



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

DIÊGO SÁVIO VASCONCELOS DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MINERAIS, TEMPO DE COCÇÃO E
PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**

TERESINA - PI

2016

DIÉGO SÁVIO VASCONCELOS DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MINERAIS, TEMPO DE COCÇÃO E
PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Piauí como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Linha de pesquisa: Qualidade de Alimentos

Orientador: Dr. Maurisrael de Moura Rocha (Embrapa Meio-Norte)

TERESINA – PI

2016

DIÊGO SÁVIO VASCONCELOS DE OLIVEIRA

Caracterização química, minerais, tempo de cocção e produtividade de genótipos de feijão-caupi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Piauí como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Linha de pesquisa: Qualidade de Alimentos

Orientador: Dr. Maurisrael de Moura Rocha (Embrapa Meio-Norte)

Aprovado em: ____/____/____

Banca examinadora:

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

Dr. Raimundo Wilane de Figueiredo
Universidade Federal do Ceará - UFC
(1º Examinador/ Membro externo)

Dr^a. Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo
Universidade Federal do Piauí - UFPI
(2ª Examinadora/ Membro interno)

Dr. Jorge Minoru Hashimoto
Embrapa Meio-Norte
(Suplente)

A minha amada Avó Francisca Martins Vasconcelos Santos e a minha família.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Maurisrael de Moura Rocha pela sua orientação, ensinamentos e sua tranquilidade na condução deste estudo.

À Embrapa Meio-Norte pela cessão dos meios para a execução dos experimentos de campo e laboratório.

A Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN) que me permitiu um ambiente de aprendizado e crescimento acadêmico.

Aos programas de biofortificação da Embrapa “BioFORT” e “HarvestPlus” pelo apoio financeiro e fornecimento dos recursos para execução dessa dissertação.

Aos Professores do PPGAN pelos momentos de aprendizado durante as aulas e demais funcionários do Departamento de Nutrição que me auxiliaram nesta jornada.

À banca examinadora, Dr^a. Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo e Dr. Raimundo Wilane de Figueiredo, pela dedicação em contribuir com a melhor escrita desse trabalho.

A equipe do Programa de Melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte: Manoel Gonçalves, Agripino Ferreira, Francisco França, Paulo Sérgio, Adão Cabral, Francisco Mauro, as mulheres trabalhadoras do caupi.

Ao Dr. Leonardo Castelo Branco Carvalho por compartilhar generosamente seus conhecimentos em metodologias de adaptabilidade e estabilidade.

Ao Dr. Roberto Fritsche-Neto, professor do Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, pela elaboração e gentil cessão do *script* utilizado para a realização das análises de adaptabilidade e estabilidade segundo o modelo GGE Biplot via software R.

Aos colegas do mestrado Agatha Crystian, Jefferson Borges, Vivianne Muniz, Larissa Fontenelle, Nina Soares, Aretha Araújo, Rayanne Pessoa, Lívia Bonfim, Maria da Cruz pela parceria nas atividades do curso, em especial a Ana Maria e Simone que são grandes amigas e companheiras.

Aos meus pais Eliane Vasconcelos Santos e Antônio Gomes de Oliveira por toda contribuição para minha formação.

Ao meu amigo Francisco Gustavo Carvalho Sousa que em nossas discussões sobre a vida sempre me brindou com sua racionalidade.

À Dr^a. Maria José dos Santos Soares que foi uma referência na minha vida acadêmica e me despertou para buscar a excelência no que se faz.

Aos colegas de trabalho Luís José Duarte Franco, Antônio Carlos, José Moreira pela contribuição e ajuda na execução das análises laboratoriais desse trabalho.

Aos Dr. Lucio Flavo Lopes Vasconcelos e Dr. Paulo Sarmanho da Costa Lima pelo apoio e estímulo para continuar essa jornada do mestrado.

Aos amigos Caio Medeiros, Yasnailson Euflávio e Kercy Fram por toda ajuda, dedicação e trabalho árduo para que eu atingisse os meus resultados.

Ao amigo Francisco Roberto de Freitas por todo apoio e dedicação nessa jornada.

À minha querida avó Francisca Martins Vasconcelos Santos pelo amor, entrega, e por me animar inconscientemente com seu exemplo de vida, coragem, integridade e honra.

Ao meu primo irmão Luciano Vasconcelos Santos e Silva que é um grande amigo e apoio na minha vida.

A minha tia Maria José Vasconcelos Santos (*in memoriam*) que foi uma excelente referência na minha vida e que um dia me despertou com a asserção: “Devemos sempre conquistar na vida, retroceder jamais”.

Aos amigos e minha família, que sempre estiveram me estimulando com palavras, ações e carinho, quero sempre contar com todos.

“Lembre-se do rosto do homem mais pobre e mais fraco que possa ter visto e pergunte a si mesmo se o passo que está pensando em dar será de alguma utilidade para ele. Ganhará ele alguma coisa com isso? Isso lhe devolverá algum controle sobre sua vida e seu destino?”

(Talismã de Gandhi)

Mahatma Gandhi

RESUMO

OLIVEIRA, D. S. V. **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MINERAIS, TEMPO DE COCÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**. 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí.

A biofortificação é uma das estratégias atuais que tem sido utilizada no combate à desnutrição, principalmente em populações desnutridas. Ela consiste na melhoria da qualidade nutricional de alguns alimentos básicos de alto consumo da população, como é o caso do feijão-caupi, via melhoramento genético. Os micronutrientes alvos da biofortificação em feijão-caupi tem sido o ferro e o zinco e um dos objetivos dos programas de melhoramento genético tem sido aumentar as concentrações desses minerais no grão. Este trabalho objetivou avaliar a adaptabilidade e estabilidade das concentrações de ferro e zinco e verificar a qualidade química, o tempo de cocção e a produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi. Foram avaliadas 10 linhagens e duas cultivares de feijão-caupi em ensaios de validação conduzidos nos locais São João do Piauí-PI, Campo Grande do Piauí-PI, Parnaíba-PI e Balsas-MA, no ano de 2015. Adotou-se o delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições. Foram realizadas análises de variâncias individuais e conjunta e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises de adaptabilidade e estabilidade para as concentrações de ferro e zinco foram realizadas via método GGE biplot. Os grãos dos genótipos foram analisados quanto aos teores de carboidratos, proteínas, lipídios, umidade, cinzas, valor energético total, ferro, zinco, potássio, magnésio, sódio, cálcio, fósforo, cobre e manganês; tempo de cocção; e produtividade de grãos. Observaram-se as seguintes amplitudes de variação na composição centesimal: carboidratos: 61,36 a 64,46 g 100g⁻¹; proteínas: 23,99 a 25,69 g 100g⁻¹; lipídios: 2,54 a 3,66 g 100g⁻¹; umidade: 5,49 a 5,83%; cinzas: 3,17 a 3,44 g 100g⁻¹ e VET: 377,45 a 381,07 kcal 100g⁻¹. As linhagens identificadas com bons atributos nutricionais no grão foram MNC04-795F-158, MNC04-774F-90, MNC04-769-45 e MNC04-769F-31, pois apresentaram melhor desempenho para as concentrações de cinzas e proteínas, enquanto a linhagem MNC04-792F-146, por apresentar boas combinações de baixa concentração de lipídios e altos teores de carboidratos e VET, apresentando comportamento semelhante às cultivares BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique. As concentrações de minerais apresentaram as seguintes amplitudes de variação: ferro: 4,85 a 5,54 mg 100g⁻¹; zinco: 4,24 a 4,84 mg 100g⁻¹; potássio: 1.623,06 a 1.762,40 mg 100g⁻¹; magnésio: 186,96 a 202,63 mg 100g⁻¹; sódio: 4,62 a 6,75 mg 100g⁻¹; cálcio: 46,86 a 63,75 mg 100g⁻¹; fósforo: 409,42 a 433,79 mg 100g⁻¹; cobre: 0,39 a 0,51 mg 100g⁻¹ e manganês: 1,80 a 2,18 mg 100g⁻¹. A linhagem MNC04-774F-90 apresentou bons níveis de fósforo, potássio e cobre, enquanto a linhagem MNC04-792F-146 obteve maiores teores de manganês e cobre. As linhagens MNC04-795F-158 e MNC04-769F-26 foram as melhores em potássio e sódio. A cultivar BRS Xiquexique e as linhagens MNC04-762F-9 e MNC04-774F-78 apresentaram as maiores concentrações de ferro e zinco no grão. Os genótipos e os ambientes diferiram entre si ($p \leq 0,05$) e os genótipos se comportaram diferencialmente com os ambientes. O tempo de cocção apresentou variação de 14 a 20 minutos, com média geral de 16 min; as linhagens diferiram estatisticamente das testemunhas, com aquelas apresentando menor tempo de cocção (14, 32 min. a 16,47 min.), sendo

adequadas para atender a demanda atual dos consumidores. Com relação à produtividade, a maior média por ambiente ocorreu em São João do Piauí-PI, com 1.642 kg ha^{-1} , enquanto a menor média foi exibida em Campo Grande do Piauí-PI, com 863 kg ha^{-1} , sendo a média geral de 1.169 kg ha^{-1} ; os genótipos, apesar de não diferirem estatisticamente entre si, as linhagens apresentaram comportamento produtivo semelhante às testemunhas; com a MNC04-795F-158 obtendo a maior média (1.449 kg ha^{-1}). Parnaíba e Campo Grande do Piauí foram os ambientes mais representativos da região Meio-Norte para a seleção de ferro no grão, sendo o primeiro, o ambiente ideal para seleção de genótipos adaptado à alta concentração de zinco no grão. A análise GGE biplot evidenciou que a cultivar BRS Xiquexique foi o genótipo ideal, apresentando alta adaptabilidade e estabilidade aos ambientes avaliados para esses minerais, seguido das linhagens MNC04-762F-9 e MNC04-774F-78. Estas podem ser recomendadas como cultivares biofortificadas em ferro e zinco, com excelentes características químicas e de cozimento e alta produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, valor nutritivo, biofortificação, interação genótipos x ambientes, GGE Biplot.

ABSTRACT

OLIVEIRA, D. S. V. **CHEMICAL CHARACTERIZATION, MINERALS, COOKING TIME AND GRAIN YIELD OF COWPEA GENOTYPES.** 2016. 123 f. thesis (Master) – Master's Program in Food and Nutrition, Federal University of Piauí, Teresina, PI.

Biofortification is one of the current strategies that have been used in the fight against malnutrition, especially in undernourished populations. It consists of improving the nutritional quality of some staple foods of high consumption by the population, such as cowpea, via genetic breeding. The micronutrients targeted for biofortification in cowpea has been the iron and zinc minerals, and the one of objectives of the genetic breeding programs has been to increase the concentration of these minerals in the grain. This work aimed to evaluate the adaptability and stability of the iron and zinc concentrations to several environments from Brazilian Mid-North Region, and verify the chemical quality, cooking time and grain yield of cowpea genotypes (ten lines and two cultivars). The trials were carried out at São João do Piauí-PI, Campo Grande do Piauí-PI, Parnaíba-PI, and Balsas-MA locations, in 2015. A randomized complete block design was adopted, with four replications. Individual and joint variances analyses were performed and the averages were compared by Tukey test ($p \leq 0.05$). The adaptability and stability analyses for the iron and zinc concentration were performed through GGE biplot method. The grains of genotypes were analyzed in relation to carbohydrates, proteins, lipids, moisture, ashes, total energy value, iron, zinc, potassium, magnesium, sodium, calcium, phosphorus, copper, manganese, cooking time and grain yield. The following variations in the centesimal composition were observed: carbohydrates: 61.36 to 64.46 g 100g⁻¹; proteins: 23.99 to 25.69 g 100g⁻¹; lipids: 2.54 to 3.66 g 100g⁻¹; moisture: 5.49 to 5.83%; ashes: 3.17 to 3.44 g 100g⁻¹ and VET: 377.45 to 381.07 kcal 100g⁻¹. MNC04-795F-158, MNC04-774F-90, MNC04-769-45, and MNC04-769F-31 lines presented good nutritional attributes in the grain, with the better averages for ashes and proteins concentrations, while MNC04-792F-146 showed good combination of low lipid and high carbohydrate and VET, presenting similar behavior to the BRS Tumucumaque and BRS Xiquexique cultivars (controls). Mineral concentrations presented the following range of variations: iron 4.85 to 5.54 mg 100g⁻¹; zinc: 4.24 to 4.84 mg 100g⁻¹; potassium: 1,623.06 to 1,762.40 mg 100g⁻¹; magnesium: 186.96 to 202.63 mg 100g⁻¹; sodium: 4.62 to 6.75 mg 100g⁻¹; calcium: 46.86 to 63.75 mg 100g⁻¹; phosphorus: 409.42 to 433.79 mg 100g⁻¹; copper: 0.39 to 0.51 mg 100g⁻¹; manganese: 1.80 to 2.18 mg 100g⁻¹. MNC04-774F-90 line presented good levels of phosphorus, potassium and copper, while MNC04-792F-146 line obtained higher manganese and copper levels. MNC04-795F-158 and MNC04-769F-26 lines were the best in potassium and sodium. BRS Xiquexique cultivar and MNC04-762F-9 and MNC04-774F-78 lines presented higher concentrations of iron and zinc. Genotypes and environments differed between them ($p \leq 0.05$) and the genotypes behaved differentially with the environments. The cooking time presented a variation from 14 to 20 minutes, with overall average of 16 minutes; the lines differed statistically from the controls, with those presenting shorter cooking time (from 14:32 minutes to 16:47 minutes), being adequate to meet the current demand of consumers. In relation to

grain yield, the highest average by environment occurred in São João do Piauí-PI, com 1,642.00 kg ha⁻¹, while the lowest average was exhibited in Campo Grande do Piauí-PI, with 863.00 kg ha⁻¹, being the overall average of 1,169.00 kg ha⁻¹; the genotypes evaluated did not differ statistically between them, but the lines presented yield behavior similar to the controls, with the MNC04-795F-158 line obtaining the highest average (1,449.00 kg ha⁻¹). Parnaíba and Campo Grande do Piauí were the environments more representative of the Mid-North region for the selection of iron, being Parnaíba the ideal environment for the selection of genotypes adapted to high zinc concentration. Results showed that MNC04-762F-9 and MNC04-774F-78 lines could be recommended as biofortified cultivars in iron and zinc, with excellent chemical and cooking characteristics and high grain yield.

Keywords: *Vigna unguiculata*, nutritional value, biofortification, genotype x environment interaction, GGE Biplot.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Ambiente
ACP	Análise de componentes principais
Al	Alumínio
AOAC	Association of Official Analytical Chemist
BAMA	Balsas/MA
C TOTAL	Carbono total
Ca	Cálcio
CGPI	Campo Grande do Piauí/ PI
Cmolc	Centímol
CPI	Componente principal da interação genótipos x ambientes
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
CV	Coeficiente de variação
DEP	Desnutrição Energético Protéica
dm⁻³	Decímetro cúbico
DVS	Decomposição por valores singulares
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para alimentação e agricultura
FC	Feijão-caupi
Fe	Ferro
G	Genótipo
GE	Interação genótipos por ambientes
GGE Biplot	Genotype main effects + genotype-by-environment interaction Biplot
H	Proton de hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDR	Ingestão diária recomendada
K	Potássio
Kg	Quilograma
M (%)	Índice de saturação por alumínio trocado
MA	Maranhão
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MET	Multi-Environment Trials (Ensaio multi-ambientes)
Mg	Magnésio
Mg	Milígrama
mL	Mililitros
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
Na	Sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Fósforo
PA (%)	Porcentagem de adequação da IDR de um indivíduo adulto sadio
PAPI	Parnaíba/ PI

pH	Potencial hidrogeniônico
PI	Piauí
Ppm	Partes por milhão
QM	Quadrado médio
RR	Roraima
SAMA	Solução ácida de molibdato de amônia
SB	Soma de bases
SJPI	São João do Piauí/ PI
SREG	Sites Regression Model (Modelo de Regressão de Ambientes)
Ton.	Toneladas
UFPI	Universidade Federal do Piauí
V (%)	Índice de saturação por bases
VCU	Valor de cultivo e uso
VET	Valor Energético Total
WHO	World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)
Zn	Zinco

LISTA DE FIGURAS

1. Comportamento de dois genótipos (G1 e G2) em duas condições ambientais (A1 e A2)..... 38
2. Localização geográfica dos ambientes onde foram conduzidos os ensaios de valor de cultivo e uso de feijão-caupi nos estados do Maranhão e Piauí, 2015 44
3. GGE Biplot para as concentrações de ferro de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 58
4. Média vs Estabilidade da concentração de ferro, com o eixo do ambiente médio (EAM), resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 59
5. Concentração de ferro de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil em relação a um genótipo hipotético ideal, resultante da análise GGE2 Biplot, 2015 61
6. Mega-ambiente (“Which-won-where”) da concentração de ferro, resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 62
7. GGE Biplot para as concentrações de zinco de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 65
8. Média vs Estabilidade da concentração de zinco, com o eixo do ambiente médio (EAM), resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 66
9. Concentração de zinco de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil em relação a um genótipo hipotético ideal, resultante da análise GGE2 Biplot, 2015 67
10. Mega-ambiente (“Which-won-where”) da concentração de zinco, resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 68

LISTA DE TABELAS

1. Classes e subclasses comerciais e caracterização dos grãos de feijão-caupi..... 23
2. Cultivares de feijão-caupi lançadas no Brasil no período de 1978 a 2016.. 24
3. Tempo de cocção do grão de cultivares de feijão-caupi 29
4. Concentrações de ferro e zinco no grão de cultivares de feijão-caupi 31
5. IDR de ferro na dieta alimentar para diferentes faixas etárias 34
6. IDR de zinco na dieta alimentar para diferentes faixas etárias 36
7. Relação dos genótipos de feijão-caupi com suas geanologias/procedências e subclasse comercial (SC), avaliados nos estados do Piauí e Maranhão, 2015 43
8. Resultados das análises físico-químicas das áreas experimentais onde foram conduzidos os ensaios de valor de cultivo e uso de genótipos de feijão-caupi, 2015 44
9. Coordenadas geográficas, tipos de solos e biomas dos locais de condução dos experimentos de feijão-caupi..... 45
10. Resumo da análise de variância conjunta das concentrações de ferro e zinco no grão de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015..... 54
11. Médias das concentrações de ferro no grão de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 56
12. Proporção explicada e acumulada e a relação de informação (RI) dos quatro componentes principais (CPs), resultantes da análise de componentes principais, para a concentração de ferro no grão, obtidas a partir da avaliação de 12 genótipos de feijão-caupi em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 57
13. Médias das concentrações de zinco no grão de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 63
14. Proporção explicada e acumulada e a relação de informação (RI) dos quatro componentes principais (CPs), resultantes da análise de componenetes principais, para a concentração de zinco no grão, obtidas a partir da avaliação de 12 genótipos de feijão-caupi em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 64

15. Médias das concentrações de carboidratos, proteínas, lipídios, umidade e cinzas, em g 100g⁻¹; e VET em Kcal 100 g⁻¹ de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 70
16. Médias das concentrações de ferro, zinco, manganês e cobre de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015..... 76
17. Médias das concentrações de magnésio, cálcio, potássio, fósforo e sódio em 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015..... 81
18. Relação das médias por ambientes e desvio padrão de São João do Piauí/PI, Campo Grande do Piauí/PI, Parnaíba/PI e Balsas/MA, 2015 86
19. Comparativo da Ingestão Diária Recomendada (IDR) com a oferta de nutrientes em 100g de feijão-caupi, porcentagem de adequação e classificação quanto a concentração de nutrientes, 2015 89
20. Médias do tempo de cocção de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 90
21. Médias da produtividade de grãos de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015 92

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Classificação botânica e origem do feijão-caupi.....	21
2.2 Tipos comerciais de grãos do feijão-caupi	22
2.3 Cultivares de feijão-caupi lançadas no Brasil.....	23
2.4 Aspectos agronômicos do feijão-caupi.....	24
2.5 Área, produção e produtividade do feijão-caupi	25
2.6 Composição química do feijão-caupi.....	27
2.7 Tempo de cocção do feijão-caupi	28
2.8 Biofortificação do feijão-caupi	30
2.8.1. Micronutrientes	32
2.8.2 Ferro	33
2.8.3 Zinco.....	35
2.9 Interação genótipos x ambientes (G x A)	37
2.10 Adaptabilidade e estabilidade de genótipos	38
2.10.1 Método GGE Biplot.....	40
3 OBJETIVOS.....	42
3.1 Geral.....	42
3.2. Específicos	42
4 METODOLOGIA	43
4.1 Material genético.....	43
4.2 Ambientes de condução dos experimentos.....	43
4.3 Delineamento experimental	45
4.4 Análises físico-químicas.....	45
4.4.1 Preparo das amostras.....	45
4.4.2 Determinação da composição centesimal.....	46

4.4.2.1 Umidade	46
4.4.2.2 Cinzas.....	46
4.4.2.3 Proteínas	47
4.4.2.4 Lipídios	48
4.4.2.5 Carboidratos	48
4.4.3 Valor Energético Total (VET)	49
4.4.4 Minerais	49
4.4.4.1 Ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu)	49
4.4.4.2 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)	49
4.4.4.3 Sódio (Na) e potássio (K)	50
4.4.4.4 Fósforo (P)	50
4.5 Avaliação do tempo de cocção	50
4.6 Avaliação da produtividade de grãos	51
4.7 Análises estatísticas	51
4.7.1 Análises de variância individual e conjunta	51
4.7.2 Teste de comparação de médias	52
4.7.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade via GGE Biplot	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Concentrações de ferro e zinco	54
5.1.1 Análise de variância conjunta.....	54
5.1.2 Adaptabilidade e estabilidade via GGE Biplot... ..	55
5.1.2.1 GGE Biplot para concentração de ferro.....	55
5.1.2.2 GGE Biplot para concentração de zinco.....	63
5.2 Composição centesimal	69
5.3 Valor Energético Total (VET)	74
5.4 Concentração de minerais	74
5.5 Tempo de cocção	90
5.6 Produtividade de grãos	91
6 CONCLUSÕES.....	94
REFERÊNCIAS	95
Anexo	120

1 INTRODUÇÃO

A deficiência de micronutrientes está envolvida com uma série de efeitos deletérios a saúde infantil, provocando resultados físicos e cognitivos adversos irreversíveis que terão consequências ao longo da vida, como atraso no desenvolvimento mental, redução na atividade motora, social e emocional e como também no desenvolvimento neurofisiológico (LOZOFF, 2007). Dentre os adultos, os principais sintomas são letargia, diminuição da capacidade física e reprodutiva, declínio da função cognitiva e debilidade imunológica (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003; FAO, 2010).

Os efeitos combinados da deficiência de micronutrientes durante o período crítico nos primeiros 24 meses de idade pode estar associado com a mortalidade aumentada e morbidade neonatal, dentre outros agravos à saúde. Nessa fase necessita-se de máxima atenção com relação aos micronutrientes que devem ser ofertados suficientemente na dieta (WHO, 2001; UNICEF, 2006; LOZOFF, 2007; SANGHVI et al., 2007).

Nesse sentido, é evidente que a carência de micronutrientes é fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico de comunidades ou países. Por outro lado, medidas de intervenção que visam o controle e a prevenção de déficit nutricional podem reduzir tanto a morbidade como a mortalidade, além de promover desenvolvimento físico, neurológico e avanço intelectual (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003; ROMANA; OLIVARES; BRITO, 2015).

Apesar da tendência positiva de decréscimo global do número de pessoas com fome, cerca de 795 milhões de pessoas no mundo, uma em cada nove, ainda sofrem de fome. No Brasil, estima-se que menos de 5% da população tenha uma prevalência da subalimentação (FAO, 2015).

O feijão-caupi constitui-se em uma importante fonte de proteínas, com médias entre 23 a 25% (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003). O consumo de feijão aumenta o aporte de proteínas na dieta e contribui para melhoria da qualidade nutritiva. Quando a fonte protéica de uma alimentação for o feijão a complementação com arroz leva a um equilíbrio entre os aminoácidos, pois enquanto as leguminosas apresentam deficiência em aminoácidos sulfurados, os cereais apresentam deficiência em lisina (IQBAL; KHALIL; SHAH, 2003).

A insuficiência de ferro afeta um quarto da população do globo terrestre, incluindo 293 milhões (47%) de crianças com menos de cinco anos e 468 milhões (30%) de mulheres não grávidas. Além de anemia, essa carência causa consequências adversas para a saúde. Em países em desenvolvimento, estima-se um prejuízo econômico de bilhões de dólares, anualmente, ocasionados pela anemia. Alguns estudos têm mostrado que a anemia é desproporcionalmente concentrada em grupos socioeconômicos baixos, e que a anemia materna está fortemente associada à anemia infantil (BALARAJAN et al., 2011; WHO, 2011).

Estudos de meta-análise têm evidenciado que a carência de zinco implica em distúrbios funcionais adversos associados a diarreia, pneumonia e nanismo em crianças. Alguns casos de diarreia e pneumonia podem levar a óbito. Estima-se que aproximadamente 20% de casos de diarreia, 40% de pneumonia e 4% de mortalidade de crianças com menos de seis anos de idade, pode ser atribuída à deficiência de zinco (MEENAKSHI et al., 2010).

Uma série de estratégias têm sido implementadas pelo governo brasileiro com o objetivo de eliminar as carências de micronutrientes, tais como fortificação, enriquecimento e suplementação, porém ainda persistem quadros de deficiências nutricionais em alguns grupos populacionais. A fortificação/enriquecimento ou simplesmente adição é a técnica na qual é adicionado um ou mais nutrientes essenciais contidos naturalmente ou não no alimento, com o objetivo de reforçar o seu valor nutritivo e ou prevenir ou corrigir deficiência demonstrada em um ou mais nutrientes, na alimentação da população ou em grupos específicos da mesma (BRASIL, 1998).

Neste contexto, a biofortificação tem se mostrado uma alternativa efetiva na solução desse problema, uma vez que resulta em alimentos nutritivos, melhorando assim, a qualidade nutricional da dieta. Dentre os alimentos biofortificados, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem revelado resultados promissores quanto à biofortificação e estudos têm selecionado linhagens com altas concentrações de ferro e zinco (ROCHA et al., 2011; CARVALHO, 2011).

O uso do feijão-caupi biofortificado como estratégia de combate a deficiência de micronutrientes (ferro e zinco) e proteínas está sendo possível devido a estudos de adaptabilidade e estabilidade que avaliam o quanto alguns genótipos interagem e/ou são estáveis em determinados ambientes, quanto às suas características fenotípicas. Exemplo disso são as cultivares lançadas: BRS Xiquexique, BRS

Tumucumaque, BRS Aracê que apresentam excelente qualidade nutricional, evidenciada pelas concentrações elevadas de ferro e zinco e são indicadas como cultivares biofortificadas adaptadas as condições edafoclimáticas do Meio-Norte do Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011).

O desafio de propor soluções ao combate de carências nutricionais é atual, pois milhões de indivíduos sofrem os efeitos deletérios dessas deficiências. O estudo proposto contribuirá para a recomendação de uma nova cultivar de feijão-caupi biofortificada em ferro e zinco, com excelente concentração de proteínas, alta produtividade, adaptabilidade e estabilidade às condições ambientais do Meio-Norte do Brasil, apresentando qualidade nutricional superior às que estão disponíveis no mercado para o consumo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação botânica e origem do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma Dicotiledônea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna* e subgênero *Vigna*, secção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, sendo esta subdividida em quatro cultigrupos: *unguiculata*, *sesquipedalis*, *biflora* e *textilis* (VERDCOURT, 1970; MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; SMARTT, 1990; PADULOSI; NG, 1997).

