sub classe preto, marrom e mulato, respectivamente.

Por outro lado, os genótipos CE-1002, CE-0942 (BRS Juruá) e CE-0978 apresentaram os maiores teores de aminoácidos como valina, leucina, fenilalanina, tirosina, carboidratos como α -glicose e β -glicose, além de compostos fenólicos, como trigonelina, dentre outros como o ácido acético, ácido fumárico, acetilcolina e uracila. O perfil de aminoácidos do grão de feijão-caupi é rico em lisina, leucina e arginina, e pode atender às necessidades de aminoácidos necessários de um alimento à base de, em grande parte, cereais para os humanos (VERBREE *et al.*, 2015). Esses genótipos apresentam em comum características morfológicas, tais como, cor da flor branca, maturidade reprodutiva precoce e cor do grão branco, apresentando apenas a cultivar BRS Juruá, cor verde do tegumento. Dessa forma, pode-se observar a variabilidade morfológica presente na espécie *Vigna unguiculata*, assim como no Apêndice H em que mostra a aparência e as características morfológicas dos 10 genótipos selecionados para o presente estudo, e com o uso do melhoramento convencional possibilita o desenvolvimento de programa de biofortificação para o feijão-caupi.

Figura 6- Gráfico resultante da análise multivariada dos espectros de RMN de 10 genótipos de feijão-caupi .



6. CONCLUSÃO

- Os genótipos CE-0796, CE-1002, CE-0685, BRS Juruá possuem potencial nutricional para o consumo de grãos verdes;
- O genótipo CE-0685, destacou-se por apresentar o maior teor dos minerais: Boro, Fósforo, Magnésio e Ferro; além de Proteína Bruta, sacarose, estaquiose, verbascose e rafinose (oligossacarídeos), apresentando os melhores resultados para uso na biofortificação em programas de melhoramento.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, Elenilson G. *et al.* Genotype evaluation of cowpea seeds (*Vigna unguiculata*) using ¹H qNMR combined with exploratory tools and solid-state NMR. **Food Research International**, [s.l], v. 91, p. 140-147, 2017.
- ALVES, Ana Suzette da Silva Cavalcante *et al.* **Efeito de diferentes épocas do plantio de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) na dinâmica populacional de insetos-praga e seus inimigos naturais.** 2020. 140f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.
- DE ANDRADE, Wellerson Leite *et al.* Bradyrhizobium inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s.l], v. 40, p. 656-667, 2021.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis.** 18^a ed., Gaithersburg: Published by AOAC International. Washington DC, 2005.
- ARAÚJO, Kleber Cordeiro. **Avaliação de linhagens melhoradas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na região noroeste fluminense para estudo de valor de cultivo.** 2019. 98 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2019.
- ARAÚJO, Ricardo *et al.* Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.
- ABEBE, Belete Kuraz; ALEMAYEHU, Mulugeta Tesfaye. A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for human and animal diets. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100383, 2022.
- AMARAL, ND de O., *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi de porte ereto R ciclo precoce. *In*: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 5., 2009, Guarapari. **Anais...** Guarapari: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2009.
- ANO, A.O.; UBOCHI, C.I. Composição Nutricional de acessos de feijão-caupi vegetal trepante e prostrado. **African Journal of Biotechnology**, [s.l], v.7, n.20, 2008.
- BENTO, Juliana Aparecida Correia *et al.* Chemical profile of colorful bean (*Phaseolus vulgaris* L) flours: Changes influenced by the cooking method. **Food Chemistry**, [s.l], v. 356, p.129718, 2021.
- BEZERRA, Antonio Aécio Carvalho *et al.* Comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. **Revista de Ciências Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, [s.l], v. 55, n. 3, p. 184-189, 2012.
- BEZERRA, Júlia Medeiros *et al.* Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l], v. 14, n. 1, p. 41-47, 2019.

- BOUKAR, Ousmane *et al.* Genomic tools in cowpea breeding programs: status and perspectives. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 7, p. 757, 2016.
- BURATTO, Juliana Sawada *et al.* Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 31, p. 593-597, 2009.
- SANTIAGO, RA Cardoso *et al.* The potential of extruded chickpea, corn and bovine lung for malnutrition programs. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 203-209, 2001.
- CARVALHO, Ana Fontenele Urano *et al.* Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s.l.], v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.
- CHEN, Zhou *et al.* Purification and characterization of a new xylanase with excellent stability from *Aspergillus flavus* and its application in hydrolyzing pretreated corncobs. **Protein expression and purification**, [s.l.], v. 154, p. 91-97, 2019.
- COELHO, Silvia Renata M. *et al.* NMR and LC-MS assessment of compound variability of common bean (*Phaseolus vulgaris*) stored under controlled atmosphere. **LWT**, v. 117, p. 108673, 2020.
- COELHO, Ronaldo Cunha *et al.* Expanding information on the bioaccessibility and bioavailability of iron and zinc in biofortified cowpea seeds. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 347, p. 129027, 2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 12, décimo levantamento, p. 38-53, 2021.
- CONAB- Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, v. 7 – safra 2019/20 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, agosto 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>
- CRUZ, C.D. Programa Genes: versão Windows – Aplicativo computacional em genética e estatística. Universidade Federal de Viçosa: UFV, 2017.
- DIAS, Cristina Zita de Moraes Costa *et al.* Seleção de linhagens elite de feijão-caupi de porte semiereto biofortificadas com ferro e zinco/Selection of biofortified semierette beans elite line biofortified with iron and zinc. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 19807-19814, 2020.
- DUARTE, Vanda da Luz. Alimentos biofortificados na merenda escolar: relato sobre o projeto Cooperar e Crescer. 2021.
- DIAS, Ana Débora Cordeiro *et al.* A importância da alimentação saudável e estado nutricional adequado frente a pandemia de COVID-19. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 9, p. 66464-66473, 2020.
- DU, Shuang-kui *et al.* Physicochemical properties and digestibility of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starches. **Carbohydrate polymers**, v. 108, p. 200-205, 2014.

BARROS, Gislanne Brito *et al.* Diversidade genética de acessos de feijão-caupi do banco ativo de germoplasma da Embrapa Meio-Norte baseados nas características morfoagronômicas qualitativas. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80765/1/brs-jurua.pdf>

FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues *et al.* Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. **Reunião de biofortificação no Brasil**, [s.l.], v. 4, p. 1-21, 2011.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues *et al.* Diagnóstico da situação de manejo do Banco Ativo de Germoplasma de *Vigna sp.* da Embrapa Meio-Norte. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Genéticos**, 2., 2008, Brasília. Anais, Brasília: CENERGEN, p. 328, 2008.

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

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues *et al.* Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 35, p. 24-30, 2005.

FREITAS, Thaise Kessiane Teixeira *et al.* Potencial de genótipos de feijão-caupi para biofortificação de nutrientes e qualidade de cozimento. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 53, p. e20218048, 2022.