Steele e Mehra (1980) afirmaram que existem aproximadamente 160 espécies do gênero *Vigna* e a maioria de ocorrência na África, muitas delas endêmicas, evidenciando que a evolução desse gênero esteja ligada a esse continente. Ng e Maréchal (1985) citaram o Oeste da África, mais precisamente a Nigéria, como o centro primário de diversidade genética da espécie. Padulosi e Ng (1997) relataram que, provavelmente, a região de Transvaal, na República da África do Sul, seja a região de especiação de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

A ocorrência de espécies selvagens de *Vigna* encontradas fora da África levaram a Steele e Mehra (1980) a compilarem possíveis centros de origens do feijão-caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp., tais como: Índia, Etiópia, Noroeste da Índia, Pasquistão, Irã, África, Centro sul da África, inclusive a América Latina. E observou-se que existia uma predominante ocorrência desse gênero em algumas regiões na África. Em vários estudos recentes, existe um consenso de que este continente seja o centro de origem do feijão-caupi.

No Brasil são mais cultivados os cultigrupos *unguiculata*, para produção de grãos secos e grãos verdes (feijão-verde), e *sesquipedalis*, conhecido como feijão-de-metro, para produção de vagem para salada (FREIRE FILHO et al., 2011).

As cultivares de feijão-caupi apresentam variações fenotípicas em seus grãos, como a cor de tegumento, que muda entre as cultivares causando uma certa confusão no entendimento da população. Devido a essa diversidade o feijão-caupi recebe muitos nomes populares no Brasil que variam de acordo com a região do país. Na região Nordeste, macassa, macassar, feijão-de-corda; na região Norte, feijão-da-colônia, feijão-da-estrada, feijão-da-praia; na região Sul, feijão-miúdo; nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro, feijão-fradinho. Em países africanos, são conhecidos como: feijão macúndi, maconde, nhemba, namurua, ecúte. Em países latinos, fríjol e

Estados Unidos da América, cowpea (WOOLEY, 1980; FREIRE FILHO; CARDOSO; ARAÚJO, 1983).

2.2 Tipos comerciais de grãos do feijão-caupi

Devido à grande variedade de feijões-caupi que é produzida e comercializada no Brasil, observou-se, então, a necessidade de classificar e caracterizar essas variedades. As diferenças entre as cultivares estão relacionadas ao hilo, anel de hilo, halo, cor do tegumento, forma e tamanho dos grãos. A classificação do feijão-caupi é importante uma vez que a cultura está em expansão de áreas cultivadas e aumentando a comercialização no mercado interno e externo (FREIRE FILHO et al., 2011).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) instituiu o regulamento técnico do feijão por meio da instrução normativa nº 12 de 28 de março de 2008 (BRASIL, 2008), que define a classificação do feijão em grupos, classes e tipos.

Quanto ao grupo, o feijão é classificado em dois grupos, sendo o grupo I o feijão-comum, espécies provenientes de *Phaseolus vulgaris* L. e grupo II espécies provenientes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. No grupo II, o feijão é classificado de acordo com a coloração do tegumento do grão: branco: produto que contém, no mínimo, 90% de grãos de coloração branca; preto: produto que contém, no mínimo, 90% de grãos de coloração preta; cores: produto que contém no mínimo, 90% de grãos da classe cores, admitindo-se até 10% de outras cultivares da classe cores, que apresentem contraste na cor ou no tamanho; misturado: produto que não atende às especificações de nenhuma das classes anteriores. Quanto ao tipo, o feijão-caupi é classificado em três tipos, que leva em consideração os defeitos no grão: tipo 1 - alta qualidade, tipo 2 - média qualidade e tipo 3 - baixa qualidade e ainda pode ser enquadrado como fora de tipo e desclassificado (BRASIL, 2008).

Além da classificação oficial definida pelo regulamento técnico do feijão, Freire Filho et al. (2005) propuseram uma classificação do feijão-caupi em classes e subclasses comerciais de acordo com a coloração do grão, aperfeiçoada por Freire Filho et al. (2011), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classes e subclasses comerciais e caracterização dos grãos de feijão-caupi.

Classe ⁽¹⁾	Subclasse ⁽²⁾	Característica do grão ⁽²⁾
Branco	Branco liso	Tegumento branco e liso
	Branco rugoso	Tegumento branco e rugoso
	Fradinho	Tegumento branco, rugoso com halo preto
	Olho-marrom	Tegumento branco, podendo ser liso ou rugoso com halo marrom
	Olho-vermelho	Tegumento branco, podendo ser liso ou rugoso com halo vermelho
Preto	Preto-fosco	Tegumento preto, liso e fosco
	Preto-brilhoso	Tegumento preto, liso e brilhoso
Cores	Mulato liso	Tegumento marrom e liso
	Mulato rugoso	Tegumento marrom e rugoso
	Canapu	Tegumento marrom-claro, liso, comprimidos nas extremidades
	Sempre-verde	Tegumento esverdeado-claro e liso
	Verde	Tegumento e/ou cotilédones verdes
	Manteiga	Tegumento creme-amarelo, liso ou levemente enrugado
	Vinagre	Tegumento vermelho e liso
	Azulão	Tegumento azulado e liso
	Corijinha	Tegumento mosqueado cinza ou azulado liso
	Rajado	Tegumento de cor marrom, liso com rajadas longitudinais mais escuras
Misturado		Produto com grãos de diferentes classes e subclasses

¹Regulamento Técnico do feijão, Instrução Normativa Nº 12 de 28/03/2008, MAPA (BRASIL, 2008).

²Adaptado de FREIRE FILHO et al., 2011.

2.3 Cultivares de feijão-caupi lançadas no Brasil

A Embrapa é a principal instituição que desenvolve pesquisas com feijão-caupi no Brasil. Possui um programa de melhoramento genético e bancos de germoplasma que reúnem sementes que são cultivadas em várias regiões do Brasil e do mundo. Também é responsável pelo lançamento da maioria das cultivares brasileiras. Já foram lançadas aproximadamente 47 cultivares comerciais de feijão-caupi, considerando apenas as que apresentam o Registro Nacional de Cultivares (RNC) no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). As cultivares lançadas no Brasil no período de 1978 a 2016 são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Cultivares de feijão-caupi lançadas no Brasil no período de 1978 a 2016.

Lançamento	Cultivar
2000-2016	BRS Imponente; Miranda IPA-207; BRS Tapaihum; BRS Carijó; BRS Acauã; BRS Aracê; BRS Juruá; BRS Tumucumaque; BRS Potengi; BRS Itaim; BRS Cauamé; BRS Potengi; BRS Pajeú; BRS Xiquexique; BRS Pujante; BRS Novaera; BRS Potiguá; BRS Milênio; BRS Urubuquara; BRS Marataoã; BRS Guariba; Poços de caldas MG; BRS Paraguaçu; BRS Rouxinol; BRS Mazagão.
1990-1999	*EPACE V96; Patativa; Monteiro; *BR18-Pericumã; Amapá; BR 17-Gurgueia; EMEPA-1 *Pampo; *EPACE 11; BR 16 Chapéu-de-Couro; BR 15-Asa-branca; BR 14-Mulato; Riso-do-ano.
1981-1989	*BR 13-Caicó; IPA-206; *João Paulo II; Setentão; EPACE-10; BR 12-Canindé; IPA-205; *IPA-204; BR10-Piauí; BR9- Longá; *BR8-Caldeirão; *BR7-Parnaíba; *CNC-0434; *BR6-Serrano *BR5-Cana-verde; *BR 4-Rio Branco; BR 3-Tracuateua; BR2-Bragança; BR 1-Poty; *Frade Preto; *Otília; *Epace-6 (TV x 1836- O13J; Vita 10); Emapa-821 (TV x 1193-7D; Vita 6); *Emapa-822 (TVu 1190; Vita 3); Epace1 (TV 289-4G;Vita 7); *IPA-203; *IPA-202; *IPA-201; *Manaus(4R-0267-01F; Vita 11); Sempre-verde; Pendanga; Quarenta Dias.
1978	CE-315 (Chaula)

*Sem registro no RNC/MAPA.

Adaptado de FREIRE FILHO et al., 2011.

2.4 Aspectos agronômicos do feijão-caupi

O feijão-caupi é cultivado em uma ampla faixa ambiental, desde a latitude 40°N até a 30°S, tanto em terras altas como baixas, tais como: Oeste da África, Ásia, América Latina e América do Norte (RACHIE, 1985).

A cultura do feijão-caupi é tradicionalmente cultivada em regime de sequeiro, com o plantio no período das chuvas, apresentando baixa exigência hídrica e exigindo um mínimo de 300 mm de precipitação para que produza, sem a necessidade de utilização da prática da irrigação.

Este feijão pode ser cultivado em solos de baixa fertilidade e em quase todos os tipos de solos, como os latossolos amarelos, latossolos vermelho-amarelos, argissolos vermelho-amarelos e neossolos flúvicos. De modo geral, desenvolve-se em solos com regular teor de matéria orgânica, soltos, leves e profundos, arejados e dotados de média a alta fertilidade. Entretanto, outros solos como latossolos e neossolos quartzarênicos com baixa fertilidade podem ser utilizados, mediante aplicações de fertilizantes químicos e/ou orgânicos (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003).

O feijão-caupi apresenta bastante rusticidade, mas a escolha correta do cultivar para um determinado ambiente e sistema de produção é de grande importância para a obtenção de uma boa produtividade (FREIRE FILHO et al., 2000). Esta leguminosa apresenta diferentes ciclos de maturação (super-precoce: maturação em até 60 dias; precoce: 61-70 dias; médio: 71-90 dias; médio-precoce: 71-80 dias; médio-tardio: 81-90 dias; e tardio: maturação acima de 90 dias), porte da planta (porte ereto: ramos principal e secundários curtos, com estes formando um ângulo de agudo a reto com o ramo principal; semiereto: ramos principal e secundários curtos a médio, com estes formando um ângulo reto com o ramo principal; semiprostrado: ramos principal e secundários médios, com estes tocando o solo; e prostrado: ramos principais e secundários longos, com estes tocando o solo) (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003).

A planta do feijão-caupi em campo pode ser afetada por doenças causadas por vírus, fungos, bactérias e pragas. Geralmente, atacam a cultura do feijão-caupi: pulgões, trips, cigarrinha verde, vaquinhas, mosca branca, mosca minadora das folhas, percevejos, lagartas e carunchos (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003).

Os grãos de feijão-caupi podem ter umidade em até 14%, valores acima serão aceitos quando não representarem risco a saúde humana (BRASIL, 2008). O processo mais usual na conservação do grão é a secagem, que diminui a água no grão. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, serão reduzidos a atividade de água, a velocidade das reações químicas no produto e o desenvolvimento de micro-organismos (DOYMAZ, 2007).

2.5 Área, produção e produtividade do feijão-caupi

Segundo dados da FAO (2015), a produção mundial de feijão-caupi no ano de 2014 foi de 10.454.586 toneladas (ton.), que somados às 494.188 ton. produzidas no Brasil, foram quase 11 milhões de ton. O principal produtor mundial de feijão-caupi é o continente africano, tendo os países Nigéria (2.137.900 ton.), Niger (1.586.446 ton.) e Burkina Faso (571.310 ton.) como os maiores produtores, que juntos produzem 4.295.656 ton., ou seja, 41,09% da produção mundial. Existem também grandes áreas cultivadas na América do Sul, América Central, Ásia, Oceania, Sudoeste da Europa e Estados Unidos (FREIRE FILHO et al., 2011).

O Brasil contribui com 11,31% e 8,95%, respectivamente, da área e produção mundial de feijão-caupi. É o segundo tipo de feijão mais cultivado no Brasil, sendo

mais tradicional nas regiões Norte e Nordeste, representando 15% da produção de feijão. É uma cultura de grande importância na região Nordeste do Brasil, ocupando uma área de 1.289.647 hectares (ha) e uma produção de 505.233 ton., representando 60,80% e 45,673%, respectivamente, da área e produção do feijão-caupi no Brasil. Os maiores produtores nacionais são os Estados do Mato Grosso, Ceará e Piauí (LSPA..., 2015a). No total, o feijão-caupi ocupa uma área de 1.381.951 ha e uma produção de 505.233 ton., sendo esta correspondente a 15,48% de todo o feijão produzido no Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011).

O feijão-caupi é cultivado no estado do Piauí em uma área de 186.972 ha, com uma produção de 47.531 ton. e uma produtividade de 402 kg ha⁻¹ (LSPA, 2015b). A produtividade em nível de lavoura ainda é considerada baixa. Dentre os vários fatores que limitam a produtividade, podemos citar a baixa utilização de tecnologias, já que, aproximadamente, 80% da produção vêm do pequeno agricultor; e a adoção de cultivares tradicionais, que, geralmente, são suscetíveis aos estresses bióticos (pragas e doenças) que ocorrem nas regiões produtoras, influenciando negativamente na quantidade e qualidade do produto (ROCHA et al., 2008). Essa baixa adoção pelo pequeno produtor é devida, principalmente à falta de uma extensão eficiente e políticas de maior acessibilidade de sementes melhoradas aos agricultores familiares.

Por outro lado, o melhoramento visando cultivares mais adequadas ao cultivo totalmente mecanizado, tem proporcionado um aumento crescente da adoção pelos agricultores empresariais e tem sido o grande responsável, juntamente com pesquisas na área de manejo, pela expansão da cultura nos cerrados da região Centro-Oeste do Brasil.

As estatísticas de produção do feijão-caupi no Brasil são imprecisas, devido aos registros levarem em consideração a produção total de feijão, considerando juntos a produção do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Em consequência da ausência de uma estatística oficial de produção do feijão-caupi no Brasil, a FAO considera apenas dados de feijão total sem especificar a espécie. Atualmente, existem levantamentos estatísticos feitos pelo IBGE em alguns estados que diferenciam a produção de feijão-comum e feijão-caupi. Por exemplo, o estado do Mato Grosso. Os dados de área e produção do feijão-caupi encontrados na literatura são estimativas feitas pela Embrapa, com base em consultas aos IBGEs estaduais e mercado.

2.6 Composição química do feijão-caupi

A composição química e dos nutrientes do grão de feijão-caupi pode se modificar como resultado das mudanças climáticas, sazonalidade, condições ambientais e nutricionais das plantas, práticas culturais, manipulação genética (MAIA et al., 2000; VASCONCELOS et al., 2010) e ainda de acordo com a cultivar (RANGEL et al., 2003; GIAMI, 2005).

O feijão-caupi tem um grão de excelente qualidade nutricional com teores médios de proteínas (23 a 25%); carboidratos (62%); lipídeos (2%); alta proporção de ácidos graxos insaturados; vitaminas, principalmente as do complexo B; minerais (ferro, zinco, potássio, magnésio); grande quantidade de fibras alimentares; e baixa atividade inibitória de tripsina. O valor calórico estimado do grão é de 323,4 kcal 100 g⁻¹ (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

O teor de cinzas é o resíduo mineral fixo, constituído por grandes concentrações de potássio, sódio, cálcio e magnésio, e em pequenas concentrações de alumínio, ferro, cobre, manganês e zinco e traços de argônio, iodo, flúor e outros elementos (CECHI, 2003).

Estudos mostram que o conteúdo de carboidratos no feijão-caupi pode variar de 51,4 a 76,1%. Os teores de fibra alimentar variam de 20 a 35% em relação ao teor de carboidratos totais, sendo que 90,9% do total são de fibras insolúveis (SALGADO et al., 2005; FROTA et al., 2008; CARVALHO et al., 2012).

O teor de lipídios no grão de feijão-caupi é considerado baixo, qualidade característica de todas leguminosas, variando de 1,2 a 4,8%, porém considerado de alta qualidade (MAIA et al., 2000; SHOSHIMA et al., 2005). O perfil de ácidos graxos de cultivares de feijão-caupi mostra a presença de ácidos graxos saturados e insaturados, com predominância dos ácidos palmítico ou linoléico, dependendo do cultivar (ZIA-UL-HAQ et al., 2010). Em relação aos minerais, o grão contém ferro, com teores que variam de 3,7 a 7,8 mg 100g⁻¹, zinco de 3,1 a 5,1 mg 100g⁻¹, potássio de 745 a 1430 mg 100g⁻¹, manganês de 1,5 a 2,7 mg 100g⁻¹, fósforo de 303 a 510 mg 100g⁻¹, magnésio de 47,2 mg 100g⁻¹ e cálcio de 176 mg 100g⁻¹ (SALGADO et al., 2005; IQBAL; ATEEQ; KHAN, 2006; ADEBOOYE; SIGH, 2007; FROTA et al., 2008; ROCHA et al., 2008; ROCHA et al., 2009; PEREIRA et al., 2014).

O teor de nutrientes do feijão-caupi é capaz de atender às principais recomendações dietéticas. Além disso, estudos mostram que a inclusão desse grão

na dieta traz benefícios à saúde como a redução do risco de doenças crônicas: doenças cardiovasculares, diabetes *mellitus*, obesidade e câncer (GEIL; ANDERSON, 1994; FROTA, SOARES, ARÊAS, 2008; GUTIÉRREZ-URIBE; ROMO-LOPEZ; SERNA-SALDIVAR, 2011).

2.7 Tempo de cocção do feijão-caupi

O feijão-caupi, como a maioria das sementes de leguminosas, requer tratamento térmico antes do seu consumo, a fim de inativar fatores antinutricionais como inibidores de amilases, lectinas e também melhorar a digestibilidade das proteínas e a sua palatabilidade (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

O tempo de cozimento constitui-se em um fator importante na adoção de uma cultivar pelos consumidores, devido à economia de gás no tempo de preparo das refeições e conseqüentemente no gasto de energia (COSTA et al., 2001).

Os programas de melhoramento genético do feijoeiro visam obter variedades que apresentem alta produtividade, com maior teor de nutrientes, aliada a resistência às doenças e com produção de sementes possuindo forma, tamanho, cor, brilho, palatabilidade, textura macia do tegumento, capacidade de produzir caldo claro e denso após o cozimento (MESQUITA et al., 2007). Além disso, rápida capacidade de hidratação, tegumentos que não se partam durante o cozimento e alta expansão volumétrica, após o cozimento, são desejáveis. Períodos prolongados de cozimento causam mudanças estruturais em nível celular, provocando perda de nutrientes (CARBONELL et al., 2003).

Algumas cultivares de feijão-caupi lançadas entre os anos de 2008 e 2009 pela Embrapa, apresentam tempos de cocção variando de 13 minutos (BRS Tumucumaque e BRS Juruá) a 23 minutos (BRS Potengi) (Tabela 3). O menor tempo de cocção dos grãos está diretamente relacionado com a capacidade de penetração de água nos grãos, e o tempo de cocção mais demorado pode ser explicado pela impermeabilidade do tegumento do feijão à água, causando uma hidratação mais lenta durante o cozimento, ou ainda devido a impermeabilidade dos cotilédones à água, em razão das modificações químicas que ocorrem durante o cozimento (STANLEY; AGUILERA, 1985).

Tabela 3. Tempo de cocção do grão de cultivares de feijão-caupi.

Cultivar	Tempo de cocção
BRS Xiquexique	20'00"
BRS Tumucumaque	13'23'
BRS Cauamé	21'07"
BRS Potengi	23'24"
BRS Pajeú	17'51"
BRS Juruá	13'31"
BRS Aracê	18'20"
BRS Itaim	20'55"
Média Geral	18'26"

Fonte: Adaptado FREIRE FILHO et al. (2011).

(') minutos; (") segundos

Um estudo envolvendo oito cultivares de feijão-caupi (MASHI, 2006), revelou que o tempo de cocção é controlado por dois alelos dominantes, oriundos de diferentes locos gênicos, envolvendo ação gênica de dominância e aditividade com a ação epistática. A alta herdabilidade do caráter (95%) aliado à dominância do tempo de cocção rápido sobre o tempo de cocção longo evidenciam que é possível obter, com métodos relativamente simples de seleção, cultivares com rápido tempo de cozimento via melhoramento genético. Nesse estudo, a variação para o tempo de cocção foi de 28 a 46 minutos.

Segundo Pereira et al. (2014), o cozimento dos grãos de feijão-caupi por métodos tradicionais usados no Brasil (cozimento em panela ou panela de pressão regular e com ou sem imersão anterior) mostrou efeito eficiente para a retenção máxima de ferro e zinco no grão do feijão-caupi.

Com o objetivo de selecionar genótipos de feijão-caupi com rápido tempo de cocção, D'albuquerque (2013) avaliou 20 genótipos em três ambientes da região Meio-Norte do Brasil e encontrou uma variação de 12 a 19 min., com média geral de 15 min., destacando-se as linhagens MNC02-675F-9-3 (12 min.) e MNC02-676F-3 (13 min.). Já Dias-Barbosa (2015) avaliou 12 genótipos e relatou variação de 15 a 29 min., destacando-se em rapidez de cozimento a cultivar BRS Tumucumaque (15,32 min.) e a linhagem MNC04-774F-90 (15,66 min.)

2.8 Biofortificação do feijão-caupi

Algumas estratégias têm sido aplicadas para melhorar a qualidade nutricional de alguns alimentos básicos de alto consumo pela população, principalmente nas classes econômicas menos beneficiadas. Para isso, tem-se desenvolvido programas de suplementação ou fortificação de alimentos. Embora essas estratégias contribuam na diminuição do número de pessoas em risco nutricional pela deficiência de alguns nutrientes, essas intervenções nem sempre são bem-sucedidas (NUTTI; CARVALHO; WATNABE, 2006; PEREIRA et al., 2014).

Uma outra estratégia proposta mais recentemente é aumentar as concentrações de minerais em cultivos comestíveis. Esse procedimento é denominado biofortificação, e pode ser conseguido via melhoramento convencional ou modificação genética de plantas (transgenia). Existe uma variação genética considerável em espécies vegetais que podem ser aproveitadas para as estratégias de biofortificação sustentáveis e que já são aplicadas atualmente (WHITE; BROADLEY, 2005). A biofortificação tem como objetivo desenvolver alimentos naturais com um maior valor nutritivo, melhorando principalmente os teores de micronutrientes como ferro, zinco e pró-vitamina A (MELO et al., 2011).

As metas do programa de biofortificação incluem além da boa produtividade e resistência a pragas, o aumento da biodisponibilidade de nutrientes, avaliação sensorial e investigação dos hábitos de consumo e melhoria das condições econômicas da população alvo. As variedades de alimentos que após serem avaliadas apresentaram maior potencialidade são melhoradas até que se atinja o objetivo agrônomo e nutricional desejado para este produto. A biofortificação de novas cultivares de feijão-caupi tem como principal objetivo aumentar os valores de ferro e zinco, principalmente para proporcionar o acesso desses micronutrientes à população mais suscetíveis às carências nutricionais (MORAES et al., 2009; ROCHA et al., 2011b, PEREIRA et al., 2014).

Segundo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 54 de 12 de novembro de 2012 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que dispõe sobre as condições para declaração técnica sobre informação nutricional complementar de conteúdo absoluto referente a vitaminas e minerais, os alimentos podem ser classificados em relação aos seus teores de minerais, como “fonte” ou “alto teor”. Essa RDC estabelece que os alimentos pertencentes a essas duas classes podem ser

atribuídos como “fonte”, quando 100 g do produto apresentam mais de 15% da ingestão diária recomendada (IDR) para o nutriente desejado e, como “alto teor”, quando 100g do produto apresentam duas vezes o valor para ser considerado “fonte”, ou seja, mais de 30% da IDR (BRASIL, 2012).

A IDR para o ferro e o zinco são 14 mg dia⁻¹ e 7 mg dia⁻¹, respectivamente, para adultos saudáveis (BRASIL, 2005). Assim, pode-se assumir que, quando 100 g do produto (grão, farinha ou produto derivado, por exemplo, no caso do feijão-caupi) apresenta teores de ferro e zinco, respectivamente, de 2,1 mg 100g⁻¹ (15% da IDR) e 1,05 mg 100g⁻¹ (15% da IDR), o alimento pode ser considerado como “fonte” desses minerais e quando esses teores forem o dobro, ou seja, 4,2 mg 100g⁻¹ de ferro e 2,1 mg 100g⁻¹ de zinco, o alimento pode ser considerado como possuidor de “alto teor” desses minerais (COSTA, 2013).

Algumas características nutricionais relacionadas às cultivares de feijão-caupi lançadas entre 2008 a 2010 são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Concentrações de ferro e zinco no grão de cultivares de feijão-caupi.

Cultivar	Concentração de ferro (mg 100g ⁻¹)	Concentração de zinco (mg 100g ⁻¹)
BRS Xiquexique	7,74	5,37
BRS Tumucumaque	6,06	5,16
BRS Cauamé	5,68	4,65
BRS Potengi	6,18	3,56
BRS Pajeú	5,79	3,77
BRS Juruá	6,56	4,09
BRS Aracê	6,17	4,86
BRS Itaim	4,88	4,34
Média Geral	6,13	4,47

Fonte: Adaptado FREIRE FILHO et al., 2011

A média do teor de ferro foi de 6,13 mg 100g⁻¹ e de zinco de 4,47 mg 100g⁻¹. Esses valores são considerados promissores e mostram que incrementos podem ser

obtidos com a seleção de linhagens para o aumento do teor desses micronutrientes, os quais são muito importantes na nutrição (FREIRE FILHO et al., 2011).

2.8.1. Micronutrientes

A deficiência de micronutrientes afeta cerca de um terço da população mundial e está fortemente relacionada à carência de ferro, iodo e vitamina A. Entretanto, desde o final da última década, outros componentes passaram a ter destaque no âmbito da saúde pública, incluindo vitamina D, zinco e ácido fólico (FAO, 2010).

Os grupos que se encontram em situação mais vulnerável são as crianças menores de seis anos, gestantes, nutrizes e lactentes, pelo aumento das demandas nutricionais nestes momentos biológicos. Apesar das deficiências serem marginais, elas prejudicam o desenvolvimento máximo do potencial humano. De modo geral, o estado carencial entre as crianças resulta em retardo do crescimento, subdesenvolvimento físico, mental e aumento da mortalidade. Dentre os adultos, as maiores consequências são letargia, diminuição da capacidade física e reprodutiva, declínio da função cognitiva e debilidade imunológica (FAO, 2010; ROMAÑA; OLIVARES; BRITO, 2015).

Os micronutrientes como ferro, zinco e vitamina A estão sendo utilizados na fortificação de grãos. Trata-se de uma estratégia efetiva e complementar a outros métodos de erradicação de deficiências de micronutrientes (ZANCUL, 2004).

Ferro e zinco são minerais que regulam processos importantes nos corpos de indivíduos saudáveis, e uma deficiência destes minerais constitui um problema de saúde pública, afetando principalmente crianças em idade escolar e mulheres (BROWN; WUEHLER; PERSON, 2001).

A deficiência de micronutrientes está relacionada com uma série de efeitos deletérios na infância, com consequente aumento das taxas de morbimortalidade, dentre outros agravos à saúde. Por isso, esta etapa da vida representa um momento biológico que merece o máximo de atenção com relação à oferta de micronutrientes, em especial ferro, vitamina A e zinco (BLACK, 2001).

Algumas soluções têm sido usadas para combater essas carências em micronutrientes, exemplo disso é a fortificação, enriquecimento ou simplesmente adição com o objetivo de reforçar o teor de nutrientes e prevenir deficiências nutricionais apresentadas pela população ou de grupos de indivíduos mais suscetíveis

(VELLOZO; FISBERG, 2010). Outra forma de combate a essas deficiências de nutrientes é a biofortificação. No Brasil, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) coordena as pesquisas em andamento sobre biofortificação de alimentos como arroz, batata-doce, feijão comum, feijão-caupi, mandioca, milho, trigo e abóbora (NUTTI; CARVALHO; WATNABE, 2006).

2.8.2 Ferro

O Ferro é um elemento traço essencial ao corpo e está distribuído em todos os alimentos, sendo classificado em duas formas, de acordo com seu mecanismo de absorção: ferro heme e ferro não-heme.

O ferro heme apresenta-se na forma iônica reduzida Fe^{+2} (ferroso), sendo encontrado em produtos de origem animal e representa 40% do ferro dessa fonte. A absorção do ferro heme é alta, cerca de 15 a 30% no indivíduo normal e 35 a 50 % naqueles com baixa reserva de ferro. O ferro não-heme se apresenta predominantemente na forma iônica Fe^{+3} (férico) e é encontrado entre as fontes vegetais, sendo as principais, leguminosas, nozes e vegetais de folhas verdes. A absorção do ferro não heme é muito menos que a do heme, variando entre 0 a 10% dependendo de fatores químicos relacionados a químicos dietéticos (BIANCHI et al., 1992).

O ferro é um nutriente essencial para o crescimento humano, desenvolvimento e manutenção do sistema imunológico. Em populações que possuem dietas deficientes em ferro, os programas de fortificação de alimentos são necessários para suprir a demanda deste micronutriente (WALKER et al., 2005). A deficiência de ferro na dieta pode causar anemia, uma doença ainda prevalente no século XXI, afetando mais de dois bilhões de pessoas em todo o mundo, a maioria das crianças e mulheres grávidas (COZZOLINO, 2007). É um microelemento essencial para a saúde materna e fetal, para o desenvolvimento mental, aprendizado e produtividade permitindo a atividade física em todos os humanos. Se os níveis de ferro são muito baixos, ocorre uma diminuição na concentração de hemoglobina e o corpo produz menos eritrócitos, e os indivíduos desenvolvem anemia (UNICEF, 2009).

O ferro é crucial para o desenvolvimento motor e cognitivo. Crianças e mulheres grávidas são especialmente vulneráveis às consequências da deficiência de ferro (CIDA, 2009). Uma mulher precisa de mais ferro durante a gravidez, porque o

desenvolvimento do feto exige quantidades adicionais de ferro. A suplementação de ferro durante a gravidez reduz o risco de mortalidade materna e neonatal, pois diminui os riscos de hemorragias, partos prematuros e baixo peso ao nascer (UNICEF, 2009).

A anemia afeta 43% das crianças de cinco anos de idade e 38% das mulheres grávidas em todo o mundo. Quando mulheres grávidas sofrem de anemia existe uma probabilidade aumentada de morte perinatal e geralmente os bebês nascem com baixo peso. Estima-se que em todo o mundo a anemia cause entre 2,5 milhões e 3,4 milhões de mortes juntando mortes maternas e de neonatais (STEVENS et al. 2013).

Estudos mostram que crianças com anemia causada por carência de ferro têm menor desenvolvimento mental e motor do que crianças sem anemia, isso revela que é fundamental, nessa fase da vida, o aporte desse micronutriente em níveis suficientes na alimentação (WALKER et al. 2007). A Tabela 5 mostra a IDR de ferro para diferentes faixas etárias (BRASIL, 2005).

Tabela 5. IDR de ferro na dieta alimentar para diferentes faixas etárias.

Faixa etárias	IDR de ferro
Lactentes (0 a 6 meses)	0,27 mg d ⁻¹
Crianças (7 a 11 meses)	9 mg d ⁻¹
Crianças (1 a 3 anos)	6 mg d ⁻¹
Crianças (4 a 6 anos)	6 mg d ⁻¹
Crianças (7 a 10 anos)	9 mg d ⁻¹
Mulheres gestantes	27 mg d ⁻¹
Lactentes	15 mg d ⁻¹
Adultos saudáveis	14 mg d ⁻¹

Fonte: RDC Nº. 269 (BRASIL, 2005)

As concentrações de ferro observadas em avaliações realizadas no germoplasma elite de feijão-caupi (linhagens e cultivares) variam entre 3,72 a 7,74 mg 100g⁻¹ (ROCHA et al., 2008). FROTA; SOARES; ARÊAS (2008) em estudos com a cultivar BRS Milênio obtiveram teores médios de 6,8 mg 100g⁻¹. Um ensaio conduzido pela Embrapa Meio-Norte com feijão-caupi tipo fradinho apresentou teores entre 4,87 a 7,84 mg 100g⁻¹ (ROCHA et al., 2011).

Dias-Barbosa (2015) avaliou 30 linhagens elite de feijão-caupi e obteve uma variação de 4,70 a 7,96 mg 100g⁻¹. Estudos sobre as concentrações de ferro no germoplasma exótico ou acessos do banco de germoplasma ainda são escassos. Rocha et al. (2011a) avaliaram um grupo de 50 acessos do banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte e relataram uma variação de 4,96 a 7,59 mg 100g⁻¹.

Cruzamentos entre genótipos de feijão-caupi com altos teores de ferro no grão tem sido realizados objetivando a biofortificação desse micronutriente. Os resultados preliminares apresentados nas populações segregantes mostram um aumento significativo em relação aos parentais.

Moura (2011) avaliou três cruzamentos entre a cultivar BRS Xiquexique e duas linhagens africanas com altos teores de ferro e obteve populações com teores que variaram de 7,15 a 8,04 mg 100g⁻¹. Carvalho (2011), em um estudo conduzido com cruzamentos realizados entre oito parentais com altos teores de ferro, verificou em 28 híbridos F1 uma variação de 6,47 a 102,00 mg 100g⁻¹.

Costa (2013) avaliou 215 populações F3 derivadas de um cruzamento entre as cultivares BRS Xiquexique e BR 17-Gurguéia e verificou uma variação de 3,76 a 121,31 mg 100g⁻¹. Monteiro (2015) avaliou o potencial do cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia para o teor de ferro e obteve na população segregante uma variação de 4,80 a 7,10 mg 100g⁻¹.

2.8.3 Zinco

O zinco é um mineral importante, pois age em vários mecanismos do corpo humano e atua como co-fator em diversas enzimas e proteínas. A sua deficiência afeta o sistema imunológico, impede o combate na formação de radicais livres, causa retardo no crescimento, atraso na maturação sexual, diminuição do apetite e hipogeusia, diminuição das funções cognitivas, acrodermatite enteroepática, alopecia, diarreia, erupções cutâneas e afeta a síntese de DNA (PEREIRA et al., 2011).

O zinco quando presente na dieta em quantidades suficientes promove a imunidade, resistência à infecção, e crescimento adequado e desenvolvimento do sistema nervoso e é essencial para o uma gravidez saudável (WESSELLS; BROWN, 2012).

Aproximadamente 17,3% da população mundial está em risco de deficiência de zinco, devido à inadequação dietética (WESSELLS; BROWN, 2012). Outras estimativas apontam que 25 a 33% de algumas populações no mundo com consumo inadequado de zinco sofrem agravos na saúde devido à carência desse mineral (HOTZ; BROWN, 2004; WESSELLS; BROWN, 2012).

A suplementação com zinco reduz a incidência de parto prematuro, diminui a diarreia infantil e infecções respiratórias, reduz a mortalidade por qualquer causa, e

aumenta o crescimento e ganho de peso entre os lactentes e crianças jovens. (WESSELLS; BROWN, 2012).

A Ingestão Diária Recomendada de zinco na dieta alimentar em diferentes faixas etárias (BRASIL, 2005) é mostrada na Tabela 6.

Tabela 6. IDR de zinco na dieta alimentar para diferentes faixas etárias

Faixa etária	IDR de zinco
Lactentes (0 a 6 meses)	2,8 mg d ⁻¹
crianças (7 a 11 meses)	4,1 mg d ⁻¹
Crianças (1 a 3 anos)	4,1 mg d ⁻¹
Crianças (4 a 6 anos)	5,1 mg d ⁻¹
Crianças (7 a 10 anos)	5,6 mg d ⁻¹
Mulheres gestantes	11 mg d ⁻¹
Lactentes	9,5 mg d ⁻¹
Adultos saudáveis	7 mg d ⁻¹

Fonte: RDC Nº. 269 (BRASIL, 2005)

As concentrações de zinco em feijão-caupi obtidas em avaliações realizadas no germoplasma elite (linhagens e cultivares) variaram entre 3,6 a 5,3 mg 100g⁻¹ (ROCHA et al., 2008). FROTA; SOARES; ARÊAS (2008) em estudos com a cultivar BRS Milênio determinaram teores médios de 4,1 mg 100g⁻¹. Um ensaio conduzido pela Embrapa Meio-Norte com feijão-caupi tipo fradinho apresentou teores entre 3,92 a 5,07 mg 100g⁻¹ (ROCHA et al, 2011). Barbosa-Dias (2015) avaliou 30 linhagens elite de feijão-caupi e relatou uma variação de 3,53 a 5,21 mg 100g⁻¹.

Resultados sobre as concentrações de zinco no germoplasma não melhorado (cultivares locais ou exóticos) são escassos. Rocha et al. (2011) avaliaram um grupo de 50 acessos do banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte e reportaram uma variação de 4,06 a 6,37 mg 100g⁻¹.

A partir de cruzamentos realizados entre genótipos de feijão-caupi com altos teores de zinco no grão, visando a biofortificação desse micronutriente, os resultados preliminares indicam um aumento considerável do teor nas populações segregantes resultantes.

Carvalho (2011), em um estudo conduzido com cruzamentos realizados entre oito parentais com altos teores de zinco, observou em 28 híbridos F1 uma variação de 3,60 a 5,53 mg 100g⁻¹. Monteiro et al. (2015) avaliaram o potencial do cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia para o teor de zinco e obtiveram na população segregante uma variação de 6,22 a 7,04 mg 100g⁻¹.

2.9 Interação genótipos x ambientes (G x A)

A expressão fenotípica diversificada de um mesmo genótipo em vários ambientes é efeito da interação G x A (LAVORANTI; DIAS; VENCOVSKY, 2002). Esta afeta as diferentes respostas de expressão dos genótipos às variações dos ambientes, resultando em mudanças de seus desempenhos relativos. As condições de solo e clima correlacionadas ao manejo dos cultivos em campo e a outras variáveis afetam o desenvolvimento das plantas e são denominados de ambiente (BORÉM, 2005).

Segundo Allard e Bradshaw (1964), as variações do ambiente são classificadas em dois grupos: previsíveis e imprevisíveis. As previsíveis incluem características edafoclimáticas, que são as características do ambiente que flutuam de uma forma sistemática, como a duração do dia, grau de insolação; os aspectos do ambiente que são controlados pelo homem, tais como: data de plantio, densidade de semeadura, métodos de colheita, e outras práticas agrônômicas. As imprevisíveis incluem flutuações no tempo, como a quantidade e distribuição de chuvas, a temperatura, e outros fatores climáticos como granizos e geadas.

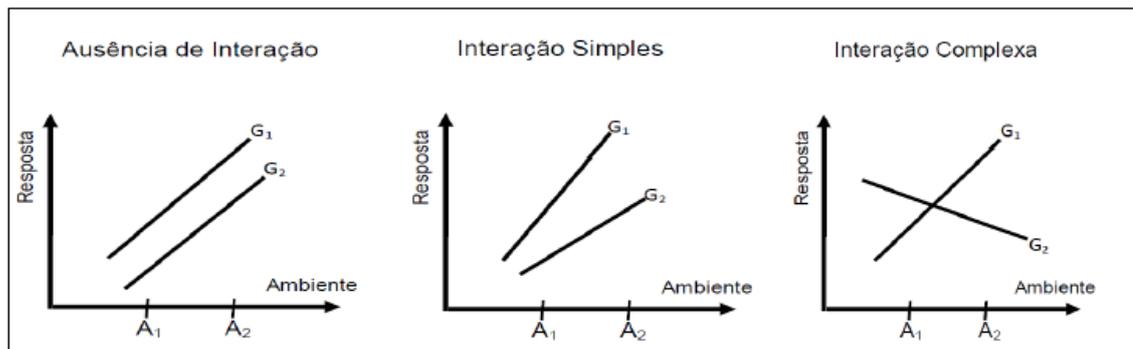
A avaliação da interação G x A é essencial nos programas de melhoramento genético, pois uma vez observada a interação provavelmente um genótipo que se comporta de maneira promissora em um dado ambiente pode não repetir o mesmo comportamento em um outro ambiente. Este fato influencia o ganho com a seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade. A expressão fenotípica é o resultado da interação do genótipo sob influência do meio (ambiente). Entretanto, quando se considera vários ambientes, observa-se que além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional é proporcionado pela interação destes (CRUZ; REGAZZI, 2004).

A interação G x A pode ser entendida por meio de gráficos de dupla entrada em que se observam três situações possíveis: ausência de G x A, interação G x A simples e interação G x A complexa (PEREIRA, 2009), que podem ser visualizadas na Figura 1.

A ausência de interação G x A ocorre quando os genótipos apresentam comportamento concordante nos ambientes avaliados. A interação G x A simples, embora proporcione mudanças no comportamento dos genótipos, não causa mudanças na classificação destes entre os diferentes ambientes avaliados; e a

interação G x A complexa provoca mudanças no comportamento dos genótipos e alteração na classificação dos mesmos (CHAVES, 2001).

Figura 1. Comportamento de dois genótipos (G1 e G2) em duas condições ambientais (A1 e A2).



Fonte: ALLARD; BRADSHAW, 1964.

O método mais comumente utilizado para a avaliação da interação G x A é a análise de variância (ANAVA), por meio da análise conjunta de experimentos. A existência dessa interação é determinada pelo teste "F" e sua magnitude estimada pelos quadrados médios. A interação G x A é detectada como um padrão de resposta diferencial e significativa dos genótipos entre os ambientes (MARQUES, 2010).

Vários estudos têm avaliado a interação G x A em feijão-caupi, para a produtividade de grãos. Alguns têm sido desenvolvidos tendo como um dos objetivos verificar a magnitude da interação G x A (ALI et al., 2004; LOPES; CRAVO; SAMPAIO, 2006; SINGH; BADAYA; TIKKA, 2006; YOUSAF; SARWAR, 2008).

2.10 Adaptabilidade e estabilidade de genótipos

Quando é observada a existência de interação genótipos x ambientes torna-se necessário avaliar a adaptabilidade e estabilidade do genótipo, antes deste ser lançado no mercado como cultivar, pois essa avaliação prévia possibilita a redução dos efeitos da interação G x A e facilita a recomendação de cultivares (ROCHA et al., 2007).

A adaptabilidade e a estabilidade de genótipos são características importantes no processo de seleção de genótipo. A adaptabilidade é a capacidade que os genótipos podem ter de aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, e a

estabilidade é a capacidade dos genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente (CRUZ; REGAZZI, 2004). Segundo Borém e Miranda (2005), adaptabilidade e a estabilidade de uma cultivar dependem da sua genética, isto é, da quantidade de genes que o constitui e do nível de heterozigose dos genótipos. São características do cultivar e lhe permitem responder aos fatores limitantes do ambiente e usufruir dos fatores ambientais.

Várias metodologias foram propostas para estimação da adaptabilidade e estabilidade. O método tradicional (YATES; COCHRAN, 1938), onde é realizado o desdobramento da soma de quadrados (SQ) dos efeitos de ambientes e da interação G x A, em soma de quadrados de ambientes dentro de cada genótipo (SQE/G) (CRUZ, 2006). O quadrado médio de ambiente dentro de genótipo é utilizado como uma medida de estabilidade.

A metodologia de regressão linear de Eberhart e Russel (1966) baseia-se na análise de regressão linear simples. A adaptabilidade e estabilidade são expressas pela média, resposta linear à variação ambiental e o desvio da regressão para cada genótipo.

A metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) baseia-se na análise de regressão linear bissegmentada onde a resposta linear a ambientes desfavoráveis e favoráveis são os parâmetros que estimam a adaptabilidade dos genótipos, e os desvios da regressão de cada genótipo e o coeficiente de determinação (R^2), constituem os parâmetros que estimam a estabilidade (CRUZ, 2006).

Lin e Binns (1988) propuseram a medida de superioridade máxima (P_i) que fornece simultaneamente informações sobre adaptabilidade e estabilidade de um genótipo. Carneiro (1998) propôs modificações nesse método visando facilitar a interpretação e a recomendação de cultivares; para que a recomendação de genótipos pudesse abranger os ambientes favoráveis e desfavoráveis, o estimador do método proposto por Lin e Binns, P_i , foi decomposto em P_{if} e P_{id} , para ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente.

Dentre as metodologias mais recentes, têm-se destacado aquelas com abordagem multivariada. Esses métodos apresentam vantagens, tais como a possibilidade de aplicação de um conceito biológico mais realístico das interações G x A e facilidade na interpretação dos resultados, fornecidos pelo uso de gráficos biplots, bem como o nível de informação gerado pela análise (YAN et al., 2000; GAUCH et al., 2008; YAN, 2011). Dentre as mais utilizadas atualmente podemos citar

o modelo AMMI-Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (GAUCH, 1992) e o modelo GGE Biplot (YAN et al., 2000). Em ambas as metodologias, a interação G x A é decomposta pela análise de componentes principais (ACP), onde é captada nos primeiros componentes uma alta proporção da variação “padrão” da interação G x A, e descartada nos eixos remanescentes uma variação da interação G x A denominada de “ruído”, sem importância para explicar o comportamento dos genótipos frente às variações ambientais.

A diferença principal entre os métodos AMMI e GGE Biplot é que no primeiro a decomposição pela ACP é realizada apenas sobre a interação G x A, enquanto que GGE Biplot ocorre a decomposição dos efeitos de genótipos (G) e da interação G x A. Em ambas as análises, a interpretação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos e ambientes é realizada via gráficos biplot, envolvendo apenas a variação “padrão” da interação G x A.

O método AMMI tem sido utilizado bastante em estudos de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de genótipos de feijão-caupi (FREIRE FILHO et al., 2003, 2005; ROCHA et al., 2007; MANO, 2009; BARROS et al., 2013; D'ALBUQUERQUE, 2013; SANTOS et al., 2015), sendo raros os estudos investigando a adaptabilidade e estabilidade de genótipos quanto aos teores de nutrientes no grão (ROCHA et al., 2011b; DDAMULIRA et al., 2015).

2.10.1 Método GGE Biplot

A metodologia GGE biplot (Genotype Main Effects + Genotype Environment Interaction) (YAN; KANG, 2003; YAN; TINKER, 2006; YAN; HOLLAND, 2010; YAN, 2011), que considera o efeito principal de genótipos mais a interação G x A, é baseada em gráficos Biplot, gerados a partir de matrizes das médias dos genótipos obtidas em cada ambiente. O Biplot é construído a partir dos dois primeiros componentes da Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando Modelos de Regressões de Locais (SREG).

O primeiro componente principal (CP1), quando se encontra altamente correlacionado com o efeito principal de genótipos, representa a proporção da variação fenotípica devida exclusivamente aos genótipos. O segundo componente da ACP (CP2) representa a proporção da variação fenotípica devida à interação G x A (YAN; HOLLAND, 2010; YAN, 2011).

No biplot podem-se visualizar três aspectos importantes (YAN; KANG, 2003): 1) A relação $G \times A$, permitindo o agrupamento de genótipos e ambientes com comportamentos semelhantes, mostrando o genótipo com maior potencial (genótipo ideal) e sua identificação em cada subgrupo de ambientes (mega-ambientes); 2) A inter-relação entre ambientes, facilitando a identificação do melhor ambiente (ambiente ideal) na avaliação das cultivares e indicando qual ambiente pode ser menos favorável; 3) A inter-relação entre genótipos, facilitando a comparação dos genótipos e do ordenamento para os parâmetros de média e estabilidade.

Quando diferentes cultivares são adaptadas aos diferentes grupos de ambientes e a variação entre grupos é maior do que dentro do grupo, tem-se a formação de um mega-ambiente (YAN; KANG, 2003).

A definição de mega-ambientes e a relação entre os ambientes auxiliam os melhoristas de plantas na identificação de genótipos que possuam adaptação ampla ou específica a determinados ambientes ou grupo de ambientes (TRETOWAN et al., 2001; SILVA; BENIN, 2012).

A metodologia SREG (modelo de regressão de ambientes) utilizada na construção do GGE Biplot tem sido reconhecida como uma metodologia revolucionária na abordagem com análise bidimensional para melhoramento e pesquisa genética, incluindo, também, análise de adaptabilidade e estabilidade na recomendação de cultivares, destacando-se das demais técnicas pela sua alta eficiência estatística na explicação da interação $G \times A$ (YAN, et al., 2000; YAN; KANG, 2003; YAN; HOLLAND, 2010; YAN, 2011).

A análise GGE Biplot tem sido mais utilizada em feijão-caupi para estudos de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos (AKANDE, 2007; AREMU; ADEBAYO; ADENIJI, 2008; AKANDE; BALOGUN, 2009; EZEAKU; MBAH; BAIYERI, 2012; CARVALHO, 2015; OLAYIWOLA; SOREMI; OKELEYE, 2015). No entanto, a utilização dessa metodologia em estudos de adaptabilidade e estabilidade das concentrações de nutrientes nessa cultura não foi observada na literatura.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a composição química, minerais, o tempo de cocção e a produtividade de genótipos de feijão-caupi.

3.2 Específicos

Avaliar a adaptabilidade e estabilidade das concentrações de ferro e zinco em genótipos de feijão-caupi;

Determinar a composição centesimal, o valor energético total e o tempo de cocção de genótipos de feijão-caupi;

Verificar a concentração de minerais no grão de genótipos de feijão-caupi;

Analisar a produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi;

Avaliar o efeito da interação de genótipos de feijão-caupi com os ambientes da região Meio-Norte do Brasil, para as concentrações de ferro e zinco;

Selecionar linhagens de feijão-caupi superiores em concentração, adaptabilidade e estabilidade de ferro e zinco para recomendação como cultivares biofortificadas.

4 METODOLOGIA

4.1 Material genético

Foram avaliados 12 genótipos de feijão-caupi, sendo 10 linhagens e duas cultivares, oriundos do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte (Tabela 7). As linhagens foram selecionadas a partir de um *screening* de 30 linhagens com base nas concentrações de ferro e zinco no grão realizado por Dias-Barbosa (2015).

Tabela 7. Relação dos genótipos de feijão-caupi com suas genealogias/procedências e subclasse comercial (SC), avaliados nos estados do Piauí e Maranhão, 2015.

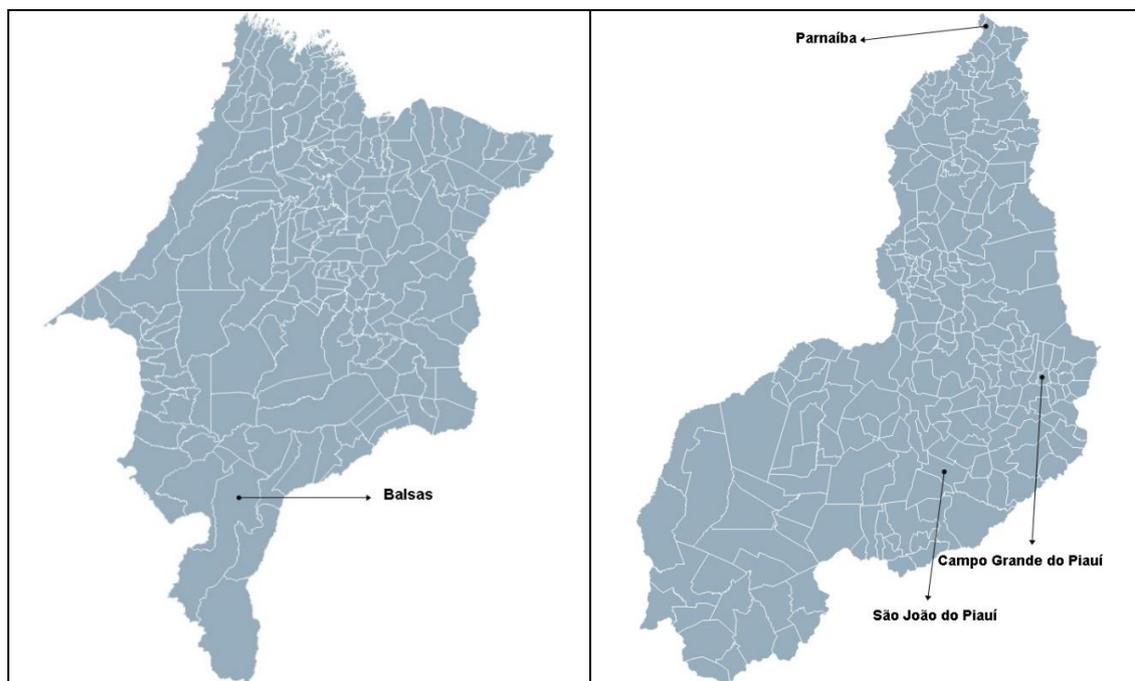
G	Linhagem/Cultivar	Genealogia/ Procedência	SC
G1	MNC04-769F-55	CE-315 x TE97-304G-12	ML
G2	MNC04-782F-108	(TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2) x TE97-309G-24	SV
G3	MNC04-774F-78	TE97-309G-18 x TE97-304G-4	ML
G4	MNC04-795F-158	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	SV
G5	MNC04-774F-90	TE97-309G-18 x TE97-304G-4	SV
G6	MNC04-769F-45	CE-315 x TE97-304G-12	SV
G7	MNC04-769F-31	CE-315 x TE97-304G-12	ML
G8	MNC04-769F-26	CE-315 x TE97-304G-12	SV
G9	MNC04-792F-146	MNC00-553D-8-1-2-3 x TV x 5058-09C	ML
G10	MNC04-762F-9	TE96-282-22G x (Te96-282-22G x Vita7)	BL
G11	BRS Xiquexique ^(T)	TE87-108-6G x TE87-98-8G	BL
G12	BRS Tumucumaque ^(T)	TE96-282-22G x IT87D-611-3	BL

G: Genótipo; T: Testemunha; ML: Mulato; SV: Sempre-verde; BL: Branco Liso.

4.2 Ambientes de condução dos experimentos

Os ensaios de validação ou ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) foram conduzidos no período de sequeiro (fevereiro/março e abril/maio) em quatro locais, da região Meio-Norte do Brasil, no ano agrícola de 2015, que foram: São João do Piauí/PI (SJPI), Campo Grande do Piauí/PI (CGPI), Parnaíba/PI (PAPI) e Balsas/MA (BAMA). A localização geográfica dos locais de avaliação é mostrada na Figura 2 e as análises físico-químicas dos solos das áreas experimentais são apresentadas na Tabela 8.

Figura 2. Localização geográfica dos ambientes onde foram conduzidos os ensaios de valor de cultivo e uso de feijão-caupi nos estados do Maranhão e Piauí, 2015.



Fonte: Embrapa Solos (1986).

Tabela 8. Resultados das análises físico-químicas das áreas experimentais onde foram conduzidos os ensaios de valor de cultivo e uso de genótipos de feijão-caupi, 2015.