FROTA, Karoline de Macêdo Gonçalves; SOARES, Rosana Aparecida Manólio; ARÊAS, José Alfredo Gomes. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 28, p. 470-476, 2008.

GERRANO, Abe Shegro *et al.* Selection of cowpea genotypes based on grain mineral and total protein content. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, [s.l.], v. 69, n. 2, p. 155-166, 2019.

GERRANO, Abe Shegro; VAN RENSBURG, Willem Sternberg Jansen; ADEBOLA, Patrick Olusanmi. Nutritional composition of immature pods in selected cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] genotypes in South Africa. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 134-141, 2017.

GERRANO, Abe Shegro *et al.* Genotype-by-environment interaction for the contents of micro-nutrients and protein in the green pods of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Agriculture**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 531, 2022.

GONÇALVES, Alexandre *et al.* 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**, [s.l.], v. 96, n. 9, p. 2941-2951, 2016.

GONÇALVES, Ana Stella Freire *et al.* Uso da biofortificação vegetal: uma revisão. **Cerrado Agrocências**, [s.l.], v. 6, p. 75-87, 2015.

GONÇALVES, Fabíola Vieira *et al.* Caracterização nutricional de genótipos comerciais de feijão-caupi. 2017.

GUIMARÃES, Douglas Gonçalves *et al.* Desempenho da cultivar de feijão-caupi BRS novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. **Revista Cultura Agrônômica**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 61, 2020.

HAZRA, P. *et al.* Breeding strategy for improving plant type, pod yield and protein content in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata*). In: **I International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes. Prospectus for Fighting Poverty, Hunger and Malnutrition 752**. 2006. p. 275-280.

HERNÁNDEZ-GUERRERO, Claudia J. *et al.* Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) under the spotlight of NMR metabolomics. **Food Research International**, [s.l.], v. 150, p. 110805, 2021.

KARAPANOS, Ioannis *et al.* Cowpea fresh pods—a new legume for the market: assessment of their quality and dietary characteristics of 37 cowpea accessions grown in southern Europe. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 97, n. 13, p. 4343-4352, 2017.

LONDERO, Patrícia Medianeira Grigoletto; RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; CARGNELUTTI FILHO, Alberto. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 32, p. 167-173, 2008.

LOUREIRO, Marina Paraluppi *et al.* Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar e Nutricional**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

DE CARVALHO, Maria do Carmo *et al.* Zinco, vitamina D e sistema imune: papel na infecção pelo novo coronavírus. **Revista da FAESF**, [s.l.], v. 4, 2020.

MBUMA, Ntombokulunga W. *et al.* Variability in the concentration of mineral elements and phytochemical contents of cowpea genotypes for crop improvement. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 71, n. 2, p. 132-144, 2021.

MEDEIROS, Isis Fernanda Silva *et al.* Avaliação de variedades de feijão-caupi selecionadas sob competição com plantas daninhas. **Revista Ciência Agrônômica**, [s.l.], v. 52, 2021.

MENEGASSI, Bruna *et al.* A nova classificação de alimentos: teoria, prática e dificuldades. **Ciência & saúde coletiva**, [s.l.], v. 23, p. 4165-4176, 2018.

DO BRASIL, Federativa; BRASÍLIA, D. F. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. [s.n.], v. 5, n. 10, p. 2016, 2016.

MOREIRA, Priscila Ximenes *et al.* Estrutura e composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Feijão-caupi. Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza, p. 11-23, 2008.

MOREIRA-ARAÚJO, Regilda SR; ARAÚJO, Marcos AM; ARÊAS, José AG. Fortified food made by the extrusion of a mixture of chickpea, corn and bovine lung controls iron-deficiency anaemia in preschool children. **Food Chemistry**, [s.l], v. 107, n. 1, p. 158-164, 2008.

MOREIRA-ARAÚJO, Regilda Saraiva dos Reis *et al.* Impacto de salgadinho de alto valor nutritivo na situação nutricional de crianças de creches municipais de Teresina-PI. **Nutrire Revista Social Brasileira de Alimentação Nutricional**, [s.l], p. 7-21, 2002.

MOHAMMED, Saba B. *et al.* High soil phosphorus application significantly increased grain yield, phosphorus content but not zinc content of cowpea grains. **Agronomy**, [s.l], v. 11, n. 4, p. 802, 2021.

MUNE, Martin Alain Mune; MINKA, Samuel René; MBOME, Israël Lape. Response surface methodology for optimisation of protein concentrate preparation from cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Food chemistry**, [s.l], v. 110, n. 3, p. 735-741, 2008.

NÖRNBERG, Marcele Leal; STORCK, Cátia Regina. Potencial nutricional de farinhas de feijão branco e aplicação em produto de panificação Nutritional potential of flour white bean and application of bakery product. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 10255-10269, 2022.

NTATSI, Georgia *et al.* The quality of leguminous vegetables as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae**, [s.l], v. 232, p. 191-205, 2018.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Advances in cowpea research**, p. 1, 1997.

PAIVA, J. B. *et al.* Feijão-caupi: melhoramento genético no Centro de Ciências Agrárias. **Fortaleza: Edições UFC**, 2014.

PAULINO, Jonatta Sousa; GOMES, Ramonildes Alves. Sementes da Paixão: agroecologia e resgate da tradição. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s.l], v. 53, p. 517-528, 2015.

PEREIRA, Lucas Medeiros *et al.* Seleção de genótipos de alfaces verdes biofortificadas utilizando a fenotipagem por imagem. 2020.

PEREIRA, Renalison Farias. Caracterização bioquímica, nutricional e funcional de genótipos elite de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. 2013.

ROBERFROID, M. B. Health benefits of non-digestible oligosaccharides. **Dietary fiber in health and disease**, p. 211-219, 1997.

SANTOS, Ana Claudia Schllemer dos *et al.* **Caracterização morfoagronômica e molecular de genótipos de feijão**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DA SILVA, Fábio Cesar *et al.* **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009.

DE OLIVEIRA SILVA, Marina Borges *et al.* Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 41, n. 4, p. 1059-1066, 2018.

SILVA, SM de S. *et al.* Composição química de 45 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). 2002.

DA SILVA, Alexandre Carneiro *et al.* Cowpea: A strategic legume species for food security and health. In: **Legume seed nutraceutical research**. IntechOpen, 2018.

SILVA, Camila Andrade *et al.* Interaction genotype by season and its influence on the identification of beans with high content of zinc and iron. **Bragantia**, v. 71, p. 336-341, 2012.

SOCCOL, Caroline Pagani *et al.* Alimentos biofortificados no Brasil e sua importância no combate à fome oculta. 2021.

SOUZA, Estefania Julia Dierings. **Propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de biscoito tipo cookie sem glúten, desenvolvido com arroz de diferentes teores de amilose e feijão-caup.** 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

SOMBIÉ, Pierre Alexandre Eric Djifaby *et al.* Antioxidant and phytochemical studies of 31 cowpeas (*Vigna unguiculata* (L. Walp.)) genotypes from Burkina Faso. **Foods**, v. 7, n. 9, p. 143, 2018.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.1. São Paulo, 2020. [Acesso em: Setembro de 2022]. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

TEKA, Tilahun A. *et al.* Protein fractions, in vitro protein digestibility and amino acid composition of select cowpea varieties grown in Ethiopia. **Food Bioscience**, v. 36, p. 100634, 2020.

TCHIAGAM, L. B. N. *et al.* Genetic analysis of seed proteins contents in cowpea (*Vigna unguiculata*). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 16, p. 3077-3086, 2011.

TRONI, Larissa Mayara. Produção, produtividade e características físico-químicas de duas cultivares de batata-doce em sistema de cultivo orgânico. 2019.

UZOGARA, S. G.; OFUYA, Z. M. Processing and utilization of cowpeas in developing countries: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 105-147, 1992.

VAN DER STRAETEN, Dominique *et al.* Multiplying the efficiency and impact of biofortification through metabolic engineering. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 5203, 2020.

VERGÜTZ, Laila Atyna Alves *et al.* Análise da implantação de reservatórios de detenção na bacia são pedro e modelagem hidrodinâmica da avenida Rondon Pacheco. 2016.

VERBREE, David A.; SINGH, Bir B.; PAYNE, William A. Genetics and heritability of shoot drought tolerance in cowpea seedlings. **Crop Science**, [s.l.], v. 55, n. 1, p. 146-153, 2015.

DE OLIVEIRA VIEIRA, Igor Cristian *et al.* Uso do modelo aquacrop para o feijão-caupi cultivado sob diferentes lâminas de irrigação em Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 27, p. 726-746, 2020.

DA SILVA VIEIRA, Maria Marlene; BEZERRA, Júlia Medeiros; DOS SANTOS, Adriana Ferreira. Avaliação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo cru, cozido e seus caldos de cocção. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e3710716243-e3710716243, 2021.

YADAV, Deep N. et al. Wheat and Barley Grain Biofortification. **Woodhead Publishing**, p. 257-273, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128184448/wheat-and-barley-grain-biofortification>. Acesso em: Setembro de 2022.

ZORODDU, Maria Antonietta et al. The essential metals for humans: a brief overview. **Journal of inorganic biochemistry**, v. 195, p. 120-129, 2019.

APÊNDICE A - APARÊNCIA DOS 43 GENÓTIPOS E SUAS NOMEAÇÕES



Fonte: Arquivo pessoal.

**APÊNDICE B - INFORMAÇÕES SOBRE OS 43 GENÓTIPOS QUANTO AO
NOME COMUM, ORIGEM, CLASSE E SUBCLASSE**

N°	ID BAG	ID COMUM	ORIGEM	CLASSE	SUBCLASSE
1	CE1002	MNC 01-627F-14-5	BAG-UFC	branco	branca
2	CE0155	1571	BAG-UFC	marrom	mulato
3	CE0206	V-33	BAG-UFC	branco	fradinho
4	CE0024	Cowpea-535	BAG-UFC	misturado	misturado
5	CE0689	CNCx666-31E	BAG-UFC	preto	preto
6	CE0986	IT 81D-1032	BAG-UFC	cores	vinagre
7	CE0172	4280 (<i>V. sesquipedales</i>)	BAG-UFC	preto	preto
8	CE0002	Bengala	BAG-UFC	cores	manteiga
9	CE0313	Tvu 2000	BAG-UFC	cores	mulato
10	CE0199	Coleção Pernambuco V-8	BAG-UFC	branco	fradinho
11	CE0542	ER-7	BAG-UFC	branco	fradinho
12	CE0244	Tvu 2000	BAG-UFC	preto	preto
13	CE0686	CNCx666-26E	BAG-UFC	preto	preto
14	CE0205	V-24	BAG-UFC	branco	fradinho
15	CE0151	1304	BAG-UFC	cores	mulato
16	CE0243	Malhado Preto	BAG-UFC	cores	corujinha
17	CE1007	MNC-01-625D	BAG-UFC	branco	branco liso
18	CE0957	MNC-01627D-65-1	BAG-UFC	branco	branco liso
19	CE0165	2381	BAG-UFC	preto	preto
20	CE0999	MNC 03-720-C-31	BAG-UFC	branco	fradinho
21	CE0068	Lampião	BAG-UFC	cores	rajado
22	CE0253	TVu191	BAG-UFC	cores	mulato
23	CE0997	IT 81D-1073	BAG-UFC	cores	mulato
24	CE0958	IT 91K-118-2	BAG-UFC	cores	manteiga
25	CE0207	V-34	BAG-UFC	cores	mulato
26	CE0061	–	BAG-UFC	cores	vinagre
27	CE0189	Costa Rica V-10	BAG-UFC	cores	mulato
28	CE0248	Tvu 91	BAG-UFC	cores	vinagre
29	CE0685	CNCx666-21E	BAG-UFC	preto	preto

30	CE0964	MNC-06-887B-561	BAG-UFC	branco	fradinho
31	CE0398	TVu 200	BAG-UFC	cores	mulato
32	CE0337	Tvu 4538	BAG-UFC	cores	mulato
33	CE0164	2380	BAG-UFC	branco	fradinho
34	CE0228	Guerreiro 105	BAG-UFC	misturado	misturado
35	CE0688	CNCx666-26E	BAG-UFC	preto	preto
36	CE0796	CNCx251-60E	BAG-UFC	cores	mulato
37	CE0070	Quarenta dias - 1	BAG-UFC	cores	mulato
38	CE0114	Texas Purple Hull - 49	BAG-UFC	misturado	misturado
39	CE0925	Tvu 4552	BAG-UFC	branco	olho- marrom
40	CE0942	BRS JURUÁ	BAG-UFC	cores	verde
41	CE0978	BRS TUMUCUMAQUE	BAG-UFC	branco	branco liso
42	CE0934	BRS GUARIBA	BAG-UFC	branco	branco liso
43	CE0943	BRS ARACÊ	BAG-UFC	cores	verde

**APÊNDICE C - VALORES MÉDIOS SEGUIDOS DO DESVIO PADRÃO DA
COMPOSIÇÃO CENTESIMAL EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM GRÃO
SECO**