Parâmetro	Unidade	Local ¹			
		SJPI	CGPI	PAPI	BAMA
pH Água	(1:2,5)	6,69	5,03	5,79	5,68
pH CaCl ²	(1:2,5)	6,13	4,21	5,09	4,97
Al ³⁺	(cmolc dm ⁻³)	0,00	0,20	0,00	0,00
Ca ²⁺	(cmolc dm ⁻³)	7,57	0,40	0,84	1,86
Mg ²⁺	(cmolc dm ⁻³)	4,44	0,21	0,24	0,80
H ⁺ + Al ³⁺	(cmolc dm ⁻³)	2,13	2,40	2,37	3,33
K ⁺	(cmolc dm ⁻³)	1,11	0,15	0,05	0,22
P (Mehlich-1)	(mg dm ⁻³)	59,00	5,21	1,31	18,09
SB	(cmolc dm ⁻³)	13,12	0,77	1,13	2,88
CTC	(cmolc dm ⁻³)	15,25	3,16	3,51	6,21
CTC efetiva	(cmolc dm ⁻³)	13,12	0,97	1,13	2,88
M (%)	---	0,00	20,69	0,00	0,00
V (%)	---	86,02	24,24	32,37	46,36
Cu	(mg dm ⁻³)	0,31	0,22	0,00	0,35
Fe	(mg dm ⁻³)	10,92	17,28	33,66	31,20
Mn	(mg dm ⁻³)	37,08	5,34	4,24	2,95
Zn	(mg.dm ⁻³)	2,29	0,49	0,63	0,62
C total	(%)	1,37	0,37	0,51	0,76
MO	(g kg ⁻¹)	23,58	6,44	8,77	13,14

¹SJPI - São João do Piauí/PI, CGPI - Campo Grande do Piauí/PI, PAPI - Parnaíba-PI, BAMA - Balsas/MA.

Os ensaios de VCU de feijão-caupi são exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e representam a etapa final de avaliação de linhagens no programa de melhoramento genético, que subsidiam o lançamento e a recomendação de novas cultivares.

Os dados das coordenadas geográficas, tipo de solo e bioma dos locais de condução dos experimentos são apresentados na Tabela 9. A implantação e avaliação dos ensaios ocorreram em áreas onde já existem trabalhos de pesquisa e transferência de cultivares biofortificadas pela Embrapa Meio-Norte.

Tabela 9. Coordenadas geográficas, tipos de solos e biomas dos locais de condução dos experimentos de feijão-caupi.

Código	Município	Altitude	Latitude	Longitude	Solo ¹	BIOMA ²
SPPI	São João do Piauí/PI	316m	08° 20' S	42° 19' W	NQ	Caatinga
CGPI	Campo Grande do Piauí/PI	425m	07° 08' S	41° 02' W	NQ	Caatinga
PAPI	Parnaíba/PI	5m	02° 57' S	41° 43' W	NQ	Costeiro
BAMA	Balsas/MA	324m	07° 54' S	45° 96' W	LA	Cerrado

NQ: Neossolo quartzarênico; LA: Latossolo amarelo; ¹Fonte: IBGE (2001); ²Fonte: IBGE (2004).

4.3 Delineamento experimental

Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, com 12 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram representados por uma parcela com três fileiras, de 5 m, com dimensões de 1,5 m x 5,0 m, sendo a área útil representada pela fileira central. O espaçamento entre fileiras foi de 0,50 m e de 0,25 m entre plantas dentro da fileira. Foram semeadas quatro sementes por cova e aos 20 dias após a semeadura realizou-se um desbaste, deixando-se duas plantas por cova.

4.4 Análises físico-químicas

4.4.1 Preparo das amostras

A colheita do feijão-caupi foi realizada na fase de maturação fisiológica do grão, quando este apresentava em torno de 15% de umidade no campo. Após a colheita, os grãos foram expostos ao sol, para secagem até que a umidade atingisse

aproximadamente 13% e depois armazenados em sacos de papel e mantidos sob refrigeração.

As amostras de grãos de feijão-caupi foram transportadas para o Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte para preparo e análise. Os grãos foram lavados com água destilada e acondicionados em estufa a 60 °C por 48 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia, marca Retsch, modelo MM200, com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de polietileno e mantida em temperatura de refrigeração (4°C) sendo concomitantemente utilizadas nas análises. As análises químicas foram realizadas em triplicata, com três repetições, com exceção das análises de lipídios, carboidratos (por diferença) e VET (calculado), que foram realizadas em duplicatas, com duas repetições.

4.4.2 Determinação da composição centesimal

4.4.2.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado por gravimetria a 105°C em estufa de secagem, com circulação mecânica, marca FANEM, modelo 320 – SE, de acordo com AOAC (2005). Foram pesadas 3g da amostra homogeneizada, em cápsula de porcelana previamente tarada. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em estufa a 105°C por quatro horas, em seguida transferidas para um dessecador por 30 minutos e após esse período pesadas. O teor de umidade em porcentagem foi obtido pela fórmula:

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

Onde:

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

P = n° de gramas de amostra.

4.4.2.2 Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por incineração a 550°C em mufla, marca Novatecnica, modelo NT 380, segundo a metodologia de AOAC (2005). Inicialmente foram pesadas 3g da amostra em cadinhos previamente tarados e depois transferidos para a mufla aumentando a temperatura gradualmente até atingir 550°C. Inicialmente

para calcinação até a incineração de toda matéria orgânica. O teor de cinzas em porcentagem foi obtido pela fórmula:

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

Onde:

N = nº de gramas de cinzas;

P = nº de gramas de amostra.

4.4.2.3 Proteínas

A concentração de proteínas foi obtida com base na determinação do nitrogênio orgânico. Utilizou-se um destilador de nitrogênio da marca Tecnal, modelo TE – 0363, seguindo o método de *Kjeldahl*, segundo AOAC (2005). Utilizou-se o fator de conversão 6,25. Pesaram-se 200 mg da amostra em papel filtro e em seguida a amostra foi transferida para tubo de digestão (papel + amostra). Foram adicionados 5 mL de ácido sulfúrico e 2 g da mistura catalítica (sendo 96,5% de sulfato de potássio e 3,5% de sulfato de cobre) e prosseguiu-se com a etapa de digestão e depois, levou-se para aquecimento em bloco digestor, até a solução se tornar azul-esverdeada, livre de material não digerido (pontos pretos).

Na etapa de destilação, o material do tubo de digestão foi acoplado ao conjunto de destilação. Nessa etapa foram 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.

Na etapa da titulação, o nitrogênio total da amostra foi quantificado por meio de titulação com uma solução de ácido clorídrico 0,02N de fator conhecido. O ponto de viragem indicou 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:

$$NT = (V_a - V_b) \times F \times 0,1 \times 0,014 \times 100 / M$$

Onde:

NT = Nitrogênio total da amostra, em porcentagem;

Va = Volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra, em mililitros;

Vb = Volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação do branco, em mililitros;

F = Fator de correção para o ácido clorídrico 0,01 mol L⁻¹;

M = Massa da amostra (em gramas).

O cálculo da concentração de proteínas em porcentagem foi obtido por meio da fórmula:

$$\% \text{ Proteína Bruta} = \text{NT} \times 6,25$$

4.4.2.4 Lipídios

A fração extrato etéreo foi determinada em extrator intermitente de Soxhlet, marca Novatecnica, modelo NT 340, utilizando-se éter de petróleo P. A., como solvente (AOAC, 2005). Foram pesadas cerca de 3g de amostra previamente seca, em seguida foram transferidas para cartuchos. O extrator foi acoplado a um balão previamente tarado a 105°C e pesado. Em seguida, foram adicionados 150 mL de éter de petróleo 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:

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

Onde:

N = n° de gramas de lipídios;

P = n° de gramas de amostra.

4.4.2.5 Carboidratos

A concentração de carboidratos foi determinada pela diferença dos demais constituintes da composição centesimal, segundo (AOAC, 2005), em porcentagem, pela fórmula:

$$\% \text{Carboidratos} = (100 - \% \text{Proteína} - \% \text{Lipídios} - \% \text{Umidade} - \% \text{Cinzas})$$

4.4.3 Valor Energético Total (VET)

O valor energético total foi calculado segundo Watt e Merrill (1963). Utilizaram-se os teores encontrados dos nutrientes e multiplicaram-se pelos respectivos fatores de conversão de Atwater (carboidratos = 4,0 Kcal g⁻¹, proteínas = 4,0 kcal g⁻¹ e lipídios = 9,0 kcal g⁻¹).

4.4.4 Minerais

Foram pesadas 200 mg da amostra e transferidas para um tubo de digestão, sendo adicionados 5mL da solução digestora (solução nitro-perclórica, 2:1). Os tubos então foram colocados no bloco digestor por aproximadamente duas horas até atingir 200 °C. Após a digestão, os extratos se apresentaram transparentes e límpidos e com um volume aproximado de 2 mL.

4.4.4.1 Ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu)

Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL. Em seguida homogeneizou e fez-se a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o comprimento de onda específico de cada elemento a ser analisado no *software* do equipamento. Os valores das concentrações de ferro, zinco, manganês e cobre foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg 100g⁻¹.

4.4.4.2 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL. Usou-se 200 µL do extrato e transferiu-se para um tubo de ensaio, adicionando 3,5 mL de cloreto de estrôncio e 3,3 mL de água destilada, depois homogeneizou-se e prosseguiu-se com leitura no espectro de absorbância atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o elemento a ser analisado no *software* do equipamento. Os valores das concentrações de cálcio e magnésio foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg 100g⁻¹.

4.4.4.3 Sódio (Na) e potássio (K)

Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL. O extrato foi homogeneizado, seguido da leitura realizada diretamente com o fotômetro de chama, marca Micronal, modelo 906 AA. O equipamento foi ajustado e calibrado com soluções padrões antes das leituras. Os valores das concentrações de sódio e potássio foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$.

4.4.4.4. Fósforo (P)

A determinação do fósforo foi realizada por colorimetria, segundo método descrito por Silva e Queiroz (2002). Após a etapa da digestão, o extrato foi avolumado com água destilada até 20 mL. Usou-se 200 μL do extrato e transferiu-se para um tubo de ensaio, adicionando 8,4 mL de água destilada, 1 mL de solução ácida de molibdato de amônia (SAMA) e 400 μL de solução de ácido ascórbico a 2%. O extrato preparado foi então homogeneizado em agitador tipo vortex e procedeu-se com a leitura no espectrofotômetro, Marca BEL Photonics, modelo 2000 UV, em comprimento de onda de 725 nanômetros, fez a leitura do branco para que ao final fosse subtraído da leitura direta do equipamento. Os valores de leitura em absorbância foram aplicados na fórmula:

$$P = (0,2 \times \text{Leitura} / \text{Peso da amostra}) / 10000$$

Em que o 0,2 da fórmula representa o fator obtido da curva de calibração. Os valores das concentrações de fósforo foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$.

4.5 Avaliação do Tempo de cocção

O tempo de cocção foi determinado utilizando-se o cozedor de Mattson, conforme Mattson (1946), cronometrado em minutos e avaliado em triplicata. Foi utilizada uma amostra de 25 grãos de cada linhagem. As amostras permaneceram

aproximadamente 12 horas imersas em água destilada, antes da realização das análises. O cronômetro foi acionado somente quando o cozedor de Mattson estava totalmente imerso no becker, com água em fervura. O tempo de cocção foi anotado quando a décima terceira vareta de um total de vinte e cinco perfurava totalmente o grão.

4.6 Avaliação da produtividade de grãos

Refere-se ao peso total de grãos (g) por área útil da parcela (m²), transformado para kg ha⁻¹.

4.7 Análises estatísticas

4.7.1 Análises de variância individual e conjunta

Foram realizadas análises de variância individuais e conjunta para todas as características em cada ambiente. As características avaliadas foram: carboidratos, proteínas, lipídios, umidade, cinzas, ferro, zinco, manganês, cobre, magnésio, cálcio, potássio, fósforo e sódio, VET, tempo de cocção e produtividade de grãos. O modelo estatístico adotado para as análises de variância individuais seguiu a equação:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

onde:

Y_{ij} : valor observado do genótipo “i” no bloco “j”;

μ : média geral da característica;

g_i : efeito do genótipo “i”;

β_j : efeito do bloco “j”;

ξ_{ij} : erro aleatório associado ao tratamento “i” no bloco “j”.

Após a realização das análises de variância individuais, realizou-se uma análise conjunta de variância para todos os caracteres, com o objetivo de determinar possíveis interações entre os genótipos com os ambientes. Para efeito de análise de variância conjunta, considerou-se como fixo o efeito de genótipos e como aleatório o efeito de ambientes. O modelo estatístico utilizado seguiu a equação abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + e_j + ge_{ij} + \beta_{k(j)} + \xi_{ijk}$$

onde:

Y_{ijk} : valor observado do genótipo “i” no ambiente “j” e bloco “k”;

μ : média geral da característica;

g_i : efeito do genótipo “i”;

e_j : efeito do ambiente “j”;

ge_{ij} : efeito da interação do genótipo “i” com o ambiente “j”;

$\beta_{k(j)}$: efeito do bloco “k” dentro do ambiente “j”;

ξ_{ijk} : erro experimental associado à parcela “ijk”.

Para a realização das análises de variância individuais e conjunta, utilizou-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

4.7.2 Teste de comparação de médias

As médias dos genótipos foram comparadas pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$), utilizando-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

4.7.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade via GGE Biplot

Para as análises da adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos, consideraram-se apenas as concentrações dos microminerais ferro e zinco, foco maior da biofortificação do feijão-caupi no Brasil.

Utilizou-se a metodologia GGE Biplot (YAN, KANG, 2003; YAN, 2011), que foi aplicado à tabela de dupla entrada contendo as médias fenotípicas dos genótipos (G) em cada ambiente (A). Em outras palavras, GGE é a matriz dos efeitos de genótipos somados aos efeitos da interação GE. Realizou-se então a decomposição da matriz de médias ajustadas dos efeitos de G e GE por decomposição via SVD (*Singular Value Decomposition*) com o objetivo de analisar a parte multiplicativa do modelo GGE Biplot, conforme abaixo:

$$GGE = \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij}$$

onde:

λ_k : é o valor singular do k-ésimo eixo da análise de componentes principais;

γ_{ik} e α_{jk} : são os k-ésimos autovetores dos n componentes principais de genótipos e ambientes retidos no modelo;

ρ_{ij} : é o resíduo associado ao termo multiplicativo GGE.

Yan e Tinker (2006) propuseram uma Relação de Informação (RI) para avaliar a adequação de um biplot em exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada, com “g” genótipos e “e” ambientes. A RI pode ser calculada para cada Componente Principal (CP), que é a proporção da variação total explicada por cada CP multiplicado por k . A interpretação é a seguinte: um CP com $RI > 1$ contém padrões (associações entre ambientes), e um CP com $RI < 1$ não contém qualquer padrão.

O biplot de dimensão 2 (CP1 vs CP2) representa adequadamente os padrões nos dados, se pelo menos um dos dois primeiros CPs tiver um $RI > 1$.

A análise GGE biplot foi realizada computacionalmente no ambiente R (R Development Core Team, 2014) a partir de um *script* (Anexo 1) que utiliza os pacotes do R *agricolae* (MENDIBURU, 2014) e *GGEBiplotGUI* (FRUTOS; GALINDO; LEIVA, 2014).

Durante a realização da análise no ambiente R, visando a geração dos gráficos biplot via pacote GGEBiplotGUI, selecionou-se o modelo: sem escalamento (*no scalling*); com G+GE centrado pelo testador (*tester-centered G+GE*), que corresponde ao modelo GGE; o método de particionamento por valor singular (SPV) do tipo preservação métrica por coluna (*column metric preserving*); e o tipo de biplot PC1 vs PC2, que mostra o primeiro contra o segundo componente principal.

Para efeito de melhor visualização e identificação no biplot, adotaram-se as seguintes siglas para identificação dos ambientes de avaliação: São João do Piauí/PI: SJPI, Campo Grande do Piauí/PI: CGPI, Parnaíba/PI: PAPI e Balsas/MA: BAMA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentrações de ferro e zinco

Foram realizadas análises individuais e conjuntas das concentrações de ferro e zinco no grão; no entanto, pela importância, serão mostrados neste trabalho apenas os resultados da análise conjunta.

5.1.1 Análises de variância conjunta

O resumo da análise de variância conjunta das concentrações de ferro e zinco no grão é apresentado na Tabela 10. Os genótipos diferiram significativamente (ferro: $p = 1\%$; zinco: $p = 0,02\%$) para as concentrações de ferro e zinco, indicando a existência de variabilidade para ambos os minerais e a possibilidade de seleção e melhoramento genético.

Tabela 10. Resumo das análises de variância conjunta das concentrações de ferro e zinco no grão de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio e probabilidade do Teste F			
		Ferro	p (>F)	Zinco	p (>F)
Blocos/ambientes	8	0,9575	0,0410*	0,3392	0,0133*
Genótipos (G)	11	7,8071	1,15e-12***	0,2740	<2,2e-16***
Ambientes (E)	3	0,4827	0,0932.	5,2307	0,0002***
GE	33	0,2498	0,6784	0,1815	0,0004***
Resíduo	44	0,2897		0,0749	
CV (%)		9,9361		5,8579	

p = probabilidade; código de significância: 0 “***” 0,001 “**” 0,01 “*” 0,05 “.” 0,1 “ ” 1.

Rocha et al. (2011a, b, c) e Dias et al. (2015a, b), avaliando genótipos de feijão-caupi, também relataram a existência de variabilidade genética para esses minerais. No entanto, a maioria desses estudos foi conduzida em um só ambiente, o que pode inflacionar as estimativas da variância genética em decorrência da interação G x A e diminuir os ganhos com a seleção.

Os ambientes também diferiram para ambos os minerais (ferro: $p = 1,15e^{-12}$, zinco: $p < 2,2e^{-16}$), evidenciando que os locais de teste foram contrastantes para esses minerais, sendo maior para a concentração de zinco. Contrastes entre ambientes para ambos os minerais também foram observados por Rocha et al. (2011b), ao avaliarem

a adaptabilidade e a estabilidade de oito genótipos de feijão-caupi em três ambientes das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

A interação G x A para a concentração de zinco foi altamente significativa ($p = 0,0004$), relativamente à concentração de ferro ($p = 0,6784$). Isso indica que os genótipos se comportaram diferencialmente para esses minerais, com os ambientes de teste. A interação G x A de baixa magnitude para a concentração de ferro sugere que os genótipos de forma geral apresentaram maior previsibilidade de comportamento para o ferro, relativamente ao zinco.

Comportamento diferencial de genótipos com os ambientes de avaliação para as concentrações de ferro e zinco também foram avaliados nos estudos conduzidos por Rocha et al. (2011b) e Rocha et al. (2009). No entanto, nesses trabalhos, a magnitude da interação GE foi maior para a concentração de ferro. Isso pode ocorrer, já que a interação GE é estritamente relativa ao grupo de genótipos e ambientes de teste.

5.1.2 Adaptabilidade e estabilidade via GGE Biplot

Segundo Hongyu et al. (2015), com a técnica da análise GGE biplot podem ser alcançados quatro principais objetivos para dados multi-ambientes (MET): 1) investigar o mega-ambiente para compreender o ambiente de destino; 2) avaliar os genótipos, 3) avaliar os ambientes de teste dentro de cada mega-ambiente e 4) compreender as causas da interação G x A.

5.1.2.1 GGE Biplot para a concentração de ferro

As médias das concentrações de ferro dos 12 genótipos de feijão-caupi obtidas nos quatro ambientes de teste são apresentadas na Tabela 11.

A análise de adaptabilidade e estabilidade da concentração de ferro com base na metodologia GGE Biplot é apresentada na Tabela 12 e nas Figuras 3, 4, 5 e 6. Observa-se que a ACP decompôs o efeito Genótipos + interação G x A (GGE) em quatro componentes principais, onde os dois primeiros, CP1 e CP2, explicaram, respectivamente, 56,34% e 22,44% da variação total, explorando 78,8% da variação GGE.

Tabela 11. Médias das concentrações de ferro no grão de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Genótipo	Ambiente ¹			
	SJPI	CGPI	PAPI	BAMA
G1	5,46	4,34	4,91	5,12
G2	5,47	4,30	5,25	5,16
G3	5,97	4,98	4,50	5,62
G4	5,68	4,84	5,41	5,08
G5	5,96	4,85	4,79	4,90
G6	5,45	4,60	5,17	4,68
G7	5,89	4,93	4,91	4,53
G8	5,74	5,01	4,80	4,89
G9	5,41	4,64	4,76	4,58
G10	6,48	4,58	5,08	5,36
G11	6,32	4,85	5,16	5,80
G12	5,56	4,42	4,75	5,00

¹SJPI – São João do Piauí/PI, CGPI – Campo Grande do Piauí/PI, PAPI – Parnaíba/PI, BAMA – Balsas/MA.

De acordo com a relação de informação (RI) dos quatro componentes principais para a concentração de ferro (Tabela 12), apenas o primeiro componente principal (CP1) contém padrão (RI > 1). Portanto o biplot é considerado adequado para representar o padrão dos dados. Resultado diferente foi observado por Hongyu (2015), que avaliando a produtividade de grãos de 15 genótipos de milho em quatro ambientes do Brasil, utilizou essa metodologia e encontrou padrão nos dois primeiros componentes principais.

A existência de padrão apenas no CP1 evidencia que, embora o teste F da análise conjunta tenha apontada como sendo a hipótese original (não existência de interação G x A) a mais verdadeira, a existência de padrão exibida pela ACP comprova que essa última foi mais sensível que a ANAVA em captar algum padrão de interação G x A, ou seja, que houve um diferencial de comportamento dos genótipos com os locais de teste, mesmo que de baixa magnitude, o que justifica a realização da análise GGE Biplot.

A variação explicada pelos dois primeiros eixos (78,78%) (Tabela 12) indica que a decomposição por valor singular dos efeitos da matriz GGE apresentou alta eficiência, contrariamente aos resultados obtidos por CARVALHO (2015), que utilizando essa metodologia para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de 20 genótipos de feijão-caupi em multiambientes no Brasil, os dois primeiros eixos explicaram apenas 35% da variação GGE.

Tabela 12. Proporção explicada e acumulada e a relação de informação (RI) dos quatro componentes principais (CPs), resultantes da análise de componentes principais, para a concentração de ferro no grão, obtidas a partir da avaliação de 12 genótipos de feijão-caupi em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

CP	Varição explicada (%)	Varição acumulada (%)	RI
1	56,34	56,34	2,25
2	22,44	78,78	0,89
3	14,35	93,13	0,57
4	6,87	100,00	0,27

Por outro lado, Olayiwola et al. (2015), avaliando a adaptabilidade e estabilidade produtiva de 7 genótipos de feijão-caupi na região Noroeste da Nigéria, via GGE Biplot, obtiveram alta eficiência desse método, com os dois primeiros componentes principais explicando 91% do total da variação GGE.

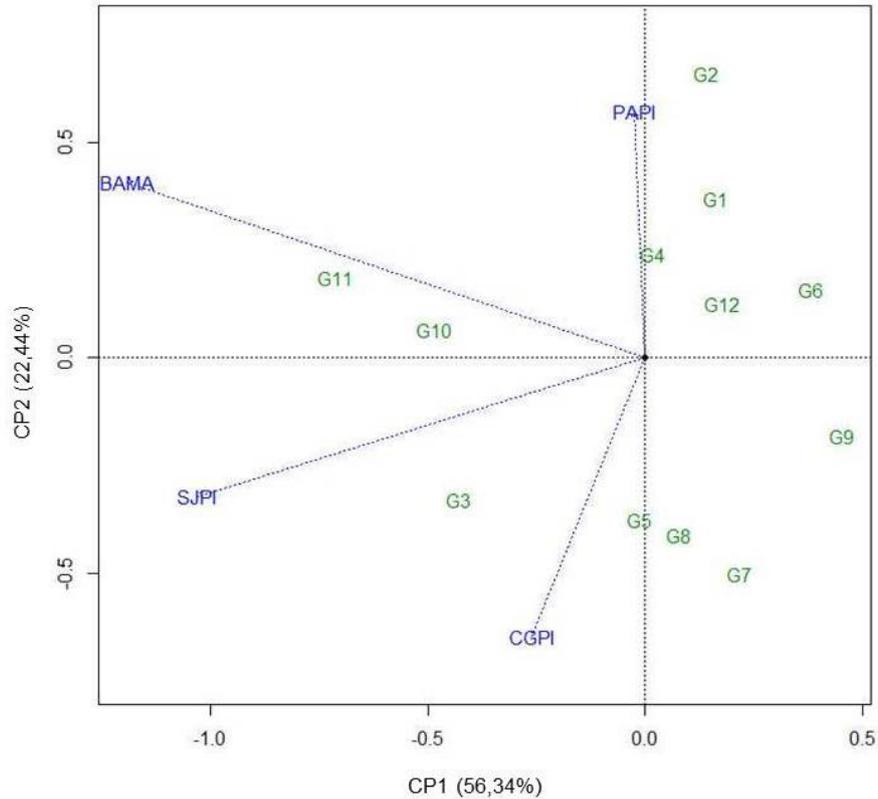
Os 12 genótipos foram rotulados de G1 a G12 e os quatro ambientes como SJPI (São João do Piauí/PI), CGPI (Campo Grande do Piauí/PI), PAPI (Parnaíba/PI) e BAMA (Balsas/MA). A Figura 3 pode ser utilizada para classificar os genótipos com base no desempenho em qualquer ambiente, bem como classificar ambientes sobre o desempenho relativo de qualquer genótipo.

A linha reta traçada da origem do biplot para a colocação de um ambiente ou genótipo é chamada de “vetor de ambiente” ou vetor de genótipo, de modo que a partir desses vetores, as interações específicas entre um genótipo e um ambiente (por exemplo, o desempenho de cada um dos genótipos em cada ambiente), possam ser visualizados.

A interpretação é a seguinte: desempenho de um genótipo em um ambiente é maior que a média, se o ângulo formado entre o seu vetor e o vetor do ambiente é $< 90^\circ$; é pior que a média, se o ângulo formado entre o seu vetor e o vetor do ambiente é $> 90^\circ$; e que está próximo da média, se o ângulo formado entre o seu vetor e o vetor do ambiente é aproximadamente igual a 90° (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011).

Os genótipos G6, G9 e G12 formaram ângulos obtusos com três dos quatro ambientes (Figura 3), significando que esses tiveram menor média de concentração de ferro na maioria dos ambientes. Essa informação pode ser confirmada na Tabela 11.

Figura 3. GGE Biplot para as concentrações de ferro de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.