ID	ACESSOS	MS	MM	EE	PB	g/kg					
1	CE-1002	90,15 ± 1,57 ^a	3,64 ± 0,21 ^b	1,10 ± 0,05 ^d	30,78 ± 0,81 ^b						
2	CE-0155	89,77 ± 1,02 ^a	4,02 ± 0,57 ^a	1,20 ± 0,02 ^c	28,02 ± 0,13 ^c						
3	CE-0206	89,98 ± 1,14 ^a	4,07 ± 0,44 ^a	0,95 ± 0,07 ^d	25,64 ± 0,28 ^f						
4	CE-0024	89,92 ± 0,82 ^a	3,35 ± 0,03 ^b	1,02 ± 0,06 ^d	24,71 ± 0,38 ^g						
5	CE-0689	89,58 ± 1,12 ^a	4,11 ± 0,45 ^a	1,02 ± 0,13 ^d	31,36 ± 0,58 ^b						
6	CE-0986	89,28 ± 1,60 ^a	3,27 ± 0,06 ^b	1,01 ± 0,06 ^d	26,25 ± 1,15 ^f						
7	CE-0172	89,01 ± 1,54 ^a	3,83 ± 0,28 ^a	1,07 ± 0,06 ^d	30,27 ± 0,92 ^c						
8	CE-0002	89,48 ± 1,25 ^a	3,96 ± 0,17 ^a	1,93 ± 0,10 ^b	29,84 ± 1,45 ^c						
9	CE-0313	89,39 ± 1,20 ^a	4,36 ± 0,11 ^a	1,17 ± 0,13 ^c	25,57 ± 1,48 ^f						
10	CE-0199	90,02 ± 0,82 ^a	4,01 ± 0,15 ^a	1,07 ± 0,11 ^d	27,00 ± 0,52 ^e						
11	CE-0542	90,39 ± 0,50 ^a	3,84 ± 0,20 ^a	1,25 ± 0,15 ^c	23,21 ± 0,73 ^h						
12	CE-0244	90,27 ± 0,44 ^a	4,03 ± 0,25 ^a	1,24 ± 0,14 ^c	28,89 ± 1,74 ^d						
13	CE-0686	90,01 ± 1,13 ^a	3,73 ± 0,13 ^b	1,21 ± 0,03 ^c	33,88 ± 0,52 ^a						
14	CE-0205	90,54 ± 0,44 ^a	3,65 ± 0,10 ^b	1,30 ± 0,16 ^c	26,20 ± 0,55 ^f						
15	CE-0151	89,74 ± 1,14 ^a	3,62 ± 0,07 ^b	1,22 ± 0,08 ^c	28,64 ± 0,62 ^d						
16	CE-0243	89,73 ± 1,04 ^a	3,89 ± 0,50 ^a	1,22 ± 0,04 ^c	30,03 ± 0,82 ^c						
17	CE-1007	90,31 ± 0,65 ^a	3,63 ± 0,10 ^b	1,24 ± 0,12 ^c	29,47 ± 0,76 ^c						
18	CE-0957	89,89 ± 1,08 ^a	3,83 ± 0,20 ^a	1,23 ± 0,07 ^c	29,00 ± 0,66 ^d						
19	CE-0165	89,62 ± 1,13 ^a	3,78 ± 0,29 ^a	1,16 ± 0,11 ^c	31,30 ± 1,76 ^b						
20	CE-0999	89,85 ± 0,88 ^a	3,47 ± 0,11 ^b	1,30 ± 0,07 ^c	25,74 ± 0,24 ^f						
21	CE-0068	89,93 ± 1,10 ^a	3,64 ± 0,21 ^b	1,20 ± 0,08 ^c	21,90 ± 0,28 ⁱ						
22	CE-0253	89,49 ± 0,78 ^a	3,66 ± 0,07 ^b	1,38 ± 0,50 ^c	21,89 ± 0,54 ⁱ						
23	CE-0997	89,36 ± 1,12 ^a	3,26 ± 0,09 ^b	1,69 ± 0,12 ^b	22,08 ± 0,35 ⁱ						
24	CE-0958	89,56 ± 1,12 ^a	3,26 ± 0,09 ^a	1,69 ± 0,12 ^d	22,08 ± 0,35 ^e						
25	CE-0207	89,44 ± 0,73 ^a	3,98 ± 0,05 ^a	0,88 ± 0,07 ^d	23,01 ± 0,17 ^h						
26	CE-0061	89,49 ± 0,78 ^a	3,50 ± 0,19 ^b	1,00 ± 0,09 ^d	20,69 ± 0,10 ^j						
27	CE-0189	88,86 ± 0,52 ^a	2,01 ± 0,21 ^d	1,30 ± 0,10 ^c	21,04 ± 0,31 ^j						
28	CE-0248	89,13 ± 0,28 ^a	1,92 ± 0,12 ^d	1,39 ± 0,19 ^c	7,14 ± 10,14 ^k						

29	CE-0685	89,00 ± 0,28 ^a	2,52 ± 0,10 ^c	1,12 ± 0,19 ^d	28,18 ± 0,28 ^e
30	CE-0964	89,37 ± 0,27 ^a	2,34 ± 0,22 ^c	2,12 ± 0,15 ^a	22,88 ± 0,40 ^h
31	CE-0398	88,74 ± 0,20 ^a	2,29 ± 0,11 ^c	1,92 ± 0,13 ^b	18,97 ± 0,07 ^k
32	CE-0337	89,61 ± 0,08 ^a	2,56 ± 0,36 ^c	1,80 ± 0,16 ^b	21,30 ± 0,62 ^j
33	CE-0164	89,21 ± 0,18 ^a	2,32 ± 0,13 ^c	2,24 ± 0,12 ^a	21,80 ± 0,03 ⁱ
34	CE-0228	89,50 ± 0,35 ^a	1,83 ± 0,16 ^d	2,00 ± 0,07 ^b	22,01 ± 0,32 ⁱ
35	CE-0688	89,49 ± 0,39 ^a	2,68 ± 0,27 ^c	0,96 ± 0,17 ^d	25,88 ± 0,41 ^f
36	CE-0796	89,37 ± 0,18 ^a	2,49 ± 0,34 ^c	0,98 ± 0,50 ^d	23,94 ± 0,46 ^g
37	CE-0070	88,83 ± 0,25 ^a	2,31 ± 0,44 ^c	1,03 ± 0,13 ^d	21,76 ± 0,27 ⁱ
38	CE-0114	88,94 ± 0,58 ^a	2,64 ± 0,09 ^c	1,06 ± 0,15 ^d	20,56 ± 0,68 ^j
39	CE-0925	89,57 ± 0,21 ^a	2,46 ± 0,18 ^c	0,89 ± 0,05 ^d	20,79 ± 0,09 ^j
40	942	89,41 ± 0,91 ^a	3,78 ± 0,03 ^a	1,13 ± 0,11 ^d	22,44 ± 0,73 ⁱ
41	978	89,54 ± 0,93 ^a	3,59 ± 0,32 ^b	1,36 ± 0,05 ^c	23,42 ± 0,13 ^h
42	934	89,30 ± 0,88 ^a	3,26 ± 0,45 ^b	1,12 ± 0,10 ^d	22,06 ± 0,33 ⁱ
43	943	89,79 ± 0,71 ^a	3,73 ± 0,24 ^b	1,46 ± 0,09 ^c	23,25 ± 0,27 ^h

MS – Matéria seca, MM – Material Mineral, EE – Extrato Etéreo, PB – Proteínas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, na coluna, pelo critério de Scott-Knott ($p = 0,05$).

APÊNDICE D - VALORES MÉDIOS SEGUIDOS DO DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI COM GRÃO SECO

ID	ACESSOS	P	K	Ca g/kg	Mg	S
1	CE-1002	4,12 ± 0,67 ^b	10,90 ± 1,84 ^b	0,51 ± 0,06 ^c	1,64 ± 0,19 ^b	1,51 ± 0,23 ^c
2	CE-0155	4,03 ± 0,56 ^c	12,88 ± 2,13 ^b	0,50 ± 0,06 ^c	1,82 ± 0,20 ^b	1,54 ± 0,26 ^c
3	CE-0206	4,00 ± 0,27 ^c	12,43 ± 1,02 ^b	0,66 ± 0,05 ^b	1,90 ± 0,11 ^a	1,38 ± 0,15 ^c
4	CE-0024	3,56 ± 0,11 ^c	11,66 ± 0,77 ^b	0,55 ± 0,03 ^c	1,63 ± 0,05 ^b	1,49 ± 0,15 ^c
5	CE-0689	4,68 ± 0,10 ^a	13,31 ± 1,02 ^a	0,48 ± 0,09 ^c	2,23 ± 0,11 ^a	1,65 ± 0,06 ^b
6	CE-0986	3,70 ± 0,08 ^c	11,63 ± 0,75 ^b	0,35 ± 0,05 ^d	1,56 ± 0,07 ^b	1,34 ± 0,07 ^c
7	CE-0172	4,26 ± 0,11 ^b	12,83 ± 1,27 ^b	0,53 ± 0,02 ^c	1,79 ± 0,07 ^b	1,63 ± 0,08 ^b
8	CE-0002	4,10 ± 0,06 ^b	13,31 ± 0,12 ^a	0,55 ± 0,05 ^c	1,73 ± 0,08 ^b	1,50 ± 0,09 ^c
9	CE-0313	4,24 ± 0,11 ^b	13,59 ± 0,07 ^a	0,63 ± 0,03 ^b	1,94 ± 0,08 ^a	1,64 ± 0,10 ^b
10	CE-0199	4,26 ± 0,26 ^b	12,09 ± 1,43 ^b	0,63 ± 0,05 ^b	1,99 ± 0,21 ^a	1,48 ± 0,04 ^c
11	CE-0542	4,12 ± 0,11 ^b	12,23 ± 0,33 ^b	0,65 ± 0,05 ^b	1,78 ± 0,08 ^b	1,32 ± 0,08 ^c
12	CE-0244	3,81 ± 0,08 ^c	13,69 ± 0,64 ^a	0,62 ± 0,03 ^b	1,94 ± 0,08 ^a	1,69 ± 0,10 ^b
13	CE-0686	4,76 ± 0,10 ^a	11,80 ± 0,55 ^b	0,60 ± 0,18	1,92 ± 0,05 ^a	1,70 ± 0,05 ^b
14	CE-0205	3,85 ± 0,05 ^c	12,50 ± 0,70 ^b	0,43 ± 0,04 ^d	1,87 ± 0,09 ^b	1,53 ± 0,07 ^c

15	CE-0151	$3,94 \pm 0,02^c$	$12,36 \pm 0,26^b$	$0,41 \pm 0,08^d$	$1,58 \pm 0,11^b$	$1,69 \pm 0,10^b$
16	CE-0243	$3,73 \pm 0,06^c$	$13,11 \pm 1,38^a$	$0,66 \pm 0,03^b$	$2,06 \pm 0,10^a$	$1,65 \pm 0,10^b$
17	CE-1007	$3,73 \pm 0,02^c$	$11,19 \pm 0,83^b$	$0,46 \pm 0,03^d$	$1,76 \pm 0,08^b$	$1,50 \pm 0,09^c$
18	CE-0957	$4,37 \pm 0,10^b$	$11,77 \pm 0,89^b$	$0,49 \pm 0,03^c$	$1,76 \pm 0,07^b$	$1,50 \pm 0,08^c$
19	CE-0165	$4,52 \pm 0,03^a$	$12,59 \pm 0,69^b$	$0,37 \pm 0,05^d$	$1,62 \pm 0,09^b$	$1,86 \pm 0,10^a$
20	CE-0999	$3,78 \pm 0,04^c$	$10,68 \pm 0,52^b$	$0,46 \pm 0,02^d$	$1,64 \pm 0,06^b$	$1,51 \pm 0,10^c$
21	CE-0068	$3,82 \pm 0,06^c$	$14,07 \pm 0,74^a$	$0,49 \pm 0,03^c$	$1,85 \pm 0,08^b$	$1,47 \pm 0,10^c$
22	CE-0253	$3,81 \pm 0,10^c$	$13,05 \pm 0,86^a$	$0,55 \pm 0,04^c$	$1,98 \pm 0,10^a$	$1,51 \pm 0,06^c$
23	CE-0997	$4,53 \pm 1,10^a$	$14,84 \pm 4,02^a$	$0,45 \pm 0,14^d$	$2,05 \pm 0,58^a$	$1,56 \pm 0,38^c$
24	CE-0958	$4,51 \pm 0,03^a$	$13,49 \pm 1,06^a$	$0,47 \pm 0,05^c$	$1,85 \pm 0,10^b$	$1,57 \pm 0,10^c$
25	CE-0207	$3,69 \pm 0,02^c$	$12,36 \pm 0,65^b$	$0,57 \pm 0,07^b$	$1,89 \pm 0,13^a$	$1,57 \pm 0,07^c$
26	CE-0061	$4,05 \pm 0,06^c$	$12,57 \pm 0,75^b$	$0,57 \pm 0,03^b$	$1,87 \pm 0,09^b$	$1,49 \pm 0,02^c$
27	CE-0189	$3,43 \pm 0,42^c$	$11,19 \pm 1,99^b$	$0,64 \pm 0,13^b$	$1,74 \pm 0,32^b$	$1,57 \pm 0,22^c$
28	CE-0248	$3,74 \pm 0,12^c$	$13,22 \pm 0,68^a$	$0,52 \pm 0,06^c$	$2,03 \pm 0,10^a$	$1,47 \pm 0,03^c$
29	CE-0685	$4,87 \pm 0,05^a$	$12,72 \pm 0,66^b$	$0,44 \pm 0,03^d$	$2,06 \pm 0,10^a$	$1,61 \pm 0,01^b$
30	CE-0964	$4,16 \pm 0,01^b$	$13,40 \pm 1,00^a$	$0,60 \pm 0,06^b$	$2,21 \pm 0,11^a$	$1,86 \pm 0,04^a$