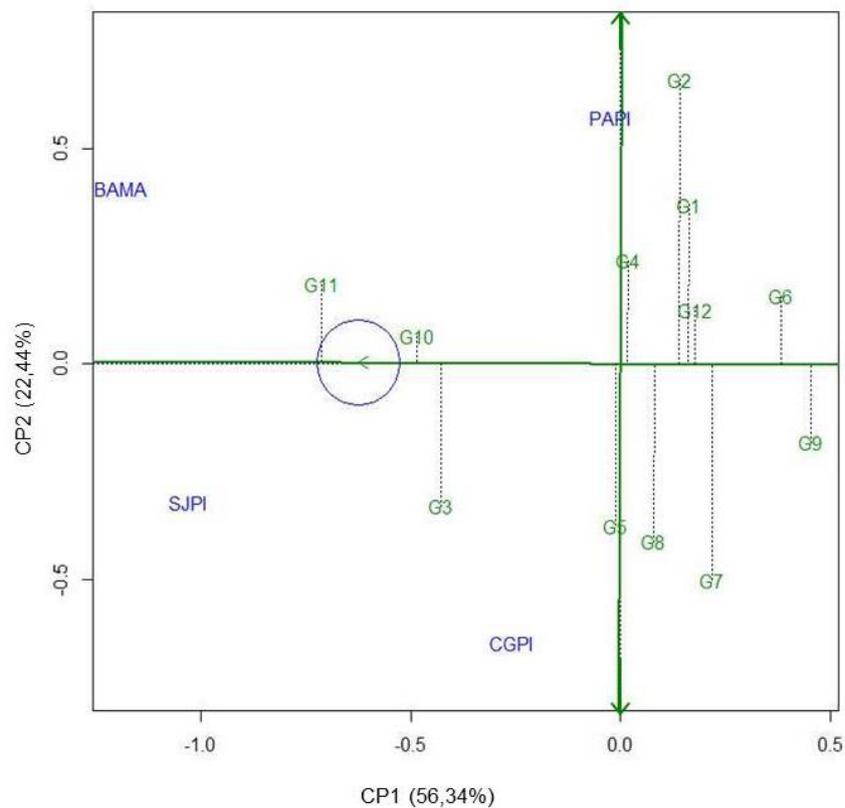
Por outro lado, os genótipos G10 e G11 formaram ângulo agudo com todos os ambientes, portanto, esse grupo de genótipos concentrou ferro no grão mais que a média em todos os ambientes. O genótipo G3 formou ângulo agudo com a maioria, concentrando também ferro no grão mais que a média em todos os ambientes, exceto em Parnaíba/PI.

Um “ideótipo” é uma forma ideal de genótipo para determinado ambiente e objetivo de cultivo, ou seja, é um genótipo que apresenta alto desempenho médio e alta estabilidade por meio de um mega-ambiente. A visualização do GGE2 biplot “média vs estabilidade” (Figura 4) é uma ferramenta eficaz para a avaliação de genótipos em ambos os aspectos (YAN et al., 2007; YAN, 2011).

O pequeno círculo representa o “ambiente médio” e é definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes de teste no biplot. A linha reta com uma única seta que passa pela origem do biplot e do ambiente médio é referido como o “eixo do ambiente médio” ou EAM. A seta aponta para um maior desempenho médio

para os genótipos em termos de concentração de ferro. A linha com duas setas que passa pela origem do biplot e é perpendicular ao EAM, as setas apontam para a maior variabilidade de desempenho (menor estabilidade) em ambas as direções (YAN, 2002; YAN, 2011).

Figura 4. Média vs Estabilidade da concentração de ferro, com o eixo do ambiente médio (EAM), resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.



Quanto maior é a projeção de um genótipo (linha verde pontilhada) em relação ao CP1 (linha verde contínua) menor é a sua estabilidade, e os genótipos são tão mais concentrados em ferro quanto maior for a distância em relação ao CP2, perpendicular ao primeiro (segunda linha verde contínua).

Assim, de acordo com a Figura 4, GGE “Média vs Estabilidade”, os genótipos apresentaram a seguinte ordem decrescente para a concentração de ferro: G11 > G10 > G3 > G5 > média geral > G4 > G8 > G2 > G1 > G12 > G7 > G6 > G9, destacando G11 - BRS Xiquexique (genótipo localizado após o ambiente médio) e, entre as linhagens, G10 - MNC04-762F-9. O G2 foi altamente instável (maior projeção em

relação ao EAM – linha verde pontilhada), pois apresentou concentração de ferro abaixo do esperado no ambiente PAPI. As maiores concentrações de ferro nos ambientes ocorreram em BAMA, SJPI e CGPI. Já o G10 apresentou concentração de ferro acima da média geral (segundo melhor) e foi o mais estável (menor projeção em relação ao EAM – linha verde pontilhada). Portanto, G10 foi o “genótipo ideal” para seleção e recomendação.

Segundo Yan e Tinker (2006) e Yan (2011), uma alta estabilidade só tem sentido quando associada ao desempenho médio, ou seja, o genótipo estável é desejado apenas quando apresenta alta performance média, no caso, alta concentração de ferro no grão. Nem sempre os genótipos mais estáveis são os de maior média, o que complica o trabalho do melhorista na seleção, desenvolvimento e recomendação de cultivares biofortificadas. Essas duas características, aliadas à alta produtividade de grãos, são importantes no processo de adoção e de amplitude de recomendação de cultivares biofortificadas, foco dos programas de biofortificação BioFORT e Harvestplus no Brasil (NUTTI et al., 2009).

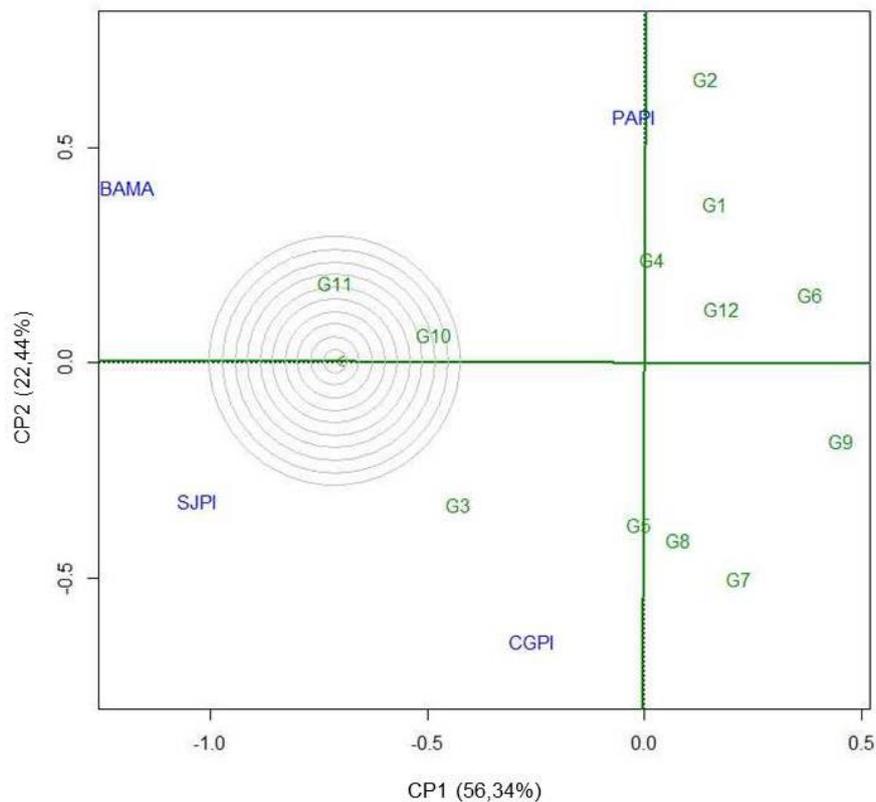
A Figura 5 apresenta mais claramente o “genótipo ideal”. Ele deve ocupar o centro dos círculos concêntricos sobre o EAM, no sentido da seta.

Um genótipo ideal, centro dos círculos concêntricos (Figura 5), pode ser um ponto sobre o EAM, no sentido positivo, e tem um comprimento do vetor igual aos vetores mais longos dos genótipos sobre o lado positivo do EAM, ou seja, a mais alta concentração média de ferro. Portanto, os genótipos localizados mais próximos do centro dos círculos concêntricos, ou do genótipo hipotético ideal, são mais desejáveis do que outros. Assim, G11- BRS Xiquexique foi o que se aproximou mais do genótipo ideal neste conjunto de dados, seguido por G10 - MNC04-762F-9, os únicos que se concentraram dentro dos círculos. O pior genótipo para recomendação em termos de concentração de ferro foi G9 - MNC04-792F-146, pois foi o que se apresentou mais distante do centro dos círculos concêntricos. G11 – BRS Xiquexique, portanto, foi o genótipo ideal nesse grupo de genótipos testados.

Esse resultado está coerente com os resultados de Rocha et al. (2011b), que avaliando um grupo de genótipos de feijão-caupi para a concentração de ferro em três ambientes (Arari-MA, Teresina-PI e Boa Vista-RR), também verificaram superioridade e estabilidade dessa cultivar para a concentração desse mineral. Em seguida os melhores genótipos foram G10 – MNC04-762F-9 e G3 – MNC04-774F-78. Os piores

genótipos (os mais distantes do centro dos círculos concêntricos) foram G9 – MNC04-792F-146 e G6 – MNC04-769F-45.

Figura 5. Concentração de ferro de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil em relação a um genótipo hipotético ideal, resultante da análise GGE2 Biplot, 2015.

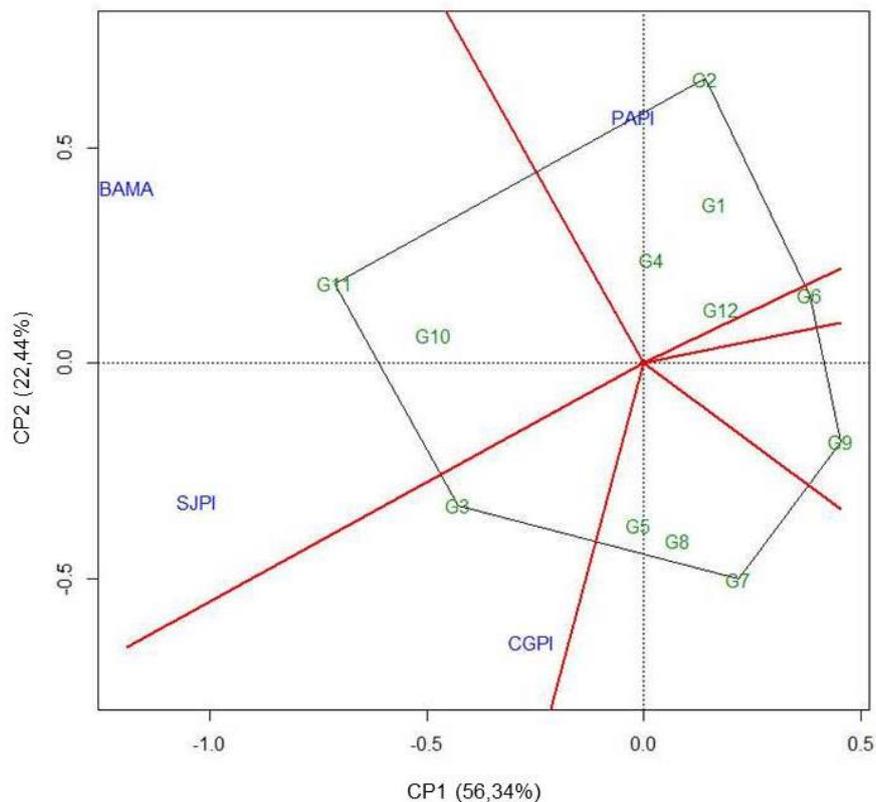


Um mega-ambiente é um grupo de ambientes ou sub-regiões em que um genótipo ou grupo de genótipos semelhantes são especificamente adaptados e tiveram melhor desempenho. O objetivo da análise de mega-ambiente é tentar dividir uma região de corte alvo, em sub-regiões significativas de modo que a interação G x A possa ser explorada (YAN; KANG, 2003; YAN; HOLLAND, 2010; YAN, 2011).

Quando o GGE biplot de dimensão 2 (CP1 e CP2) é julgado como uma aproximação suficiente dos dados (Tabela 12), o GGE Biplot mega-ambiente (Figura 6), também chamado de “Which-won-where”, é uma ferramenta eficaz para a análise de mega-ambientes. Ele permite o agrupamento visual dos ambientes de teste com base na interação G x A entre os melhores genótipos.

Os vértices do polígono foram formados pelos genótipos G11, G3, G7, G9, G6 e G2. Os quatro ambientes foram agrupados em três mega-ambientes pelas linhas que saíram da origem Biplot, quais sejam: (I) BAMA e SJPI; (II) PAPI; e (III) CGPI.

Figura 6. Mega-ambiente (“Which-won-where”) da concentração de ferro resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, resultante da análise GGE2 Biplot, 2015.



O genótipo G11 (BRS Xiquexique) é o vértice do mega-ambiente I em que os locais BAMA e SJPI foram alocados, portanto é o genótipo que teve melhor desempenho quanto à concentração de ferro neste ambiente, sendo mais adaptado a esses locais, seguido pelos genótipos G10. O G3 (MNC04-774F-78) é o vértice do mega-ambiente III em que o local CGPI foi colocado, logo, esse genótipo é mais adaptado para a concentração de ferro a este ambiente. O G2 é o vértice do mega-ambiente II em que o ambiente PAPI foi alocado, sendo esse o mais adaptado quanto à concentração de ferro, seguido pelos genótipos G1, G4 e G12.

Nos setores do polígono onde se encontram G5, G8, G7, G9 e G6, que não contêm ambientes, significa que estes genótipos não apresentam altas concentrações

de ferro em nenhum dos ambientes de teste, ou seja, estes genótipos foram os que concentraram menos ferro nos grãos em todos os ambientes.

5.1.2.2 GGE Biplot para a concentração de zinco

As médias das concentrações de zinco dos 12 genótipos de feijão-caupi obtidas nos quatro ambientes de teste são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13. Médias das concentrações de zinco no grão de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Genótipo	Ambiente ¹			
	SJPI	CGPI	PAPI	BAMA
G1	3,89	4,41	4,90	4,19
G2	3,93	4,30	5,26	4,17
G3	3,94	4,53	5,25	4,22
G4	3,79	4,37	4,88	4,30
G5	4,57	4,74	4,77	3,96
G6	4,19	4,38	4,94	4,02
G7	4,46	4,44	4,63	4,03
G8	3,95	4,65	4,91	3,99
G9	3,95	4,52	4,72	3,66
G10	4,07	4,24	4,47	4,42
G11	4,11	5,02	5,66	4,51
G12	4,16	4,48	4,76	4,59

¹SJPI – São João do Piauí/PI, CGPI – Campo Grande do Piauí/PI, PAPI – Parnaíba/PI, BAMA – Balsas/MA.

A análise de adaptabilidade e estabilidade da concentração de zinco com base na metodologia GGE Biplot é apresentada na Tabela 14 e nas Figuras 7, 8, 9 e 10. Observa-se que a ACP decompôs o efeito Genótipos + interação G x A (GGE) em quatro componentes principais, onde os dois primeiros, CP1 e CP2, explicaram, respectivamente, 56,34% e 22,44% da variação total explorando 78,8% da variação GGE.

De acordo com a relação de informação (RI) dos quatro componentes principais para a concentração de zinco (Tabela 14), apenas os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) contêm padrões (RI > 1). Portanto, o Biplot é considerado adequado para representar o padrão dos dados. Segundo Yan e Tinker (2006), o Biplot de dimensão 2 representa adequadamente os padrões nos dados, se apenas os dois primeiros PCs têm um RI ≥ 1.

Resultado similar foi observado por Hongyu (2015), que avaliando a produtividade de grãos de 15 genótipos de milho em quatro ambientes do Brasil, utilizou essa metodologia e também encontrou padrão nos dois primeiros componentes principais.

Tabela 14. Proporção explicada e acumulada e a relação de informação (RI) dos quatro componentes principais (CPs), resultantes da análise de componentes principais, para a concentração de zinco no grão, obtidas a partir da avaliação de 12 genótipos de feijão-caupi em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

CP	Variação explicada (%)	Variação acumulada (%)	RI
1	49,73	49,73	1,99
2	28,08	77,81	1,12
3	17,41	95,22	0,70
4	4,78	100,00	0,19

A existência de padrões nos dois primeiros PCs corrobora com os resultados do teste F da análise conjunta, que detectou diferença significativa para o efeito da interação G x A, evidenciando que os genótipos se comportaram diferencialmente com locais de teste, em magnitude maior que a concentração de ferro, o que justifica a realização da análise GGE Biplot.

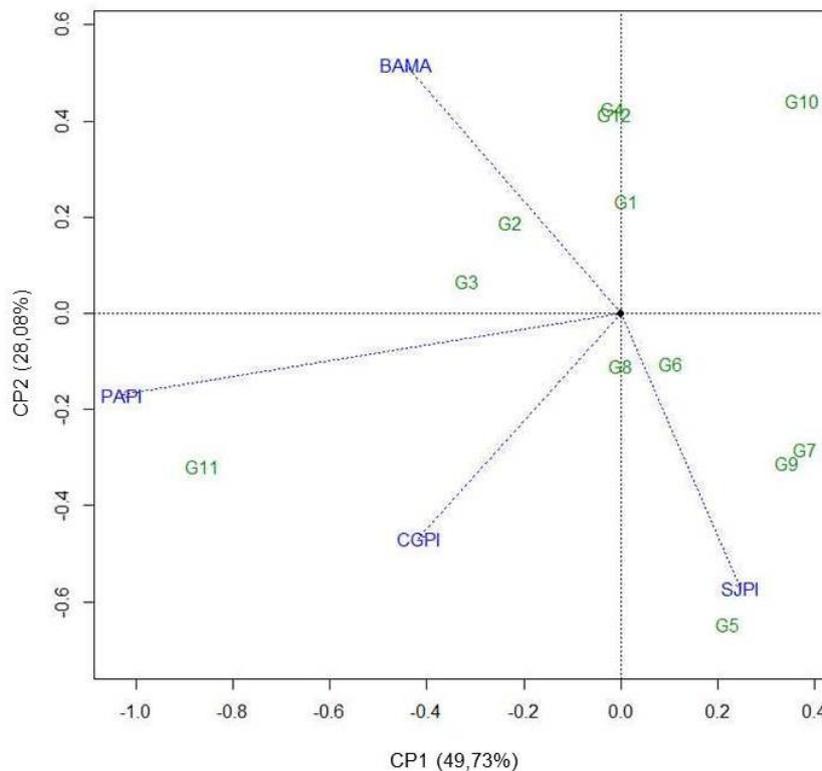
A variação explicada pelos dois primeiros eixos de 77,81% (Tabela 14) indica que a decomposição por valor singular dos efeitos da matriz GGE apresentou alta eficiência. Akande (2007), utilizando essa metodologia para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de nove genótipos de feijão-caupi em quatro locais da Nigéria Meridional, encontrou que os dois primeiros eixos da análise GGE biplot explicaram porcentagem similar à obtida nesta pesquisa (77,84%). Por outro lado, Aremu et al. (2008), avaliando a adaptabilidade e estabilidade produtiva de 18 genótipos de feijão-caupi nas savanas e florestas úmidas da Nigéria via GGE Biplot, obtiveram alta eficiência desse método, com os dois primeiros componentes principais explicando 94% do total da variação GGE.

A Figura 7 pode ser utilizada para classificar os genótipos com base no desempenho em qualquer ambiente, bem como classificar ambientes sobre o desempenho relativo de qualquer genótipo.

Os genótipos G1, G4, G10 e G12 formaram ângulos obtusos com três dos quatro ambientes, exceto BAMA, significando que esses tiveram menor média de

concentração de zinco na maioria dos ambientes. Essa informação pode ser confirmada na Tabela 13. Os genótipos G2, G3 e G8 formaram ângulo agudo com três dos quatro ambientes, exceto SJPI (G2 e G3) e BAMA (G8), portanto, esse grupo de genótipos concentrou zinco no grão mais que a média na maioria dos ambientes de teste.

Figura 7. GGE Biplot para as concentrações de zinco de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

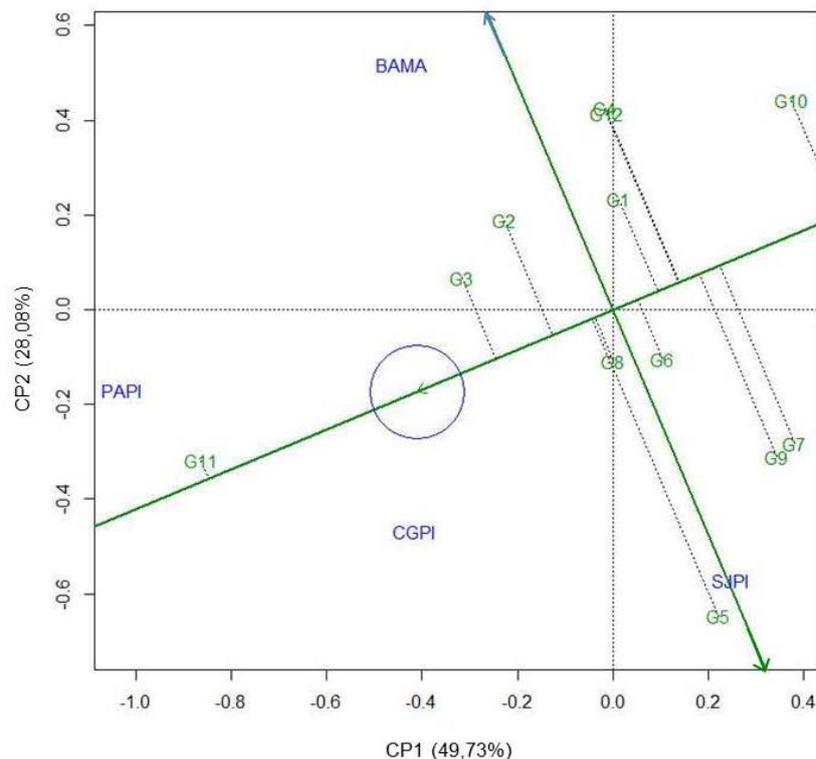


O genótipo G11 formou ângulo agudo com todos os ambientes, concentrando também zinco no grão mais que a média em todos os ambientes. Os demais genótipos apresentaram ângulos agudo e obtuso, respectivamente em dois ambientes cada, comportando-se quanto à concentração de zinco mais que a média em dois ambientes e em menos que a média nos outros dois ambientes, apresentando, portanto, adaptabilidade específica a esses ambientes.

De acordo com a Figura 8, GGE “Média vs Estabilidade”, os genótipos apresentaram a seguinte ordem decrescente para a concentração de zinco: G11 > média geral > G3 > G2 > G5 > G8 > G6 > G1 > G4 = G12 > G9 > G7 > G10, destacando G11 - BRS Xiquexique e a linhagem G3 - MNC04-762F-9, ambos os genótipos localizados mais próximos do ambiente médio.

Considerando apenas os genótipos acima da média da concentração de zinco foram mais estáveis (linha com duas setas perpendicular a EAM) em ordem decrescente: G11 > G8 > G3 > G2 > G5, conforme apresentado na Figura 8. O G5 foi altamente instável (maior projeção em relação ao EAM – linha verde pontilhada), pois apresentou concentração de zinco abaixo do esperado no ambiente SJPI, apresentando maiores concentrações de ferro nos ambientes PAPI e CGPI. Já o G11 (BRS Xiquexique) apresentou a maior concentração de zinco acima da média geral e foi o mais estável. Portanto, G11 foi o “genótipo ideal” para seleção e recomendação, seguido da linhagem G3 - MNC04-774F-78.

Figura 8. Média vs Estabilidade da concentração de zinco, com o eixo do ambiente médio (EAM), resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

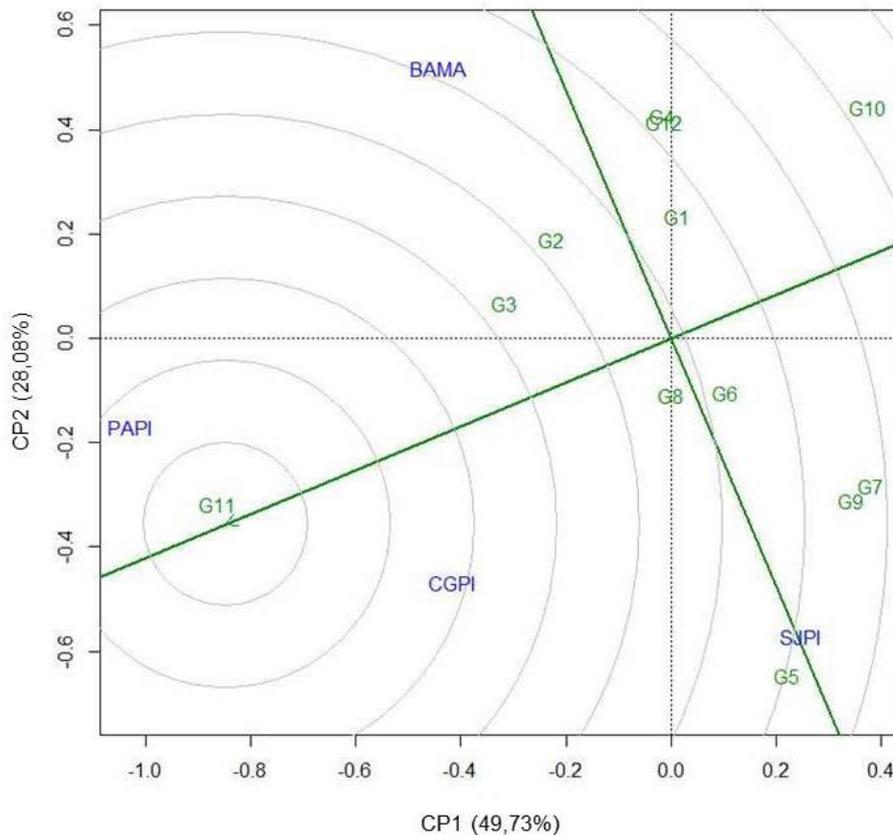


Os genótipos que estão localizados mais perto do centro dos círculos concêntricos são os mais desejáveis (Figura 9). Assim G11 foi o genótipo ideal para a concentração de zinco nos grãos, neste conjunto de dados, seguido por G3, G2 e G8.

Apesar de G3 e G2 apresentarem concentração de zinco bem superior a G8, foram menos estáveis que G8 de acordo com as Figuras 8 e 9. O pior genótipo para

recomendação foi G10, com maior distanciamento do centro dos círculos circunscritos, sendo o menos hábil em concentrar zinco no solo. Segundo Yan e Tinker (2006) e Yan (2011), o genótipo estável é desejado apenas quando apresenta alta performance média para a característica (Yan, Tinker, 2006; Yan, 2011). Dentre todos, o G11 é o único que reúne ao mesmo tempo genes para estabilidade e adaptabilidade.

Figura 9. Concentração de zinco de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil em relação a um genótipo hipotético ideal, resultante da análise GGE2 Biplot, 2015.

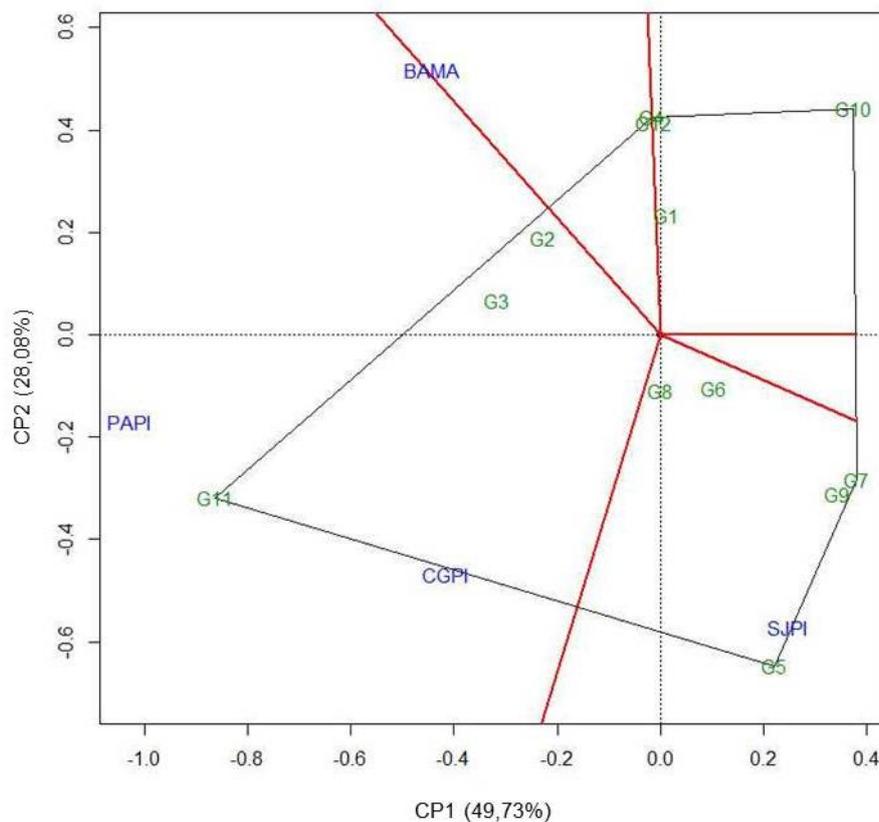


Os vértices do polígono são formados pelos genótipos G11, G5, G7, G10 e G4. Os quatro ambientes foram cortados em 2 mega-ambientes pelas linhas que saíram da origem do biplot, sendo classificados em dois grupos de ambientes: (I) CGPI, PAPI, BAMA, e (II) SJPI (Figura 10).