31	CE-0398	3,48 ± 0,05 ^c	12,72 ± 0,78 ^b	0,57 ± 0,01 ^b	1,81 ± 0,07 ^b	1,60 ± 0,03 ^b
32	CE-0337	4,09 ± 0,09 ^b	12,59 ± 0,96 ^b	0,49 ± 0,03 ^c	1,77 ± 0,12 ^b	1,49 ± 0,05 ^c
33	CE-0164	3,90 ± 0,07 ^c	13,81 ± 1,05 ^a	0,66 ± 0,14 ^b	2,14 ± 0,05 ^a	1,82 ± 0,28 ^a
34	CE-0228	3,47 ± 0,13 ^c	12,40 ± 1,10 ^b	0,87 ± 0,04 ^a	1,80 ± 0,04 ^b	1,47 ± 0,04 ^c
35	CE-0688	4,63 ± 0,09 ^a	13,39 ± 0,86 ^a	0,48 ± 0,02 ^c	2,05 ± 0,09 ^a	1,57 ± 0,04 ^c
36	CE-0796	4,19 ± 0,04 ^b	15,10 ± 1,26 ^a	0,45 ± 0,02 ^d	1,69 ± 0,08 ^b	1,58 ± 0,01 ^b
37	CE-0070	3,87 ± 0,10 ^c	14,40 ± 1,13 ^a	0,61 ± 0,03 ^b	1,97 ± 0,09 ^a	1,45 ± 0,04 ^c
38	CE-0114	4,10 ± 0,10 ^b	14,43 ± 0,91 ^a	0,79 ± 0,02 ^a	1,96 ± 0,07 ^a	1,54 ± 0,03 ^c
39	CE-0925	3,77 ± 0,12 ^c	12,29 ± 0,85 ^b	0,52 ± 0,02 ^c	1,78 ± 0,06 ^b	1,68 ± 0,07 ^b
40	942	4,28 ± 0,17 ^b	14,56 ± 0,76 ^a	0,67 ± 0,03 ^b	1,85 ± 0,06 ^b	1,61 ± 0,02 ^b
41	978	4,24 ± 0,04 ^b	12,56 ± 0,54 ^b	0,70 ± 0,05 ^b	1,89 ± 0,10 ^a	1,63 ± 0,12 ^b
42	934	3,84 ± 0,05 ^c	12,20 ± 0,99 ^b	0,58 ± 0,05 ^b	1,86 ± 0,13 ^b	1,60 ± 0,11 ^b
43	943	4,03 ± 0,05 ^c	13,08 ± 1,09 ^a	0,60 ± 0,05 ^b	1,82 ± 0,10 ^b	1,68 ± 0,08 ^b

P – Fósforo, K – potássio, Ca – Cálcio, Mg – Magnésio, S – Enxofre. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, na coluna, pelo critério de Scott-Knott (p = 0,05).

Continuação Apêndice D.

ID	Acessos	Na g / kg	Cu	Fe	Zn mg/kg	Mn	B
1	CE-1002	0,25 ± 0,06 ^d	6,00 ± 1,00 ^b	68,33 ± 15,01 ^b	49,33 ± 4,04 ^b	15,33 ± 1,15 ^c	9,88 ± 2,15 ^b

2	CE-0155	0,30 ± 0,07 ^d	5,00 ± 1,00 ^b	53,00 ± 12,53 ^b	40,00 ± 3,61 ^c	12,33 ± 1,15 ^d	10.82±0.73 ^b
3	CE-0206	0,43 ± 0,07 ^c	6,00 ± 1,00 ^b	53,00 ± 12,77 ^b	40,33 ± 2,89 ^c	14,33 ± 0,58 ^c	8.24±1.27 ^c
4	CE-0024	0,67 ± 0,10 ^b	5,00 ± 1,00 ^b	57,67 ± 5,13 ^b	40,33 ± 1,15 ^c	13,33 ± 0,58 ^d	7.31±0.75 ^c
5	CE-0689	0,22 ± 0,07 ^d	5,33 ± 1,15 ^b	60,33 ± 6,51 ^b	43,67 ± 0,58 ^c	13,33 ± 0,58 ^d	5.41±0.48 ^d
6	CE-0986	0,39 ± 0,07 ^c	4,33 ± 1,15 ^b	49,33 ± 5,03 ^b	36,67 ± 1,15 ^d	11,33 ± 0,58 ^e	5.31±0.73 ^d
7	CE-0172	0,42 ± 0,07 ^c	7,33 ± 1,15 ^a	54,67 ± 6,11 ^b	46,33 ± 1,53 ^b	12,00 ± 0,00 ^d	6.23±0.54 ^d
8	CE-0002	0,42 ± 0,09 ^c	6,67 ± 1,53 ^a	61,67 ± 5,69 ^b	46,67 ± 0,58 ^b	13,67 ± 0,58 ^d	6.01±1.02 ^d
9	CE-0313	0,41 ± 0,07 ^c	5,00 ± 1,00 ^b	51,67 ± 5,03 ^b	45,00 ± 1,00 ^b	12,67 ± 0,58 ^d	5.11±0.36 ^d
10	CE-0199	0,43 ± 0,11 ^c	7,67 ± 1,53 ^a	50,33 ± 8,62 ^b	46,00 ± 2,62 ^b	14,67 ± 0,58 ^c	2.46±0.13 ^e
11	CE-0542	0,54 ± 0,08 ^b	6,00 ± 1,00 ^b	42,00 ± 5,20 ^b	39,33 ± 0,58 ^c	10,67 ± 0,58 ^e	3.13±1.08 ^e
12	CE-0244	0,59 ± 0,09 ^b	5,33 ± 1,15 ^b	45,33 ± 2,52 ^b	39,00 ± 1,00 ^c	12,67 ± 0,58 ^d	7.42±1.23 ^c
13	CE-0686	0,32 ± 0,21 ^d	5,00 ± 1,00 ^b	66,67 ± 5,03 ^b	45,67 ± 0,58 ^b	17,67 ± 0,58 ^b	10.60±0.72 ^b
14	CE-0205	0,31 ± 0,08 ^d	5,67 ± 1,53 ^b	50,00 ± 4,36 ^b	35,00 ± 1,00 ^d	10,00 ± 0,00 ^f	7.83±0.61 ^c
15	CE-0151	0,64 ± 0,15 ^b	7,67 ± 1,53 ^a	58,67 ± 5,13 ^b	51,67 ± 1,53 ^a	13,00 ± 0,00 ^d	12.94±0.72 ^a
16	CE-0243	0,44 ± 0,08 ^c	6,33 ± 1,15 ^b	52,00 ± 3,61 ^b	46,33 ± 0,58 ^b	11,33 ± 0,58 ^e	5.42±1.06 ^d
17	CE-1007	0,20 ± 0,04 ^d	6,67 ± 1,53 ^a	46,33 ± 2,31 ^b	46,67 ± 0,58 ^b	15,33 ± 0,58 ^c	11.09±0.76 ^b

18	CE-0957	0,27 ± 0,07 ^d	7,33 ± 1,15 ^a	59,33 ± 8,08 ^b	53,67 ± 1,53 ^a	15,67 ± 0,58 ^c	7.23±1.13 ^c
19	CE-0165	0,44 ± 0,10 ^c	6,33 ± 1,15 ^b	56,67 ± 7,57 ^b	51,67 ± 0,58 ^a	13,67 ± 0,58 ^d	9.17±1.04 ^b
20	CE-0999	0,37 ± 0,06 ^c	7,00 ± 1,00 ^a	43,00 ± 5,00 ^b	44,33 ± 0,58 ^b	12,67 ± 0,58 ^d	11.65±0.47 ^b
21	CE-0068	0,85 ± 0,11 ^a	5,67 ± 0,58 ^b	55,67 ± 7,77 ^b	45,00 ± 1,00 ^b	13,67 ± 0,58 ^d	8.60±0.33 ^c
22	CE-0253	0,15 ± 0,08 ^d	5,33 ± 1,15 ^b	53,00 ± 6,08 ^b	48,67 ± 2,31 ^b	14,67 ± 0,58 ^c	7.63±0.66 ^c
23	CE-0997	0,65 ± 0,25 ^b	6,33 ± 2,52 ^b	65,00 ± 24,02 ^b	53,00±13,86 ^a	14,33 ± 3,21 ^c	7.06±1.06 ^c
24	CE-0958	0,46 ± 0,10 ^c	6,33 ± 1,15 ^b	60,33 ± 7,64 ^b	51,00 ± 1,73 ^a	14,33 ± 0,58 ^c	12.33±1.41 ^a
25	CE-0207	0,78 ± 0,14 ^a	7,00 ± 1,73 ^a	41,67 ± 5,13 ^b	40,00 ± 1,00 ^c	13,00 ± 0,00 ^d	3.31±0.35 ^e
26	CE-0061	0,71 ± 0,08 ^b	7,00 ± 0,00 ^a	61,00 ± 1,00 ^b	46,00 ± 1,73 ^b	12,67 ± 0,58 ^d	5.49±1.01 ^d
27	CE-0189	0,56 ± 0,15 ^b	6,67 ± 0,58 ^a	43,00 ± 12,49 ^b	33,33 ± 5,51 ^d	8,33 ± 1,15 ^g	11.32±1.97 ^b
28	CE-0248	0,45 ± 0,06 ^c	8,00 ± 0,00 ^a	36,33 ± 2,08 ^b	34,33 ± 0,58 ^d	13,33 ± 0,58 ^d	8.62±0.75 ^c
29	CE-0685	0,18 ± 0,03 ^d	6,00 ± 0,00 ^b	76,67 ± 4,51 ^b	45,67 ± 0,58 ^b	19,33 ± 0,58 ^a	10.76±0.28 ^b
30	CE-0964	0,36 ± 0,05 ^c	6,33 ± 0,58 ^b	64,67 ± 2,08 ^b	42,67 ± 0,58 ^c	13,00 ± 0,00 ^d	11.61±0.48 ^b
31	CE-0398	0,91 ± 0,08 ^a	8,00 ± 0,00 ^a	58,67 ± 8,08 ^b	49,00 ± 0,00 ^b	13,33 ± 0,58 ^d	6.85±1.84 ^c
32	CE-0337	0,69 ± 0,08 ^b	6,00 ± 0,00 ^b	57,00 ± 4,36 ^b	51,33 ± 1,15 ^a	12,67 ± 0,58 ^d	5.47±0.91 ^d
33	CE-0164	0,38 ± 0,04 ^c	6,00 ± 0,00 ^b	51,33 ± 6,11 ^b	43,33 ± 1,15 ^c	11,67 ± 0,58 ^e	8.07±0.76 ^c

34	CE-0228	0,45 ± 0,03 ^c	6,00 ± 0,00 ^b	68,33 ± 28,92 ^b	46,67 ± 2,08 ^b	13,67 ± 2,89 ^d	13.40±1.94 ^a
35	CE-0688	0,40 ± 0,04 ^c	6,00 ± 0,00 ^b	67,00 ± 3,61 ^b	41,67 ± 0,58 ^c	17,00 ± 0,00 ^b	6.05±0.82 ^d
36	CE-0796	0,43 ± 0,05 ^c	7,00 ± 0,00 ^a	113,33 ± 41,00 ^a	56,33 ± 0,58 ^a	17,00 ± 0,00 ^b	5.56±1.26 ^d
37	CE-0070	0,62 ± 0,06 ^b	7,00 ± 0,00 ^a	61,00 ± 14,18 ^b	47,67 ± 0,58 ^b	13,33 ± 0,58 ^d	8.48±0.52 ^c
38	CE-0114	0,41 ± 0,01 ^c	7,00 ± 0,00 ^a	59,00 ± 2,65 ^b	48,00 ± 1,00 ^b	15,33 ± 0,58 ^c	8.03±0.70 ^c
39	CE-0925	0,63 ± 0,05 ^b	8,33 ± 0,58 ^a	58,00 ± 3,61 ^b	51,33 ± 1,15 ^a	14,67 ± 0,58 ^c	10.23±0.53 ^b
40	942	0,35 ± 0,06 ^c	5,33 ± 1,15 ^b	52,00 ± 24,43 ^b	47,67 ± 2,08 ^b	15,67 ± 0,58 ^c	10.47±0.89 ^b
41	978	0,20 ± 0,06 ^d	5,00 ± 1,00 ^b	61,67 ± 6,03 ^b	40,33 ± 1,15 ^c	9,67 ± 0,58 ^f	13.16±3.04 ^a
42	934	0,25 ± 0,07 ^d	5,33 ± 1,15 ^b	54,67 ± 7,02 ^b	44,00 ± 0,00 ^b	13,00 ± 0,00 ^d	5.23±1.20 ^d
43	943	0,29 ± 0,08 ^d	5,33 ± 1,15 ^b	53,00 ± 5,29 ^b	48,00 ± 0,00 ^b	15,67 ± 0,58 ^c	6.62±0.18 ^c

Na – Sódio, Cu – Cobre, Fe - Ferro, Zn – Zinco, Mn – manganês e B - Boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, na coluna, pelo critério de Scott-Knott (p = 0,05).