O genótipo G11 é o vértice do mega-ambiente I em que os ambientes PAPI, CGPI, BAMA foram colocados, portanto é o genótipo que teve melhor desempenho

neste mega-ambiente, logo, o mais adaptado neste grupo, seguido pelos genótipos G2 e G3 (Figura 10).

Figura 10. Mega-ambiente (“Which-won-where”) da concentração de zinco, resultante da análise GGE2 Biplot de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.



O G5 e G7 são vértices do mega-ambiente II em que o ambiente SJPI foi colocado, logo, esses genótipos são mais adaptados a este grupo. Nos setores onde se encontram G1, G4, G10 e G12, que não contêm ambientes, significa que estes genótipos não apresentam altas concentrações de zinco em nenhum dos ambientes de teste, ou seja, estes genótipos são os piores genótipos em relação a todos os ambientes.

Olayiola et al. (2015), avaliando a produtividade de sete genótipos de feijão-caupi em quatro ambientes do Sudoeste da Nigéria encontraram a formação de três mega-ambientes, maior do que o número obtido no presente trabalho, o que indica

que a diversidade ambiental observada para a característica em estudo pelos autores foi maior do que a encontrada neste trabalho.

5.2 Composição centesimal

A composição centesimal representa a proporção dos nutrientes que constituem os alimentos. Neste estudo foi avaliada a composição de grãos crus de 12 genótipos de feijão-caupi, com os valores de médias apresentados em base seca. Os resultados da análise centesimal encontram-se na Tabela 15.

A maior média geral para concentração de carboidratos foi obtida no ambiente de Campo Grande do Piauí com 65,71 g 100g⁻¹, enquanto que Parnaíba apresentou a menor concentração, com 61,07 g 100g⁻¹. Valores baixos de carboidratos podem ser um indicativo de que outros componentes, como a concentração de proteínas, podem estar em maior proporção nesse grão. Os resultados para carboidratos apresentaram baixo coeficiente de variação de 2,28%, indicando boa precisão experimental.

As proteínas juntamente com os carboidratos são os dois principais componentes em feijões secos (SATHE, 2002). Os estudos da composição dos grãos de vários genótipos de feijão-caupi confirmam que estes são nutrientes majoritários na constituição dos grãos.

As médias da concentração de proteínas variaram de 23,99 a 25,69 g 100g⁻¹. Vários estudos apresentam concentração de proteínas similares. Carvalho et al. (2012), avaliaram 30 genótipos de feijão-caupi e encontraram variação na concentração de proteínas de 17,4 a 27,7 g 100g⁻¹, Rios (2014), de 21,73 a 25,27 g 100g⁻¹ em um estudo com cinco cultivares de feijão-caupi e Freire Filho et al. (2011), de 21,5 a 26,8 g 100g⁻¹ em uma avaliação envolvendo oito cultivares modernas de feijão-caupi.

Rocha et al. (2011), avaliando linhagens de feijão-caupi, obtiveram comportamento para a concentração de proteínas muito similar, com variação de 20,38 a 24,94 g 100g⁻¹ em um estudo com linhagens de feijão-caupi tipo fradinho.

Estudos também mostram que os genótipos de feijão-caupi podem chegar a 30% de proteínas nos grãos, como os resultados apresentados por Silva et al. (2002), que encontram variação de 20,29 a 29,29 g 100 g⁻¹ e Rocha et al. (2008), que obtiveram variação de 20,1 a 28,3 g 100g⁻¹.

Tabela 15. Médias das concentrações de carboidratos, proteínas, lipídios, umidade e cinzas, em g 100g⁻¹ e VET em Kcal 100 g⁻¹ de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Código/cultivar	Carboidratos*	Proteínas*	Lipídios*	Umidade (%)	Cinzas (%)	VET
1-MNC04-769F-55	63,53±2,33 abc**	23,99 ± 1,16 c	3,06±1,35 a	5,78±0,81 a	3,29±0,23 ab	378,38±6,88 a
2-MNC04-782F-108	62,45±2,81 abc	25,05 ± 1,39 abc	3,33±1,52 a	5,72±0,86 a	3,32±0,50 ab	380,21±7,27 a
3-MNC04-774F-78	62,52±2,44 abc	24,65 ± 0,89 abc	3,38±1,58 a	5,75±0,79 a	3,41±0,32 a	379,86±7,77 a
4-MNC04-795F-158	62,12±2,74 abc	25,05 ± 1,25 abc	3,49±1,39 a	5,70±0,75 a	3,44±0,41 a	380,01±7,40 a
5-MNC04-774F-90	61,36±2,89 c	25,69 ± 1,67 a	3,57±0,89 a	5,83±0,87 a	3,43±0,37 a	379,50±2,55 a
6-MNC04-769F-45	62,24±2,46 abc	25,36 ± 1,34 ab	3,25±1,05 a	5,60±0,76 a	3,44±0,35 a	379,11±5,42 a
7-MNC04-769F-31	61,83±2,99 bc	25,40 ± 1,31 ab	3,66±2,09 a	5,63±0,84 a	3,43±0,32 a	381,07±9,58 a
8-MNC04-769F-26	62,56±3,32 abc	24,93 ± 1,15 abc	3,16±1,83 a	5,69±0,74 a	3,36±0,30 ab	378,92±9,76 a
9-MNC04-792F-146	63,47±1,52 abc	24,47 ± 1,17 bc	2,98±1,70 a	5,76±0,67 a	3,34±0,38 ab	378,05±9,77 a
10-MNC04-762F-9	63,70±1,81 abc	24,59 ± 1,24 abc	3,09±1,51 a	5,49±0,70 a	3,17±0,34 ab	380,81±9,03 a
11-BRS Xiquexique ^(T)	64,46±1,83 a	24,12 ± 1,23 c	2,65±0,91 a	5,50±0,66 a	3,35±0,39 ab	377,88±6,16 a
12-BRS Tumucumaque ^(T)	64,24±1,88 ab	24,43 ± 1,39 bc	2,54±1,30 a	5,56±0,68 a	3,25±0,25 ab	377,45±7,79 a
Média geral	62,87	24,81	3,18	5,67	3,35	379,27
CV (%)	2,28	3,49	34,47	6,01	4,8	1,51

*Valores de médias em base seca por g 100g⁻¹ de feijão-caupi, VET em Kcal 100 g⁻¹ de feijão-caupi e desvio-padrão.

**Médias com letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p≤0,05); (T) cultivares testemunhas.

Os teores de proteínas obtidos nesta pesquisa foram superiores aos analisados por Cavalcante (2015), que obteve variação para esse nutriente de 14,49 a 17,60 g 100g⁻¹, avaliando cinco cultivares de feijão-caupi, fato esse que pode ser explicado, devido ao fator de conversão de nitrogênio utilizado, que foi de 5,75 e no presente, adotou-se o fator de 6,25.

A média geral dos genótipos para a concentração de proteínas no grão foi 24,81 g 100g⁻¹, muito próxima da média obtida por Frota, Soares, Arêas (2008), em um estudo com o cultivar de feijão-caupi BRS Milênio, que foi de 24,5 g 100g⁻¹.

A linhagem MNC04-774F-90 apresentou maior média para a concentração de proteínas entre todos os genótipos avaliados, com 25,69 g 100g⁻¹. Essa linhagem apresentou valores superiores às cultivares biofortificadas BRS Xiquexique, com 24,12 g 100g⁻¹, e BRS Tumucumaque, com 24,43 g 100g⁻¹, diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) das testemunhas. O efeito da interação G x A para a concentração de proteínas foi não significativo, indicando que os genótipos não interagiram com os ambientes para essa característica. São João do Piauí apresentou a maior média por ambientes, com 25,74 g 100g⁻¹, enquanto que Parnaíba apresentou a menor concentração, com 23,60 g 100g⁻¹. Os resultados para proteínas apresentaram baixo coeficiente de variação de 3,49%, indicando boa precisão das análises.

Os genótipos de feijão-caupi não diferiram para a concentração de lipídios, evidenciando baixa variabilidade para essa característica no grupo de genótipos avaliados. A variação foi de 2,54 a 3,66 g 100g⁻¹, que está de acordo com Ramírez-Cárdenas (2006), o qual afirmou que os feijões apresentam um baixo conteúdo de lipídios em comparação com os outros macronutrientes. A média geral dos genótipos foi de 3,18 g 100g⁻¹. Esses resultados foram superiores aos de Cavalcante (2015), que encontrou uma variação de 1,32 a 2,10 g 100g⁻¹ em um estudo com cinco cultivares de feijão-caupi; e aos de Frota; Soares; Arêas (2008), em uma pesquisa com o cultivar de feijão-caupi BRS Milênio obtiveram uma concentração de 2,2 g 100g⁻¹.

Alguns estudos apresentaram variação para a concentração de lipídios que se aproximam das concentrações obtidas nesta pesquisa, como: Rios (2014), com variação de 1,53 a 2,90 g 100g⁻¹ em um estudo com cinco cultivares; Silva et al. (2002), com uma variação de 0,53 a 2,90 g 100g⁻¹; e Lima (2005), com variação de 2,18 a 2,56 g 100g⁻¹ em uma avaliação com três cultivares. Um estudo mostrou que os

lipídios podem alcançar valores próximos de 5%, como o encontrado por Iqbal et al. (2006), que obtiveram uma concentração de média de 4,8 g 100g⁻¹.

Os genótipos não diferiram entre si e nem interagiram com os ambientes para a concentração de lipídios. A linhagem MNC04-769F-31 apresentou maior valor de média 3,66 g 100g⁻¹ e a BRS Tumucumaque apresentou a menor média 2,54 g 100g⁻¹.

Observou-se uma alta dispersão para as concentrações de lipídios no grão. Parnaíba apresentou a maior média geral por ambientes para esse nutriente, com 4,29 g 100g⁻¹, enquanto que São João do Piauí apresentou a menor concentração, com 2,40 g 100g⁻¹. Essa característica apresentou um alto coeficiente de variação experimental (34,47%), que pode ser atribuído aos erros experimentais. A análise desse componente envolveu várias etapas e procedimentos, que podem ter acumulado erros. Em uma fase da pesquisa foram utilizados dois equipamentos de marcas diferentes para a extração dos lipídios, que podem ter variado quanto a eficiência da extração, e contribuído para a elevação do CV para esse nutriente.

A umidade é uma das medidas mais importantes em um alimento e está relacionada com a estabilidade, qualidade, e composição, afetando diretamente o tempo de estocagem dos grãos (CECHI, 2003). Os teores de umidade variaram de 5,49 a 5,83 g 100g⁻¹. Uma avaliação feita no cultivar de feijão-caupi BRS Milênio, por Frota; Soares; Arêas (2008), mostrou média de 6%, muito próxima às médias encontradas no presente trabalho.

A maioria dos estudos abaixo relatou teores de umidade superiores aos obtidos nesta pesquisa. Cavalcante (2015), obteve variação de 10,69 a 11,37 % em um estudo com cinco cultivares de feijão-caupi. Rios (2014), verificou 7,13; 10,33; 9,66; 10,28; 11,19 % para os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim, respectivamente. Barros (2014), obteve médias de 10,58; 9,70; 10,44; 10,21 % em um estudo com os cultivares BRS Milênio, BRS Aracê, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique, respectivamente. Silva et al. (2002), em um estudo envolvendo 45 genótipos encontraram variação de 9,74 a 13,93% e Freitas et al. (2011), obtiveram uma variação de 7,33 a 9,31%.

Os resultados compilados por Pinheiro (2013), apontam valores muito superiores aos obtidos neste trabalho, com uma variação de 12,91 a 16,52 %, representando em alguns resultados valores até três vezes maiores ao valor médio deste estudo.

Uma possível explicação para os genótipos de feijão-caupi do presente estudo apresentarem uma umidade muito baixa, é que as vagens com grãos após a colheita passam por um processo prévio de secagem ao sol, essas vagens podem ter sido expostas por um tempo excessivo ao calor, explicando assim teores de umidades muito baixos em comparação aos encontrados na maioria dos estudos. Outro fato relevante é que os grãos antes de serem moídos passam por uma lavagem e uma pré-secagem, que também retira umidade do grão.

A média geral dos genótipos para o teor de umidade foi de 5,67%. Os genótipos não diferiram estatisticamente entre si e nem interagiram com os ambientes para esse nutriente. A linhagem MNC04-774F-90 apresentou maior teor de umidade, com 5,83% e a linhagem MNC04-762F-9, menor umidade, com 5,49 %. Parnaíba apresentou maior média geral por ambiente, com uma média de 6,28 % e Campo Grande do Piauí, a menor média, com 4,93%. Os resultados de umidade apresentaram um baixo coeficiente de variação de 6,01%, indicativo de alta precisão experimental.

Os teores médios de cinzas variaram de 3,17 a 3,44 %. Concentrações dentro dessa mesma faixa foram verificados por Rios (2014), que obteve uma variação de 2,06 a 3,65 % em um estudo com os cultivares de feijão-caupi BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim. Silva (2002), avaliando 45 genótipos de feijão-caupi encontrou variação de 3,02 a 3,81%.

Valores de cinzas acima dos obtidos no atual estudo foram apresentados por Cavalcante (2015), com variação de 3,69 a 4,50 %, em um estudo com os cultivares BRS Marataoã, BR 17-Gurguéia, BRS Itaim, BRS Cauamé e BRS Guariba. Barros (2014), observou uma variação de 3,55 a 4,03 %. Pinheiro (2013), apresentou uma faixa de 4,09 a 4,5 % e Lima (2005), uma amplitude de 3,58 a 4,09 %. Valores abaixo dos resultados obtidos foram mostrados por Frota; Soares; Arêas (2008), com 2,6 % para o cultivar de feijão-caupi BRS Milênio.

O teor médio geral dos genótipos para cinzas foi 3,35 %. Os genótipos não diferiram entre si e não interagiram com os ambientes de teste para esse nutriente, indicando que os genótipos foram estáveis com os ambientes. A linhagem MNC04-795F-158 apresentou maior média de cinzas, com 3,44 % e a linhagem MNC04-762F-9 mostrou a menor média, com 3,17 %. São João do Piauí apresentou maior média geral por ambientes, com 3,71%, enquanto que Campo Grande do Piauí apresentou a menor média, com 2,93 %. Os resultados de cinzas apresentaram um baixo coeficiente de variação de 4,80%, denotando alta precisão experimental.

5.3 Valor energético total (VET)

O VET variou de 377,45 a 381,07 kcal 100g⁻¹. Vários estudos apresentaram valores próximos dos calculados na presente pesquisa. Rios (2014), observou uma variação de 352 a 365,4 kcal 100g⁻¹ em um estudo com os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim. Cavalcante (2015), encontrou variação de 388,6 a 395,66 kcal 100g⁻¹ em um estudo com os cultivares BRS Marataoã, BR 17-Gurguéia, BRS Itaim, BRS Cauamé e BRS Guariba. Dias-Barbosa (2015), obteve resultados na faixa de 359 a 380 kcal 100g⁻¹ para 31 linhagens e 2 cultivares biofortificados de feijão-caupi.

Os genótipos avaliados não diferiram estatisticamente entre si e a interação genótipos x ambientes não foi significativa para o VET, denotando uma alta previsibilidade dos genótipos com os ambientes de teste.

A linhagem MNC04-769-31 apresentou a maior média, com 381,07 kcal 100g⁻¹, enquanto a BRS Tumucumaque, a menor média, com 377,45 kcal 100g⁻¹. A média geral dos genótipos para VET foi 379,27 kcal 100g⁻¹. No estudo de Frota, Soares, Areas (2008), o cultivar BRS Milênio apresentou um valor médio mais baixo para o VET, 323,4 kcal 100g⁻¹.

A maior média geral por ambientes para a Vet foi obtida por Campo Grande do Piauí, com 383,99 kcal 100g⁻¹, enquanto que Balsas, a menor média, 375,09 Kcal 100g⁻¹. O VET apresentou um baixo coeficiente de variação de 1,51%, sugerindo uma alta precisão experimental.

5.4 Concentração de minerais

Para obter êxito na biofortificação de micronutrientes no feijão-caupi é necessário conhecer os comportamentos de expressão dos caracteres que estão sendo alvo nos vários locais ou regiões em que se deseja recomendar. Esse estudo avaliou Fe, Zn, Mn, Cu, K, Mg, Ca, P e Na para auxiliar a escolha de uma linhagem mais nutritiva quanto ao teor de minerais. Os resultados para os micronutrientes ferro, zinco, manganês e cobre são apresentados na Tabela 16.

As médias para a concentração de ferro variaram de 4,85 a 5,54 mg 100g⁻¹ (Tabela 16). Pesquisas recentes mostraram uma variação similar à encontrada neste estudo. Freire-Filho et al. (2011), estudaram oito cultivares de feijão-caupi e obtiveram uma variação de 4,88 a 7,74 mg 100g⁻¹. Pereira (2013), realizando uma caracterização de genótipos elite de feijão-caupi obteve uma variação de 3,85 a 5,53 mg 100g⁻¹. Rios (2014) obteve médias de 5,42; 6,56; 5,27; 4,48 e 5,40 mg 100g⁻¹, respectivamente, para os cultivares BRS Cauamé; BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim. Mais recentemente, Dias-Barbosa (2015), estudando 33 genótipos de feijão-caupi (linhagens e cultivares) verificou uma variação de 4,70 a 7,30 mg 100g⁻¹.

Alguns estudos apresentam valores de médias de ferro superiores aos encontrados no presente estudo. Frota; Soares; Arêas (2008), estudaram o BRS Milênio e o valor encontrado foi de 6,8 mg 100g⁻¹. Rocha et al. (2011 b), em estudo com cultivares observaram valores de 7,7; 6,06; 6,17 mg 100g⁻¹, respectivamente, nos cultivares BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê. Carvalho et al. (2012), observaram variação de ferro de 6,1 a 8,1 mg 100g⁻¹ em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi.

As médias para a concentração de ferro não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$). O cultivar biofortificada BRS Xiquexique apresentou a maior média, com 5,54 mg 100g⁻¹, e todas os genótipos testados tiveram comportamento semelhante ao das testemunhas para a concentração desse micronutriente.

O efeito da interação genótipos x ambientes para a concentração de ferro não foi significativo, indicando um comportamento similar dos genótipos com os ambientes para esse mineral.

Tabela 16. Médias das concentrações de ferro, zinco, manganês e cobre em 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Código/cultivar	Ferro	Zinco	Manganês	Cobre
1-MNC04-769F-55	4,96 ± 0,53 a*	4,35 ± 0,43 b	1,86±0,97 ab	0,44±0,14 a
2-MNC04-782F-108	5,05 ± 0,54 a	4,41 ± 0,59 b	1,93±0,84 ab	0,46±0,20 a
3-MNC04-774F-78	5,27 ± 0,97 a	4,49 ± 0,54ab	1,97±0,88 ab	0,43±0,20 a
4-MNC04-795F-158	5,25 ± 0,60 a	4,33 ± 0,43 b	1,92±0,80 ab	0,44±0,19 a
5-MNC04-774F-90	5,13 ± 0,65 a	4,51 ± 0,40ab	1,80±0,79 b	0,51±0,20 a
6-MNC04-769F-45	4,97 ± 0,60 a	4,38 ± 0,44 b	2,06±0,90 ab	0,49±0,20 a
7-MNC04-769F-31	5,06 ± 0,70 a	4,39 ± 0,32 b	1,95±0,77 ab	0,50±0,23 a
8-MNC04-769F-26	5,11 ± 0,63 a	4,38 ± 0,61 b	1,82±0,97 b	0,48±0,18 a
9-MNC04-792F-146	4,85 ± 0,48 a	4,24 ± 0,49 b	2,14±1,00 ab	0,51±0,22 a
10-MNC04-762F-9	5,37 ± 0,85 a	4,31 ± 0,27 b	2,09±1,05 ab	0,39±0,24 a
11-BRS Xiquexique ^(T)	5,54 ± 0,87 a	4,84 ± 0,63 a	2,18±1,02 a	0,43±0,31 a
12-BRS Tumucumaque ^(T)	4,93 ± 0,54 a	4,46 ± 0,37 b	2,03±0,87 ab	0,41±0,28 a
Média geral	5,13	4,43	1,98	0,46
CV (%)	9,94	5,86	12,68	25,74

*Médias com letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$);

(T) cultivares testemunhas; valores de médias em base seca por $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de feijão-caupi e desvio-padrão.

A média geral dos genótipos para ferro foi $5,13 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, resultado esse, similar ao encontrado por Dias-Barbosa (2015), que obteve média de $5,59 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ em um estudo envolvendo mais de 30 genótipos de feijão-caupi, enquanto Pereira (2013) obteve média inferior ao presente estudo, $4,62 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Rocha et al. (2011 a), estudando um grupo de genótipos de feijão-caupi, observaram uma média de $6,84 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Moura (2011), avaliando cruzamentos de feijão-caupi para biofortificação encontrou média de $7,42 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Carvalho et al. (2012), avaliaram cultivares de feijão-caupi e obtiveram média de $6,91 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

A maior média para a concentração de ferro por ambientes foi obtida por São João do Piauí, com $5,78 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, enquanto que Campo Grande do Piauí, a menor média, com $4,69 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. A concentração de ferro apresentou baixo coeficiente de variação (9,94%), indicando boa precisão experimental na análise desse mineral.

As médias de zinco variaram de $4,24$ a $4,84 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (Tabela 16). Valores de zinco similares foram observados nos estudos de Rios (2014), que obteve $4,13$; $4,16$; $4,72$; $3,17$; $5,14 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente para os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim. Dias-Barbosa (2015), encontrou uma variação de zinco de $3,53$ a $4,67 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

Iqbal et al. (2006), encontraram teor de zinco de $5,1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, resultado este superior aos deste estudo. Frota; Soares; Arêas (2008), avaliaram o BRS Milênio e obtiveram teor de zinco de $4,1 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Rocha et al. (2008), também apresentaram uma faixa mais ampla de resultados em estudo com 44 genótipos de feijão-caupi, de $3,037$ a $6,280 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Já Frota et al. (2010), avaliaram o cultivar BR 3-Tracuateua e obtiveram média de $3,74 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, inferior à obtida no presente estudo.

Freire-Filho et al. (2011), estudaram oito cultivares de feijão-caupi e observaram uma amplitude para zinco de $3,56$ a $5,37 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, maior que a deste estudo. Rocha et al. (2011 b), relataram valores para o teor de zinco de $5,3$; $5,16$; $4,86 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente nos cultivares BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê. Carvalho et al. (2012), observaram variação de zinco $2,7$ a $4,4 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ em um estudo de 30 genótipos de feijão-caupi. Pereira (2013), em um estudo de caracterização de genótipos elite de feijão-caupi obteve variação de zinco de $2,62$ a $4,24 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

As linhagens MNC04-774F-78 e MNC04-795F-158 mostraram comportamentos superiores para a concentração de zinco, igualando-se

estatisticamente ($p \leq 0,05$) a concentração do cultivar BRS Xiquexique, que apresentou a maior média.

O efeito da interação genótipos x ambientes para a concentração de zinco foi altamente significativo, indicando que os genótipos se comportaram diferencialmente com os ambientes de teste para esse mineral.

A média geral dos genótipos para zinco foi $4,43 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, superior aos valores de Dias-Barbosa (2015), que obteve média geral de $4,17 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, e Pereira (2013) que observou uma média de $3,21 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

Parnaíba apresentou a maior média geral para a concentração de zinco por ambientes, com $4,92 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, enquanto que São João do Piauí apresentou a menor média, com $4,09 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. A concentração de zinco apresentou baixo coeficiente de variação de 5,86%, sugerindo uma alta precisão experimental para esse mineral.

As médias para as concentrações de manganês variaram de 1,80 a $2,18 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (Tabela 16). De maneira geral, vários estudos mostraram uma semelhança de resultados com os do presente estudo. Iqbal et al. (2006), avaliando um grupo de genótipos na Nigéria, obtiveram média de $1,7 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para o teor de zinco. Assante et al. (2007), em outra avaliação de 30 genótipos de feijão-caupi na Nigéria, obtiveram variação de 1,00 a $5,75 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Frota et al. (2010), relataram média de zinco de $1,5 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para o cultivar BR3-Tracuateua.

Carvalho et al. (2012), observaram variação de manganês de 1,7 a $2,4 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi. Pereira (2013), em um estudo de caracterização de genótipos elite de feijão-caupi obteve variação para o teor de zinco de 0,57 a $2,02 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Rios (2014), obteve teores de manganês de 1,17; 1,54; 2,03; 1,49; $1,25 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente, para os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim.

O cultivar BRS Xiquexique apresentou maior média para o teor de manganês, com $2,18 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ e o melhor desempenho para esse mineral, diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) das linhagens MNC04-774F-90 e MNC04-769F-26, que apresentaram os menores teores para esse mineral, com 1,80 e $1,82 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente.

O efeito da interação genótipos x ambientes foi altamente significativo para o teor de manganês. A média geral dos genótipos para esse mineral foi de $1,98 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, menor do que a encontrada por Assante et al. (2007), que verificaram uma média de $2,28 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, e igual à média obtida por Carvalho et al. (2012), que

encontraram 1,98 mg 100g⁻¹. Pereira (2013), encontrou média de 1,05 mg 100g⁻¹, metade do teor encontrado neste estudo.

A maior média geral por ambientes para o teor de manganês foi obtida por Campo Grande do Piauí, com 3,25 mg 100g⁻¹, enquanto que Balsas, a menor média, com 1,11 mg 100g⁻¹. A concentração de manganês apresentou médio coeficiente de variação de 12,68%, indicando uma boa precisão experimental. Os valores das médias para as concentrações de cobre variaram de 0,39 a 0,51 mg 100g⁻¹. A mesma faixa de variação dos resultados deste estudo foi observada por Rios (2014), que obteve 0,40; 0,33; 0,43; 0,55; 0,59 mg 100g⁻¹, respectivamente, em um estudo com os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim.

Medeiros (2010), estudando 65 linhages F6 de feijão-caupi oriundas de cinco diferentes cruzamentos, obteve nos cruzamentos, respectivamente, as variações de 0,40 a 1,70 mg 100g⁻¹; 0,20 a 1,10 mg 100g⁻¹; 0,20 a 0,90 mg 100g⁻¹; 0,10 a 1,0 mg 100g⁻¹ e 0,10 a 0,70 mg 100g⁻¹. Observa-se que os valores menores da variação do estudo citado são comparáveis ao do presente estudo. Carvalho et al. (2012), observaram variação na concentração de cobre de 2,0 a 2,1 mg 100g⁻¹ em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi, sendo esses resultados três vezes maiores aos encontrados no atual estudo.

O efeito da interação genótipos x ambientes para a concentração de cobre não foi significativo, mostrando que os genótipos foram previsíveis com os ambientes para esse mineral.

As médias dos genótipos não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$) para a concentração de cobre. A média geral dos genótipos foi de 0,46 mg 100g⁻¹, média esta, inferior à obtida por Assante et al. (2007), em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi obtiveram variação de 0,33 a 1,23 mg 100g⁻¹ e média de 0,68 mg 100g⁻¹, e de Carvalho et al. (2012), que avaliando linhagens e cultivares de feijão-caupi relataram uma média de 2,08 mg 100g⁻¹.

A maior média geral para a concentração de cobre por ambientes foi obtida por Campo Grande do Piauí, com 0,66 mg 100g⁻¹, enquanto São João do Piauí, a menor média, com 0,23 mg 100g⁻¹. Esse mineral apresentou coeficiente de variação de 25,74%, indicando uma alta influência de fatores aleatórios quando da análise deste mineral.

Os valores das médias das concentrações de magnésio variaram de 186,96 a 202,63 mg 100g⁻¹ (Tabela 17). Concentrações muito baixas desse mineral em comparação com as obtidas neste trabalho foram apresentadas por Frota; Soares; Arêas (2008) para a cultivar BRS Milênio, que exibiu 47,20 mg 100g⁻¹. No estudo de Pereira (2013), sobre a caracterização de genótipos elite de feijão-caupi, ele obteve variação para esse mineral de 167,09 a 223,16 mg 100g⁻¹. Os resultados encontrados se correlacionam dentro dessa faixa de variação.

Concentrações de magnésio inferiores às obtidas no presente estudo foram encontradas por Rios (2014), que obteve 150,35; 167,17; 157,96, 128,26, 154,95 mg 100g⁻¹, respectivamente para os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim; e Carvalho et al. (2012), que observaram variação de 130 a 169 mg 100g⁻¹ em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi.

O efeito da interação genótipos x ambientes para a concentração de magnésio foi altamente significativo, indicando que esse mineral variou muito com os ambientes de teste.

As maiores médias de concentração de magnésio foram apresentadas pelas linhagens MNC04-769F-45, MNC04-762F-9 e pelo cultivar BRS Xiquexique, que tiveram o melhor desempenho, quando comparado aos demais genótipos, que foram similares estatisticamente ($p \leq 0,05$). A linhagem MNC04-769F-55 apresentou a menor concentração de magnésio, diferindo dos genótipos com melhor desempenho.

A média geral dos genótipos para esse mineral foi de 197,15 mg 100g⁻¹, valor este, bem próximo ao verificado por Pereira (2013), que obteve média de 190,21 mg 100g⁻¹. Carvalho et al. (2012), obtiveram médias gerais inferiores aos resultados do presente estudo de 145,73 mg 100g⁻¹.

Balsas apresentou maior média geral para a concentração de magnésio por ambientes, com 227,88 mg 100g⁻¹, enquanto que Campo Grande do Piauí, a menor média, com 175,78 mg 100g⁻¹. Esse mineral apresentou baixo coeficiente de variação experimental de 4,77%, denotando alta precisão experimental.

Tabela 17. Médias das concentrações de magnésio, cálcio, potássio, fósforo e sódio em 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Código/cultivar	Magnésio*	Cálcio*	Potássio*	Fósforo*	Sódio*
1-MNC04-769F-55	186,96 ± 16,87 b**	58,87 ± 27,80 a	1691,60±59,57 b	420,66±156,29 a	5,30±0,70 bcd
2-MNC04-782F-108	194,85 ± 26,60 ab	63,75 ± 24,09 a	1708,88±103,86 ab	424,69±158,57 a	4,62±0,89 d
3-MNC04-774F-78	196,84 ± 21,64 ab	60,33 ± 27,97 a	1742,57±81,18 ab	417,27±151,37 a	5,74±2,32 abc
4-MNC04-795F-158	195,70 ± 29,15 ab	46,86 ± 16,75 a	1762,40±93,14 a	432,71±154,83 a	6,01±1,75 ab
5-MNC04-774F-90	198,70 ± 30,73 ab	58,62 ± 23,02 a	1756,00±74,54 a	433,79±179,62 a	4,70±0,80 cd
6-MNC04-769F-45	202,61 ± 24,25 a	56,56 ± 24,15 a	1753,67±89,19 a	424,57±153,81 a	5,30±0,86 bcd
7-MNC04-769F-31	198,03 ± 22,52 ab	56,35 ± 27,81 a	1748,51±64,80 ab	424,81±151,44 a	4,92±0,56 cd
8-MNC04-769F-26	197,93 ± 28,55 ab	61,60 ± 30,87 a	1738,95±79,09 ab	430,57±162,01 a	6,75±2,80 a
9-MNC04-792F-146	193,09 ± 17,02 ab	60,24 ± 25,27 a	1723,84±74,00 ab	433,16±148,69 a	5,21±0,98 bcd
10-MNC04-762F-9	202,63 ± 23,44 a	56,19 ± 23,06 a	1623,06±86,69 ab	420,31±146,81 a	5,48±0,75 bcd
11-BRS Xiquexique ^(T)	202,09 ± 29,04 a	63,13 ± 26,75 a	1711,82±65,32 ab	409,42±163,56 a	4,99±0,91 bcd
12-BRS Tumucumaque ^(T)	196,31 ± 27,72 ab	51,67 ± 38,69 a	1629,67±61,94 ab	429,25±147,23 a	4,72±0,50 cd
Média geral	197,15	57,85	1715,91	425,1	5,31
CV (%)	4,77	23,30	2,53	7,72	14,39

*Valores de médias em base seca por mg 100g⁻¹ de feijão-caupi e desvio-padrão.

**Médias com letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferente pelo teste de Tukey (p≤0,05); (T) cultivares testemunhas.

As médias para as concentrações de cálcio variaram de 46,86 a 63,75 mg 100g⁻¹ (Tabela 17). Resultados semelhantes foram observados por Pereira (2013), em um estudo de caracterização de genótipos elite de feijão-caupi, que obteve variação na concentração de cálcio de 50,97 a 86,44 mg 100g⁻¹. Valores superiores foram verificados por Rios (2014), que obteve médias: 160,69; 143,83; 150,10; 140,81; 148,61 mg 100g⁻¹, respectivamente, para os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim. Frota; Soares; Areas (2008), avaliando o cultivar BRS Milênio, encontrou média de 140 mg 100g⁻¹. Outros estudos também mostraram concentrações de cálcio inferiores ao do presente estudo. Carvalho et al. (2012) observaram variação de cálcio entre 29 a 44 mg 100g⁻¹ em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi e Moreira-Araújo et al. (2006), encontraram no cultivar BR 3-Tracuateua um média de 36,8 mg 100g⁻¹.

O efeito da interação genótipos x ambientes não foi significativo para a concentração de cálcio, indicando que os genótipos apresentaram comportamento altamente previsível com os ambientes, para esse mineral.

As médias dos genótipos não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$) para a concentração de cálcio. A linhagem MNC04-782F-108 apresentou a maior média e a linhagem MNC04-795F-158, a menor média. A média geral dos genótipos foi de 57,85 mg 100g⁻¹, sendo esta, próxima à obtida por Pereira (2013), que obteve 68,79 mg 100g⁻¹. Já Carvalho et al. (2012), encontraram uma média menor, 35,57 mg 100g⁻¹ em comparação com a média geral deste estudo.

A maior média geral para a concentração de cálcio por ambientes foi obtida por Parnaíba, com 87,91 mg 100g⁻¹, enquanto Balsas/MA, a menor média, com 44,08 mg 100g⁻¹. Esse mineral apresentou coeficiente de variação de 23,30%, indicando que a precisão experimental foi baixa, similar ao mineral cobre.

Os valores das médias para as concentrações de potássio variaram de 1623,06 a 1762,40 mg 100g⁻¹ (Tabela 17). Carvalho et al. (2012) observaram variação de potássio de 957,00 a 1251 mg 100g⁻¹ em um estudo com 30 genótipos de feijão-caupi, enquanto Pereira (2013), caracterizou genótipos elite de feijão-caupi e obteve uma variação para esse mineral de 1010,55 a 1382,34 mg 100g⁻¹, variações estas, inferiores à encontrada no presente estudo.

Moreira-Araújo et al. (2006), observaram no cultivar BR 3-Tracuateua uma média de potássio de 1036,4 mg 100 g⁻¹. Iqbal et al. (2006), obtiveram concentração de 1280 mg 100 g⁻¹, valores esse também abaixo do encontrado no presente estudo.

Frota; Soares; Arêas (2008), obtiveram concentração desse mineral de 1430 mg 100 g⁻¹ no cultivar BRS Milênio, um dos resultados que mais se aproximou, porém abaixo dos resultados do atual estudo. Frota et al. (2008), em outra pesquisa com a cultivar BRS Milênio encontrou uma concentração média de potássio de 1036,40 mg 100 g⁻¹. Isso mostra que as condições ambientais podem influenciar de forma marcante as concentrações de potássio no grão.

O efeito da interação genótipos x ambientes não foi significativo para a concentração de potássio, indicando que os genótipos apresentaram comportamentos similares com os ambientes, para esse mineral.

As maiores concentrações de potássio foram apresentadas pelas linhagens MNC04-795F-158, MNC04-774F-90 e MNC04-769F-45, que não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$), mas diferiram da linhagem MNC04-769F-55, que apresentou menor média para esse mineral. A média geral dos genótipos para a concentração de potássio foi 1715,91 mg 100g⁻¹. Em todos os estudos usados como comparativo desta pesquisa, observaram-se concentrações médias de potássio inferiores aos do atual estudo. Pereira (2013), obteve média de 1217,29 mg 100g⁻¹ e Carvalho et al. (2012), média de 1107,03 mg 100 g⁻¹.

A maior concentração de potássio por ambientes foi obtida por Parnaíba, com 1756,59 mg 100g⁻¹, enquanto que Campo Grande do Piauí apresentou a menor média, com 1617,99 mg 100g⁻¹. A concentração de potássio apresentou baixo coeficiente de variação (2,53%), sugerindo uma alta precisão experimental na análise desse mineral.

As concentrações de fósforo variaram de 409,42 a 433,79 mg 100g⁻¹ (Tabela 17). Valores muito similares foram observados por Rios (2014) que obteve 414; 450,33; 434; 415,33; 421,33 mg 100g⁻¹ em análises realizadas com os cultivares BRS Cauamé, BRS Guariba, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim, respectivamente. Moreira-Araújo et al. (2006), verificaram média de 437,0 mg 100g⁻¹ para o cultivar BR 3-Tracuateua.

Frota; Soares; Arêas (2008), em avaliação do cultivar BRS Milênio observaram concentração de fósforo de 510 mg 100g⁻¹, valor este, maior que a variação obtida neste estudo. Valores inferiores de fósforo com média de 303 mg 100 g⁻¹ foram obtidos por Iqbal et al. (2006).

O efeito da interação genótipos x ambientes não foi significativo para a concentração fósforo, indicando que os genótipos apresentaram um comportamento altamente previsível com os ambientes para esse mineral.

As médias de fósforo dos genótipos não diferiram estatisticamente entre si. A linhagem MNC04-774F-90 apresentou a maior média e o cultivar BRS Xiquexique, a menor média. A média geral dos genótipos foi de 425,10 mg 100g⁻¹.

A maior média geral para a concentração de fósforo por ambientes foi obtida por São João do Piauí, com 592,15 mg 100g⁻¹, enquanto que Parnaíba, a menor média, com 273,91 mg 100g⁻¹. Esse mineral apresentou baixo coeficiente de variação de 7,72%, indicando alta precisão experimental.

A concentração de sódio variou de 4,62 a 6,75 mg 100g⁻¹ (Tabela 17). Medeiros (2010), em seu estudo com 65 linhagens F6 de feijão-caupi oriundas de cinco diferentes cruzamentos, obteve variações de 3,70 a 8,79 mg 100g⁻¹; 1,71 a 8,79 mg 100g⁻¹; 2,76 a 7,78 mg 100g⁻¹; 3,73 mg 100g⁻¹ a 7,78 mg 100g⁻¹ e 4,75 a 6,77 mg 100g⁻¹. Esses valores são muito semelhantes aos encontrados no presente estudo.

Outros estudos mostraram valores de médias maiores para a concentração de sódio. Carvalho et al. (2012), observaram variação de 8,4 a 17,7 mg 100g⁻¹ em um estudo de 30 genótipos de feijão-caupi e Assante (2007), encontrou uma variação de 6,82 a 14,27 mg 100g⁻¹. Frota; Soares; Arêas (2008), verificaram uma média de 204 mg 100g⁻¹, valor este, bastante elevado em comparação com todo o referencial bibliográfico comparativo deste estudo.

O efeito da interações genótipo x ambientes foi altamente significativo para a concentração de sódio, indicando um comportamento diferencial dos genótipos com os ambientes para esse mineral.

A linhagem MNC04-769F-26 apresentou a maior média para a concentração de sódio, diferindo ($p \leq 0,05$) da linhagem MNC04-782F-108, que apresentou a menor média para esse mineral. A média geral dos genótipos foi de 5,31 mg 100g⁻¹.

Medeiros (2010), obteve um valor médio de sódio de 5,62 mg 100g⁻¹, bastante similar ao encontrado nesta pesquisa. Carvalho et al. (2012), encontraram média de 12,49 mg 100g⁻¹ e Assante (2007), observou uma média de 10,93 mg 100g⁻¹. Esses estudos apresentaram duas vezes maior a média de sódio em comparação com os resultados do atual estudo.

Segundo Iqbal et al. (2006), diariamente uma grande quantidade de sódio é adicionado na alimentação na forma de cloreto de sódio e a concentração elevada de sódio não é apreciável no feijão-caupi.

Balsas apresentou maior média geral por ambientes para a concentração de sódio, com $6,24 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, enquanto que Parnaíba, a menor média, com $4,47 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Esse mineral apresentou médio coeficiente de variação de 14,38% (Tabela 18), indicando uma boa precisão experimental.

De maneira geral, a composição química dos grãos pode ser modificada em função dos genótipos, dos ambientes e da interação genótipos x ambientes, o que explica as variações obtidas nesse estudo, na composição centesimal, nas concentrações de minerais, no tempo de cocção e na produtividade de grãos dos genótipos avaliados.

A existência de variabilidade genética tem sido verificada para as características relacionadas com a qualidade nutricional do grão de feijão-caupi e por meio do melhoramento genético a concentração dos nutrientes de interesse nos genótipos tem sido aumentada (ARAÚJO et al., 2003; BURATTO et al., 2009; RIBEIRO, 2010; SILVA, 2011).

Os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S (também chamados de nutrientes principais) são absorvidos pela planta em maior proporção que os micronutrientes B, Zn, Cu, Fe, Mo, Cl e Mn (também chamados de elementos traço). Os macronutrientes e micronutrientes são constituintes dos minerais e da matéria orgânica do substrato onde a planta cresce e encontram-se também dissolvidos na solução do solo. Um ou vários nutrientes podem estar quase ausentes no solo ou em uma forma que as raízes não conseguem absorver. Para torná-los disponíveis, o solo deve ser bem manejado. Entretanto, quando os nutrientes estão ausentes é preciso repô-los (RONQUIN, 2010).

Quando se compara os resultados da análise química dos solos das áreas experimentais onde foram conduzidos os ensaios nos ambientes com as concentrações dos minerais estudados encontrados nos grãos, observa-se que o ambiente São João do Piauí apresentou a maior média por ambientes em relação à concentração de ferro (Tabela 18), apesar de apresentar a menor concentração desse mineral no solo. Campo Grande do Piauí apresentou a menor concentração de ferro nos grãos e a segunda menor concentração no solo.

Tabela 18. Relação das médias por ambientes e desvio padrão de São João do Piauí/PI, Campo Grande do Piauí/PI, Parnaíba/PI e Balsas/MA, 2015.

Parâmetro	São João do Piauí	Campo Grande	Parnaíba	Balsas
Carboidratos	62,72 ± 2,06	65,70 ± 1,46	61,07 ± 1,77	61,99 ± 1,98
Proteínas	25,74 ± 1,08	23,60 ± 1,08	24,63±1,10	25,27 ± 1,02
Lípidios	2,41 ± 1,46	3,13 ± 0,93	4,29 ± 1,11	2,88 ± 1,44
Umidade	5,22 ± 0,41	4,93 ± 0,33	6,29 ± 0,64	6,23 ± 0,29
Cinzas	3,72 ± 0,18	2,93 ± 0,24	3,24 ± 0,14	3,52 ± 0,16
VET	375,85 ± 6,77	383,99 ± 5,08	382,15 ± 5,91	375,09 ± 7,34
Tempo de cocção	12,83 ± 1,13	19,37 ± 3,03	19,16 ± 3,84	12,55 ± 1,18
Produtividade	1642,37 ± 495,06	863,03 ± 465, 13	1140,87 ± 515,18	1030,93 ± 474,04
Ferro	5,78 ± 0,54	4,69 ± 0,41	4,95 ± 0,45	5,06 ± 0,75
Zinco	4,09 ± 0,29	4,50 ± 0,28	4,93 ± 0,39	4,17 ± 0,40
Manganês	1,52 ± 0,23	3,25 ± 0,46	2,04 ± 0,42	1,11 ± 0,26
Cobre	0,23 ± 0,16	0,66 ± 0,17	0,42 ± 0,16	0,52 ± 0,11
Magnésio	204,85 ± 9,91	175,78 ± 11,87	180,07 ± 11,20	227,88 ± 17,36
Cálcio	48,16 ± 16,22	51,24 ± 17,24	87,91 ± 29,61	44,08 ± 10,02
Potássio	1750,66 ± 67,23	1617,99 ± 66,18	1756,59 ± 75,60	1738,40 ± 62,02
Fósforo	592,15 ± 45,27	286,74 ± 21,50	273,91 ± 26,96	547,60 ± 43,74
Sódio	5,30 ± 0,77	5,23 ± 0,75	4,47 ± 0,47	6,24 ± 2,31

A maior concentração de zinco no solo e a menor concentração no grão foi obtida em São João do Piauí e Parnaíba apresentou a maior concentração no grão, apesar de possuir aproximadamente 27% apenas da concentração em relação a São João do Piauí.

A maior concentração por ambientes de manganês no grão foi obtida por Campo Grande do Piauí (Tabela 18), fato não observado na concentração do solo, que apresentou apenas 14% da concentração observada em São João do Piauí, que foi a maior concentração entre os solos avaliados e a concentração no grão para esse local correspondeu a 50% menor que a concentração verificada no grão em Campo Grande do Piauí.

Para a concentração de cobre, houve uma aparente correlação entre a concentração no grão e no solo, onde em ambos se observou baixas concentrações desse mineral. Campo Grande do Piauí apresentou a maior concentração desse mineral nos grãos e a segunda concentração nos solos avaliados e São João do Piauí apresentou a menor concentração no grão e valor muito próximo da concentração máxima encontrada no solo de Balsas.

Com relação à concentração de cálcio, a maior concentração média observada por ambientes no grão foi em Parnaíba (Tabela 18), e no solo deste local, observou-se apenas 11% da maior concentração encontrada, que foi no solo de São João do Piauí.

A menor concentração de cálcio por ambientes foi observada em Balsas, que apresentou 24,5% da maior concentração observada nos solos.

Para a concentração de magnésio, o ambiente Balsas apresentou a maior média por ambientes no grão, e no solo apresentou apenas 18% da maior concentração desse mineral, que ocorreu em São João do Piauí, que obteve a segunda maior concentração no grão para esse mineral por ambientes.

A maior concentração de potássio por ambientes no grão foi obtida por Parnaíba, enquanto que apresentou a menor concentração no solo. São João do Piauí apresentou a maior concentração no solo e a segunda maior no grão por ambientes. São João do Piauí apresentou a maior média por ambientes desse mineral e maior dosagem no solo, e Parnaíba apresentou menor dosagem no solo e menor dosagem nos grãos, para esse mineral foi observado uma relação diretamente proporcional em relação a concentração do mineral no solo e o teor de mineral no grão.

No geral, neste estudo não se observou uma relação padrão entre a concentração dos minerais no solo e no grão, na maioria dos casos a proporção foi inversamente proporcional. Isso sugere que, nas condições naturais dos solos das áreas experimentais, sem o uso de adubação no cultivo, existe uma habilidade diferencial dos genótipos em absorver e translocar os minerais do solo, via raiz, até o grão (genética), onde os genótipos mais hábeis conseguem acumular mais micronutrientes no grão, mesmo sob baixas concentrações destes no solo. Em solos pobres, como os do semiárido piauiense, a seleção de genótipos e o desenvolvimento de cultivares biofortificadas com esse perfil genético é de suma importância para os agricultores e para o consumidor.

Alves (2014), avaliou o efeito da aplicação de zinco no solo e via foliar com os cultivares de feijão-caupi BRS Xiquexique (biofortificado) e BRS Guariba (não biofortificado) e encontrou que a primeira foi mais hábil em acumular esse mineral no grão e também respondeu linearmente à aplicação de zinco (biofortificação agrônômica).

Várias situações de gradientes na concentração de minerais no solo e no grão foram observadas e percebeu-se que existe uma relação complexa que envolve a genética da planta, um comportamento do genótipo em acumular mais mineral no grão, estado fisiológico da planta, gradientes de concentração dos minerais, concentração da matéria orgânica e as características físico-químicas no solo, que afetam o transporte de nutrientes do solo para planta e também a translocação destes dentro da planta da raiz até os grãos.

Uma possível explicação para os resultados apontados é a Lei do "Fator Mínimo" de Liebig. Segundo essa lei a substância mineral em menor concentração relativa determina o limite para o crescimento e rendimento. No entanto, o rendimento não é limitado somente por uma substância mineral. Para a planta atingir um metabolismo balanceado, uma alta produção de matéria seca e um desenvolvimento desimpedido, não somente os nutrientes principais e os elementos traço devem estar disponíveis em quantidades suficientes, mas também devem ser absorvidos em proporções balanceadas (RONQUIN, 2010).

O feijão-caupi é fonte de vários nutrientes essenciais para nutrição humana, dentro de uma dieta equilibrada e diversificada. Esse alimento contribui significativamente para uma alimentação de qualidade. A Tabela 19 mostra as médias dos nutrientes que foram avaliados neste estudo, a ingestão diária recomendada, a

concentração de nutrientes em 100g de feijão-caupi e o percentual de adequação da IDR de um indivíduo adulto sadio.

Tabela 19. Comparativo da Ingestão Diária Recomendada (IDR) com a oferta de nutrientes em 100g de feijão-caupi, porcentagem de adequação e classificação quanto a concentração de nutrientes, 2015.

Nutriente	IDR	100g de FC	PA (%)	Classificação
Carboidratos	300 g	62,87 g	20,96	Fonte
Proteínas	50 mg	24,81 g	49,62	Fonte
Lipídios	55 mg	3,18 g	5,78	Baixo
Ferro*	14 mg	5,13 mg	36,64	Fonte
Zinco**	7 mg	4,43 mg	63,29	Fonte
Manganês	2,3 mg	1,98 mg	86,09	Fonte
Cobre	0,9 mg	0,46 mg	51,11	Fonte
Magnésio	260 mg	197,15 mg	75,83	Fonte
Cálcio	1000 mg	57,85 mg	5,79	Baixo
Potássio	3500 mg	1715,91 mg	49,03	Fonte
Fósforo	700 mg	425,1 mg	60,73	Fonte
Sódio	≤2000mg	5,31 mg	0,27	Não contém

(*) 10% de biodisponibilidade; (**) Biodisponibilidade moderada; 100g de FC: Média em 100g de Feijão-caupi, 2015. PA (%): Percentual de adequação da IDR de um indivíduo adulto sadio.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária define valores diários de proteínas, vitaminas e minerais, carboidratos e lipídios a serem consumidos diariamente para atender às demandas nutricionais da maior parte dos indivíduos e grupos de pessoas de uma população sadia (BRASIL, 2003; BRASIL, 2005; BRASIL, 2012).

Os valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de nutrientes para um adulto foram comparados com os valores médios encontrados neste estudo em 100g de feijão-caupi e a porcentagem de atendimento e classificação quanto o quantitativo do teor ofertado.

Os resultados obtidos neste estudo confirmam o grande potencial nutricional dessa leguminosa. O feijão-caupi é uma boa fonte energética apresentando uma boa combinação de bons níveis de carboidratos e baixos níveis de lipídios, uma excelente fonte proteica e de fonte de minerais como ferro, zinco, manganês, cobre, magnésio, potássio, fósforo e baixo teor de sódio.

5.5 Tempo de cocção

O tempo de cocção dos grãos dos genótipos avaliados apresentou uma variação de 14'19" a 19'55", conforme mostra a Tabela 20.

Tabela 20. Médias do tempo de cocção de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

Código/cultivar	Tempo de cocção (minutos)
1-MNC04-769F-55	14'51" ± 3,28 bc*
2-MNC04-782F-108	16'18" ± 3,13 bc
3-MNC04-774F-78	16'28" ± 4,23 bc
4-MNC04-795F-158	14'19" ± 2,54 c
5-MNC04-774F-90	15'36" ± 3,00 bc
6-MNC04-769F-45	15'39" ± 3,45 bc
7-MNC04-769F-31	15'20" ± 3,63 bc
8-MNC04-769F-26	15'12" ± 3,50 bc
9-MNC04-792F-146	15'10" ± 3,73 bc
10-MNC04-762F-9	16'29" ± 4,35 bc
11-BRS Xiquexique ^(T)	19'55" ± 7,11 a
12-BRS Tumucumaque ^(T)	17'20" ± 4,97 a
Média geral	15'59"
CV (%)	11,77

(') minutos; (") segundos. * letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). (T) cultivares testemunhas.

Os estudos mais recentes mostram uma tendência que vem sendo mantida de diminuição do tempo de cocção nos cultivares lançados. Dias-Barbosa (2015), em sua avaliação encontrou uma variação de 15'32" a 29'24", com média geral de 20'73". Ceccon et al. (2011), estudando genótipos de feijão-caupi apresentou entre os dez melhores resultados, valores entre 13' a 23'. Pereira et al. (2014), observaram variação de 26' a 33', avaliando um grupo de genótipos de feijão-caupi.

Outros estudos quando comparados aos mais recentes mostram a progressiva diminuição dos tempos de cocção. Mashi (2006), estudou oito genótipos africanos de feijão-caupi e obteve variação de 28' a 46' e Lima et al. (2000), obtiveram variação de 44' a 60' em um estudo com quatro cultivares de feijão-caupi.

O programa de melhoramento genético da Embrapa Meio-Norte tem lançado cultivares que apresentam variação para o tempo de cocção de 13' a 23', com uma média de 18' (FREIRE FILHO et al., 2011), média esta, menor que a obtida no

presente estudo (15'59'') e muito semelhante aos valores obtidos por D'Albuquerque (2013), que observou variação de 13' a 20' e média de 16'.