**APÊNDICE E - RESULTADO DO ÍNDICE DE QUALIDADE NUTRICIONAL (IQN1)
DOS 43 GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI DO BANCO DE GERMOPLASMA DA
UFC.**

ACESSOS	IQN1	POSIÇÃO	ACESSOS	IQN1	POSIÇÃO
CE-0796	158,35	1°	CE-0068	21,86	23°
CE-0685	70,78	2°	CE-0205	21,42	24°
CE-0997	56,44	3°	CE-0253	21,31	25°
CE-0228	55,96	4°	BRS ARACÊ	19,27	26°
CE-1002	55,01	5°	CE-0172	17,78	27°
CE-0958	49,18	6°	CE-0024	11,00	28°
CE-0686	48,39	7°	CE-0243	10,77	29°
CE-0151	46,16	8°	BRS GUARIBA	10,07	30°
CE-0057	43,85	9°	CE-0164	8,24	31°
CE-0925	41,45	10°	CE-1007	7,80	32°
CE-0964	39,79	11°	CE-0313	7,72	33°
CE-0070	38,68	12°	CE-0155	7,32	34°
CE-0165	36,87	13°	CE-0199	7,29	35°
CE-0114	36,01	14°	CE-0206	5,54	36°
CE-0688	35,88	15°	CE-0999	-4,32	37°
CE-0002	32,83	16°	CE-0244	-13,46	38°
CE-0398	32,73	17°	CE-0986	-17,97	39°
CE-0337	30,67	18°	CE-0207	-25,41	40°
CE-0061	28,77	19°	CE-0542	-28,14	41°
BRS TUMUCUMAQUE	27,74	20°	CE-0189	-28,35	42°
BRS JURUÁ	24,29	21°	CE-0248	-38,14	43°
CE-0689	23,51	22°			

**APÊNDICE F - CARACTERÍSTICAS DO CICLO REPRODUTIVO INERENTES
AOS 10 ACESSOS SELECIONADOS PARA SELEÇÃO DE GRÃO-VERDES DO
BANCO DE GERMOPLASMA DA UFC**

Acessos	Características da Fase Reprodutiva				
	Floração (dias)	Nº de dias para florescimento	Cor da flor	Porte	Posição da vagem
CE-0796	38	precoce	violeta clara	ereto	acima
CE-1002	36	precoce	branca	prostado	nível
CE-0685	34	médio	violeta clara	semiprostado	acima
CE-0958	33	precoce	branca	ereto	acima
CE-0228	51	tardio	branca	prostado	nível
CE-0997	45	tardio	violeta	prostado	nível
CE-0024	45	tardio	violeta	ereto	nível
CE-0070	51	tardio	violeta clara	semiprostado	acima
CE-0978	30	precoce	branca	ereto	acima
CE-0942	30	precoce	branca	ereto	acima

**APÊNDICE G - CARACTERÍSTICAS QUANTO A VAGEM E GRÃOS SECOS
INERENTES AOS 10 ACESSOS SELECIONADOS PARA SELEÇÃO DE GRÃO-
VERDES DO BANCO DE GERMOPLASMA DA UFC**

Aces sos	Vagem				Grão seco			
	Cor	For ma	Comprim ento (cm)	Nº de sementes	Cor	Text ura	For ma	Peso de 100 sementes (g)
CE- 0796	rosa da	CC	18,9	14	marr om	liso	O	19,54
CE- 1002	verd e	RC	18,5	6	branc o	Liso	O	32,43
CE- 0685	verd e	RC	23,3	12	preta	liso	R	34,04
CE- 0958	verd e	C	26,5	13	mant eig	liso	R	25,3
CE- 0228	rosa da	RC	23,3	18	marr om	liso	R	26,76
CE- 0997	verd e	CC	22,2	15	mulat o	liso	R	38,68
CE- 0024	rosa da	RC	17,6	8	marr om	liso	O	32,36
CE- 0070	verd e	CC	22,6	15	marr om	liso	R	36,64
CE- 0978	rosa da	RC	24,6	13	branc o	liso	O	44,47
CE- 0942	rosa da	CC	23,0	12	verde	liso	R	32,12

CC-curva cilíndrica; R-reta; RC= reta cilíndrica; O- ovoide, R- reniforme.

APÊNDICE H - APARÊNCIA E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS 10 GENÓTIPOS

1.CE-0796 (Nome Comum: CNCx251-60E)



Tipo de folha: Ovalada
Comp: 12,48cm
Largura:9,30cm



Classe: Cores.
Subclasse: Marrom
Textura: Liso.
Forma: Ovoide

2. CE-1002 (Nome Comum: MNC 01-627F-14-5)



Tipo de folha: Rômbica
Comp:8,1cm.
Largura:6,0cm



Classe: Branco.
Subclasse: branca
Textura: Liso. Forma: Ovoíde



Cor: Violeta Claro



Formato: Curva Cilíndrica



Cor: Branca



Formato: reta cilíndrica

3. CE-0685 (Nome Comum: CNCx666-21E)



Tipo de folha: Lanceolada alargada
Comp: 12,72cm.
Larg:7,4cm



Classe: Preto.
Subclasse: Preto
Textura: Liso.
Forma: Reniforme.

4. CE-0958 (Nome Comum: IT 91K-118-2)



Tipo de folha: Rômbica
Comp:14,16cm.
Larg: 9,14cm



Classe: Cores.
Subclasse: Manteiga
Textura: Liso.
Forma: Reniforme



Cor: violeta



Formato: reta



Cor: Branca



Formato: curva cilíndrica

5.CE-0228 (Nome Comum: Guerrero-105)

Tipo de folha: Lanceolada Alargada
Comp:13,09cm. Larg:7,80cm



Classe: Misturado.
Subclasse: Misturado
Textura: Liso.
Forma: Reniforme



Cor: Branca



Formato: Reta Cilindrica

6. CE-0997 (Nome Comum: IT 81D-1073)

Tipo de folha: Ovalada
Comp:12,78cm. Larg:10,00cm



Classe: Cores.
Subclasse: Mulato
Textura: Liso.
Forma: Reniforme



Cor: Violeta



Formato: Curva Cilindrica

7.CE-0024 (Nome Comum: Cowpea-535)

Tipo de folha: Lanceolada Alargada
Comp.: 12,10cm. Larg:7,00cm



Classe: Misturado.
Subclasse: Misturado.
Textura: Liso.
Forma: Ovoide



Cor: Branca



Formato: Reta

8.CE-0070 (Nome Comum: Quarenta dias-1)

Tipo de folha: Lanceolada Alargada
Comp.:13,25cm Larg :8,02cm



Classe:Cores.
Subclasse:Mulato.
Textura:Liso.
Forma: Reniforme



Cor: Violeta



Formato: reta

9.CE-0978 (Nome Comum: BRS Tumucumaque)



Tipo de folha: Lanceolada Alargada
Comp.: 14,08cm Larg.: 8,07cm



Classe: Branco.
Subclasse: Branco.
Textura: Liso.
Forma: Ovoide



Cor: Branca



Formato: reta

10.CE-0942 (Nome Comum: BRS Juruá)



Tipo de folha: Rômbica
Comp.: 12,30cm Larg.: 8,02



Classe: Cores.
Subclasse: Verde.
Textura: Liso.
Forma: Reniforme.



Cor: Branca



Formato: Curva Cilíndrica

Fonte: Arquivo Pessoal