A linhagem MNC04-795F-158 apresentou a menor média para tempo de cocção, com 14'19'', diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) dos cultivares BRS Xiquexique, com 19'55'', e BRS Tumucumaque, com 17'20'', que apresentaram valores maiores para o tempo de cocção. Todas as linhagens testadas mostraram-se superiores, com menor tempo de cocção do grão.

O efeito da interação genótipos x ambientes foi altamente significativo para o tempo de cocção, indicando que os genótipos apresentam um comportamento diferencial com os ambientes para esse parâmetro.

A menor média geral para o tempo de cocção por ambientes foi obtida por Balsas, com 12'32'', enquanto que Campo Grande do Piauí, a maior média, com 19'22''. O tempo de cocção do grão apresentou um baixo coeficiente de variação (11,77%), mostrando que houve uma boa precisão experimental na análise desse parâmetro.

Os resultados verificados do presente estudo indicam que as linhagens apresentaram cocção rápida e atendem a expectativa de grãos de cozimento rápido tendo um comportamento bastante promissor para essa característica.

5.6 Produtividade de grãos

Os programas de biofortificação de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte HarvestPlus e BioFORT tem como objetivo não só aumentar as concentrações de ferro e zinco, mas também desenvolver cultivares biofortificados com boas características agrônômicas e comerciais, principalmente resistência a pragas e doenças e alta produtividade e qualidade comercial/culinária do grão. Isso é essencial para que os agricultores adotem os cultivares biofortificados.

As médias de produtividade de grãos dos genótipos avaliados neste estudo são apresentadas na Tabela 21. Estas variaram de 1017,59 a 1448,89 kg ha⁻¹. A média geral dos genótipos para produtividade foi de 1169,29 kg ha⁻¹.

Vários estudos com linhagens e cultivares de feijão-caupi apresentaram valores médios de produtividade que ultrapassam 1000 kg ha⁻¹. Lopes et al. (2001), relataram 1049 kg ha⁻¹, Matos Filho (2006), com 1007 kg ha⁻¹; Bezerra et al. (2008), com

1705 kg ha⁻¹, Machado et al. (2008), com 1399,0 kg ha⁻¹ e Teixeira (2010), com 1307 kg ha⁻¹.

A produtividade de grãos apresentada por um determinado genótipo está diretamente relacionada com a genética da planta, com a interação genótipos x ambientes, bem como também com os manejos agrônômicos utilizados na cultura. Devido a isso, alguns estudos como o de Torres Filho et al. (2013), que avaliaram a produtividade de genótipos de feijão-caupi sob condições irrigadas e observaram médias de 428,30 e 2135,25 kg ha⁻¹, respectivamente para os cultivares BR 17-Gurguéia e BRS Xiquexique.

Tabela 21. Médias da produtividade de grãos de 12 genótipos de feijão-caupi avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015

Código/cultivar	Produtividade de grãos (Kg ha ⁻¹)
1-MNC04-769F-55	1104,18 ± 650,22 a*
2-MNC04-782F-108	1159,93 ± 492,53 a
3-MNC04-774F-78	1272,56 ± 591,63 a
4-MNC04-795F-158	1448,89 ± 778,43 a
5-MNC04-774F-90	1266,99 ± 550,25 a
6-MNC04-769F-45	1053,94 ± 570,22 a
7-MNC04-769F-31	1104,08 ± 470,35 a
8-MNC04-769F-26	1178,66 ± 516,97 a
9-MNC04-792F-146	1017,59 ± 367,04 a
10-MNC04-762F-9	1062,63 ± 596,48 a
11-BRS Xiquexique ^(T)	1331,35 ± 670,75 a
12-BRS Tumucumaque ^(T)	1030,69 ± 485,48 a
Média geral	1169,29
CV (%)	35,55

* Letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p≤0,05).
(T) cultivares testemunhas.

Uma alta produtividade revela uma provável adaptação do genótipo ao ambiente testado. Para o lançamento de um cultivar é necessário, além de testes em mais de um local, a avaliação desse genótipo em mais de um ano agrícola, pois as linhagens menos estáveis podem mudar sensivelmente a sua produtividade com a mudança do ano agrícola, como mostrou o estudo de Matoso (2013), esse autor avaliou 16 linhagens e quatro cultivares no ano de 2011 e encontrou uma variação de 856,4 a 1890,8 kg ha⁻¹ e média de 1433,9 kg ha⁻¹ e em 2012 encontrou uma variação de 288,5 a 992,5 kg ha⁻¹ e média de 678,1 kg ha⁻¹, avaliando os mesmos genótipos.

Percebe-se que no ano de 2011, os genótipos tiveram médias superiores e no ano 2012 os mesmos genótipos tiveram as médias inferiores. O efeito de anos agrícolas é marcante, onde fatores climáticos, como precipitações e temperaturas, ocorrem de forma imprevisível.

A linhagem MNC04-795F-158 apresentou a maior média de produtividade, com 1448,89 kg ha⁻¹ e a linhagem MNC04-792F-146, a menor média, com 1017,59 kg ha⁻¹. Os genótipos avaliados não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram um comportamento produtivo consistente com os locais de teste.

A maior produtividade de grãos por ambiente foi obtida por São João do Piauí com 11642,34 kg ha⁻¹, enquanto que Campo Grande do Piauí, a menor média, com 863,03 kg ha⁻¹.

A produtividade de grãos apresentou baixa precisão experimental (CV = 35,56%), no entanto essa variação observada é comparável a de outros estudos dessa natureza (BARROS et al., 2013; D'ALBUQUERQUE, 2013; TORRES, 2015). A produtividade é considerada uma das características quantitativas mais complexas, de controle poligênico e, portanto, altamente influenciada pelo ambiente.

6 CONCLUSÕES

As linhagens MNC04-795F-158, MNC04-774F-90, MNC04-769-45 e MNC04-769F-31 apresentaram melhor desempenho para as concentrações de cinzas e proteínas, e a MNC04-792F-146, boas combinações de baixa concentração de lipídios e altas concentrações de carboidratos e VET, apresentando comportamento semelhante às testemunhas.

A linhagem MNC04-774F-90 apresentou boas concentrações dos minerais fósforo, potássio e cobre; a linhagem MNC04-792F-146 as maiores concentrações de manganês e cobre; e as linhagens MNC04-795F-158 e MNC04-769F-26, destacaram-se em potássio e sódio; cultivar BRS Xiquexique e as linhagens MNC04-762F-9 e MNC04-774F-78 apresentaram as maiores concentrações de ferro e zinco no grão.

As linhagens apresentaram tempo de cocção entre 14 a 16 minutos, sendo consideradas de rápido cozimento e, portanto, adequadas para atender a demanda atual dos consumidores.

As linhagens apresentaram produtividades acima dos 1000 kg ha⁻¹, sendo MNC04-795F-158 a mais produtiva, mas todas foram semelhantes às cultivares testemunhas.

Parnaíba e Campo Grande do Piauí foram os ambientes mais representativos da região Meio-Norte para a seleção de ferro no grão, sendo o primeiro, o ambiente ideal para seleção de genótipos adaptado à alta concentração de zinco no grão.

A linhagem MNC04-774F-78 apresentou desempenho, combinando estabilidade com altas concentrações de ferro, zinco, proteínas, aliadas a uma excelente produtividade, podendo ser recomendada, como cultivar biofortificada em ferro e zinco, para a região Meio-Norte do Brasil.

REFERÊNCIAS

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

Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução RDC_nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC_269_2005.pdf/2e95553c-a482-45c3-bdd1-f96162d607b3. Acesso em 02 de maio de 2016.

AKANDE, S. R. Genotype by environment interaction for cowpea seed yield and disease reactions in the forest and derived savanna agro-ecologies of south-west Nigeria. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**. v. 2, p. 163-168, 2007.

AKANDE, S. R.; E BALOGUN, M. O. Multi-locational evaluation of cowpea grain yield and other reproductive characters in the forest and Southern Guinea Savanna agro-ecologies of Nigéria. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 8, n. 7, p. 526-533, 2009.

ALI, Y.; ASLAM, Z.; HUSSAIN, F.; SHAKUR, A. Genotype and environmental interaction in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) for yield and disease resistance. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 119-123, 2004.

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.

ALVES, S. J. F. **Biofortificação de arroz de terras altas e feijão-caupi com zinco**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ARAÚJO, R. et al. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.

AREMU C. O.; ADEBAYO, M. A.; ADENIJI, O. T. Seasonal performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) in humid tropics using GGE biplot analysis. **World Journal of Biological Research**, v.1, p.8-13, 2008.

ASANTE, K., ADU-DAPAAH, H., ACHEAMPONG, A. O. Determination of some mineral components of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) using instrumental neutron activation analysis. **West African Journal of Applied Ecology**, v. 11, p. 119-123, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16 ed. Arlington, USA, 2005.

BALARAJAN Y.; RAMAKRISNAN, U.; OZALTIN, E.; SHANKAR, A. H.; SUBRAMANIAN, S. V. Anaemia in low-income and middle-income countries. **The Lancet**, v. 378, p. 2123-2135, 2011.

BARROS, M. A., ROCHA, M. M., GOMES, R. L. F. DAMASCENO E SILVA, K. J., NEVES, A. C. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 403-410, 2013.

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

BATISTA FILHO, M.; RISSIN, A.A Transição nutricional no Brasil: tendências regionais e temporais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 1, S181-S191, 2003.

BEZERRA, A. A. C. et al. Morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 1, p. 85-92, 2008.

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

BLACK, R.E. Micronutrients in pregnancy. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 2, p. 193-197, 2001.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFRV, 2005. v. 1. 525 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento técnico do feijão. Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008**. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 de março de 2008, Seção 1, p. 11-14. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/INM00000012.pdf>. Acesso em 16 de mai. 2016.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº 31 de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento Técnico para fixação de identidade e qualidade de alimentos adicionados de nutrientes essenciais**. 2016. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso em 09 de fev. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. O Regulamento técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/1884970047457811857dd53fbc4c6735/> Acesso em 09 de fev. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a**

rotulagem nutricional. Disponível em:
http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/ec3966804ac02cf1962abfa337abae9d/Resolucao_RDC_n_360_de_23_de_dezembro_de_2003.pdf?MOD=AJPERES.
Acesso em 02 de mai. 2016.

BRASIL. Ministério da saúde. Agência Nacional de vigilância sanitária. **Resolução – RDC, nº 54, de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre informação nutricional complementar.** Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0054_12_11_2012.html. Acesso em 21 de nov. 2015.

BROWN, K.; WUEHLER, S.; PEERSO, N. J. The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency. **Food Nutrition Bull**, v. 22, p. 113-125, 2001.

BURATTO, J. S. et al. Variabilidade genética e efeito do ambiente para teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 593-597, 2009.

CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY (CIDA). United Call to Action. Investing in the future: A united call to action on vitamin and mineral deficiencies. Ottawa: CIDA. **Global Report**, 2009 p. 5. Disponível em: http://www.unitedcalltoaction.org/documents/Investing_in_the_future.pdf. Acesso em 13 mai. 2016.

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

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade de comportamento.** 1998. 168 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

CARVALHO, L. C. B. Potencial de cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi. 2011. 111 f. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento) –Universidade Federal do Piauí, Teresina.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1, p. 81-88, 2012.

CARVALHO, L. C. B. **Interpretação da interação genótipos x ambientes em feijão-caupi usando modelos multivariados, mistos e covariáveis ambientais**. 2015. 115 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CAVALCANTE, R. B. M. **Efeitos do processamento térmico no conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp)**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2.ed. Campinas: Editora UNICAMP, 2003. 207p.

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

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed.) **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 1183p.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Joint FAO/WHO Food standards programme codex alimentarius commission. Report of forty first session of the Codex Committee on food labeling. **Nutrient reference values requirements**. Disponível em http://www.codexalimentarius.org/input/download/report/806/REP13_FLe.pdf. Acesso em: 22 de julho de 2015.

COSTA, M. M. **Potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e caracteres agronômicos em feijão-caupi**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

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

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. Barueri: Editora Manole, 2007, p. 76-87.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 390 p.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

D'ALBUQUERQUE, C. L. C. **Adaptabilidade e estabilidade produtiva e características e tecnológicas de genótipos de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. 2013. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal, 2013.

DAMASCENO-SILVA, K. J. **Estatística da Produção de Feijão-Caupi**. Disponível em <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/estatistica.pdf>. Acesso em 10 ago. 2015.

DDAMULIRA, G.; SANTOS, C. A. F.; PETER OBUO, P.; ALANYO, M.; ANDLWANGA, C. K. Grain yield and protein content of brazilian cowpea genotypes under diverse ugandan environments. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 2074-2084, 2015.

DIAS-BARBOSA, C. Z. M. C. **Seleção de linhagens elite de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) para biofortificação de ferro e zinco e características físico-químicas do grão**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

DIAS-BARBOSA, C. Z. M. C., DAMASCENO-SILVA, K. J., OLIVEIRA, D. S. V., FRANCO, L. J. D., MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R., ROCHA, M. M. Ganho genético esperado com a seleção em linhagens elite de feijão-caupi de porte semiereto para as concentrações de ferro e zinco no grão expected genetic gain with semi erect elite lines selection for iron and zinc concentrations in the grain. In: **Anais...** da V Reunião de Biofortificação no Brasil, outubro de 2015, São Paulo. Embrapa, 2015a.

DIAS-BARBOSA, C. Z. M. C., DAMASCENO-SILVA, K. J., OLIVEIRA, D. S. V., FRANCO, L. J. D., MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R., ROCHA, M. M. Ganho genético esperado com a seleção em linhagens elite de feijão-caupi de porte semiprostrado para as concentrações de ferro e zinco no grão expected genetic gain with semi prostrate cowpea elite lines selection for iron and zinc concentrations in the grain. In: **Anais...** da V Reunião de Biofortificação no Brasil, outubro de 2015, São Paulo. Embrapa, 2015b.

DOYMAZ, I. Air drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1291-1297, 2007.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p.36-40, 1966.

Embrapa Meio-Norte. Circular técnica: Cultivo do feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Sistemas de Produção 2. Embrapa Meio Norte. ISSN 1678-8818 Versão Eletrônica. Jan/2003. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 10 ago. 2015.

Embrapa Solos UEP Recife. Levantamento Exploratório. Reconhecimento de solos do Estado do Piauí: Escala: 1:1. 000.000: Embrapa - 1986. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=ma>. Acessado em 20 de maio de 2016.

Embrapa Solos UEP Recife. Levantamento Exploratório. Reconhecimento de solos do Estado do Piauí: Escala: 1:1. 000.000: Embrapa - 1986. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pi>. Acessado em 20 de maio de 2016.

EZEAKU, IE, MBAH, BN, BAIYERI, KP. Multi-location evaluation of yield and yield components of grain cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grown in Southeastern Nigeria. **Agro-Science Journal**, v. 11, n. 3, 2012.

Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database - FAOSTAT. **Crops. Cowpeas** dry, 2014 year. FAO, 2015. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Acesso em 15 de mai. 2016. Fonte de mapas: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=ma> Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pi>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre**: balance de los desiguales progresos. Roma: FAO, FIDA y PMA, 2015.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Food-based approaches for improving diets and raising levels of nutrition**. Concept. Note. Roma: FAO, 2010.

FREIRE FILHO, F. R. RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K.J.D. e; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. **Feijão-caupi no Brasil: Produção, Melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina. Embrapa Meio Norte, 2011. 84p.

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M.J.; ARAÚJO, A.G. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 12, p. 1369-1372, 1983.

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

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de caupi enramador de tegumento mulato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 5, p. 591-598, 2003.

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

FREITAS, S.C.; SILVA, T. S.; CONTE, C.; SANTOS, J. O.; SIMAS, E. S.; SOUZA, P. S.; SILVA, C. S. C.; OLIVEIRA, J. M.; CARVALHO, J. L. V. Atuação do laboratório de físico-química e minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos no projeto de biofortificação. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. **Resumos...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011, p. 1-4.

FROTA, K. M. G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and l'ts protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 9, p. H235-H240, 2008.

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

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. walp.) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 44-50, 2010.

FRUTOS, E.; GALINDO, M. P.; LEIVA, V. An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 7, p. 1629-1641, 2014.

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials**: AMMI analysis of factorial designs. Amsterdam: Elsevier, 1992. 278p.

GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. **Crop Science**, v. 48, n. 3, p. 866-889, 2008.

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

GIAMI, S. Y. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 7, p. 665-673, 2005.

GUTIERREZ-URIBE, J.A.; ROMO-LOPEZ I.; SERNA-SALDIVAR, S.O. Phenolic composition and mammary cancer cell inhibition of extracts of whole cowpeas (*Vigna unguiculata*) and its anatomical parts. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 4, p. 290-297, 2011.

HONGYU, K. **Comparação do GGE Biplot-ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipos x ambiente**. 2015. 154 f. Tese (Doutorado

em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

HONGYU, K.; SILVA, F. S.; OLIVEIRA, A. C. S.; SARTI, D. A.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S. Comparison between AMMI models and GGE biplot for multi-environment trials. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 2, p. 139-155, 2015.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. **Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control**. International Zinc Nutrition Consultative Group. (Technical Document, 1). 2004. Disponível em: <http://izincg.org/files/izincgtechdocfnb2004.pdf>. Acesso em 13 mai. 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapa de biomas do Brasil, 2004**. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/biomas.pdf. Acesso em 12 de março de 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapa de solos do Brasil, 2001**. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf. Acesso em 12 de março de 2016.

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

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

KENNEDY, G., NANTEL, G., SHETTY, P. The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. **Food, Nutrition and Agriculture**, v. 32, p. 8-16, 2003.

LAVORANTI, O. J.; DIAS, C. T. S.; VENCOVSKY, R. Estudo da estabilidade e adaptabilidade fenotípica de progênies de *Eucalyptus grandis*, via metodologia AMMI.

Boletim de Pesquisa Florestal - Unidade Regional de Pesquisa Florestal, v. 44, n. 1, p. 107-124, 2002.

LEAL, M. J. B.; SIMPLÍCIO, A. P. M.; MORGANO, M. A.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J. Características físico-químicas de farinhas de duas cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.): BRS Tumucumaque e BRS Aracê. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3. 2013, Recife. Feijão-Caupi como alternativa sustentável para os sistemas produtivos familiares e empresariais. **Anais...**Recife: IPA, 2013. Embrapa Meio-Norte.

Levantamento Sistemático da produção Agrícola - LSPA. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – V. 29 n. 2 p.1-79, fevereiro. 2016 - Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_20160.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_20160.pdf) Acesso em: 08 de março de 2016.

Levantamento Sistemático da produção Agrícola - LSPA. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. v. 29 n. 12 p.1-88 dezembro, 2015. Disponível em:ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2015/lspa_201512.pdf. 2015b. Acesso 08 de março de 2016.

LIMA, D. E. S. **Influência do melhoramento genético convencional sobre os constituintes do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2005. 55 f. Dissertação (mestrado Nutrição) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

LIMA, L. N.; EMANUELLE, C. SILVA, C. L.; DINIZ, M. C.; OLIVEIRA M. R. T.; GADELHA, T. S. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.) submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivars x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 1, p. 193-198, 1988.

LOPES, A. C. A.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. B. Q.; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. M. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 515-20, 2001.

LOPES, A. M.; CRAVO, M. S.; SAMPAIO, L. S. Efeito da interação genótipo x ambiente no rendimento de grãos de feijão-caupi de porte ereto no estado do Pará. In: CONAC - CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1 e REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4, 2006, Teresina. **Anais...** (CD), Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

LOZOFF, B. Iron deficiency and child development. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 28, S560–S571, 2007.

MACHADO, C. F.; TEIXEIRA, N. J. P.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 114-123, 2008.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. KRAUSE. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 1355 p.

MAIA, F. M. M.; OLIVEIRA, J. T. A.; MATOS, M. R. T.; MOREIRA, R. A.; VASCONCELOS, I. M. Proximate composition, amino acid content and haemagglutinating and trypsin-inhibiting activities of some Brazilian *Vigna unguiculata*(L.) Walp cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 4, p. 453-458, 2000.

MANO, A. R. O. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijão-de-corda**. 2009. 145 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

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

MARQUES, M. C. **Adaptabilidade, estabilidade e diversidade genética de cultivares de soja em três épocas de semeadura, em Uberlândia - MG**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MASHI, D. S. **Genetic studies on seed coat texture and cooking time in some varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.)**. 2006, 131 f. Thesis (Doctor Science) – Faculty of Natural Sciences, Federal University of Technology, Yola, 2006.

MATOS-FILHO, C. H. A. **Análise genética de caracteres relacionados à arquitetura de planta em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2006. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2006.

MATOSO, A. O.; SORATTO, R. P.; ABRAHÃO, R. C.; TIRABASSI, L. H.; ROCHA, M. M. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e semiereto na safrinha em Botucatu-SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., Recife, 2013. **Anais...** Recife: IPA, 2013.

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloid-chemical and biochemical study. **Acta Agriculturae Suecana**, v. 2, p. 185-231, 1946.

MEDEIROS, A. G.; SANTOS, C. A. F.; NUNES, E. D.; DINIZ, L. S.; COSTA, S. R. Variabilidade para o teor de minerais em linhagens F6 de feijão caupi no Semiárido pernambucano In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 5., 2010, p. 80-85. Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Documentos, 228.).

MEENAKSHI, J. V.; JOHNSON, N.; MANYONG, V. M.; DE GROOTE, H.; JAVELOSA, J.; YANGGEN, D.; NAHER, F.; GONZALEZ, C.; GARCIA, J.; MENG, E. How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex-ante assessment. **World Development**, v. 38, n. 1, p. 64-75, 2010.

MELO, W. F.; SILVA, J. B. C.; GOMES, L. M.; MOITA, A. W.; AMARO, G. B.; FERNANDES, F. R.; NUTTI, M. R.; DUSI, A. N. Biofortificação no Brasil (BioFORT): avaliação preliminar de clones de batata-doce ricos em betacaroteno em duas épocas de plantio. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 5p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54480/1/2011-131.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

MENDIBURU, F. **Agricolae**: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-1. 2014.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MONTEIRO, P. O.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; FRANCO, L. J. D.; VIEIRA, E. C.; ROCHA, M. M. Potencial genético de um cruzamento de feijão-caupi para as concentrações de proteínas, ferro e zinco no grão cowpea crossing genetic potential for protein, iron and zinc concentrations in the grain. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5., 2015, São Paulo. **Palestras e Resumos... Brasília, DF:** Embrapa, 2015. Disponível em: [file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Temp/VReuniaode Biofortifi -cacao - Anaisvf2.pdf](file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Temp/VReuniaode%20Biofortifi%20-cacao%20-Anaisvf2.pdf). Acesso em: 03 de dezembro de 2015.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., Viços, 2009. **Resumos...**Viçosa: UFV, 2009. p. 299-312.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; FROTA, K. M.; MENESES, N. A.; MARTINS, L. S.; MORGANO, N. A. Teor de minerais de produtos elaborados com farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar BR 3 - Tracuateua. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI/REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI. 2006, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROOM.

MOURA, J. O. **Potencial de populações segregantes de feijão-caupi para biofortificação e produção de grãos**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

NG, N. Q.; MARÉCHAL, R. Cowpea taxonomy, origin germplasm. In: SINGH, SR.; RACHIE, K. O. (Ed). **Cowpea research, production and utilization**. Cheichester: Jonh Wiley and Sons, 1985. p. 11-21.

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

NUTTI, M.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes. In: SILVA, C. R. da et al. (Ed.). **Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006. Cap. 7, p. 43-47.. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geo_med7.pdf. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

OLAYIWOLA, M. O.; SOREMI, P. A. S.; OKELEYE, K. A. Evaluation of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. [Walp.]) genotypes for stability of performance over 4 years. **Current Research in Agricultural Sciences**, v. 2, n. 1, p. 22-30, 2015.

PADULOSI, S; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHANRAJ, D.R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.).

Advances in cowpea research. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12.

PEREIRA, E. J.; CARVALHO, L. M. J.; DELLAMORA-ORTIZ, G. M.; CARDOSO, F. S. N.; CARVALHO, J. L. V.; VIANA, D. S.; FREITAS, S. C.; ROCHA, M.M. Effects of cooking methods on the iron and zinc contents in cowpea (*Vigna unguiculata*) to combat nutritional deficiencies in Brazil. **Food & Nutrition Research**, v. 58, n. 20694, 2014.

PEREIRA, E. R. M. S. **Comparação de métodos no estudo da estabilidade fenotípica.** 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

PEREIRA, T. C.; SARON, M. L. G.; CARVALHO, W. A.; VILELA, M. M.; HOEHR, N. F.; RESSEL, G. Research on zinc blood levels and nutritional status in adolescents with autoimmune hepatitis. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 48, n. 1, p. 62-65, 2011.

PINHEIRO, E. M. **Caracterização química, poder antioxidante e efeito do cozimento de genótipos de feijão-caupi.** 2013. 55 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

RACHIE, K.O. Introduction. In: SINGH, S.H.; RACHE, K.O. **Cowpea, research, production and utilization.** Chichester: John Wiley. 1985. p. 21-28.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L. **Biodisponibilidade de zinco e ferro, valor nutricional e funcional de diferentes cultivares de feijão comum submetidos a tratamentos domésticos**. 2006. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RANGEL, A.; DOMONT, G. B.; PEDROSA, C.; FERREIRA, S. T. Functional properties of purified vicilins from cowpea (*Vigna unguiculata*) and pea (*Pisum sativum*). **Journal of Food Agricultural Chemistry**, v. 51, n. p. 5792-5797, 2003.

RIBEIRO, N. D.; ROSA, S. S.; JOST, E.; ROSA, D. P.; POERSCH, N. L.; MAZIERO, S. M. Genetics of phosphorus content in common bean seeds. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. 3, p. 250-256, 2011.

RIOS, M. J. B. **Caracterização de farinhas de cultivares comerciais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.)**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

ROCHA, M. de M. **O feijão-caupi para consumo na forma de feijão fresco**. 2009. Disponível em: <<http://agrosoft.com/pdf.php/?node=212374>>. Acesso em: dez. 2015.

ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. e; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, A. L. H.; FRANCO, L. J. D.; BASSINELO, P. Z.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de; SILVA, E. M. M. da; SALVADOR, L.. Biofortificação do feijão-caupi no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE INOVAÇÃO E CRIATIVIDADE NA EMBRAPA, 1., 2008, Brasília. **Resumos...** Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2008.

ROCHA, M. de M.; OLIVEIRA, de J. T. S.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; BARROS, F. R.; RODRIGUES, E. V. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi no semi-árido piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., Búzios, 2011, **Anais...**Búzios: SBMP, 2011.

ROCHA, M. de M.; OLIVEIRA, de J. T. S.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; BARROS, F. R.; RODRIGUES, E. V. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi no semi-árido piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, 2011, Búzios, **Anais...** Búzios: SBMP, 2011c.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; FILHO, J. B.; RAPOSO, J. A. A.; ALCÂNTARA, J. P.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p.1283-1289, 2007.

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

ROCHA, M.M et al., Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi para teores de ferro e zinco nos grãos. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4, 2011, **Anais...** Embrapa Agroindústria de Alimentos/Meio-Norte, Rio de Janeiro/Teresina, 2011b.

ROCHA, M.M. et al., Variabilidade genética de acessos de feijão-caupi para teores de ferro, zinco e proteínas nos grãos. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4, 2011, **Anais...** Embrapa Agroindústria de Alimentos/Meio-Norte, Rio de Janeiro/Teresina, 2011a.

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

ROMAÑA D.L.; OLIVARES, M.; BRITO, A. Prevalence of micronutrient deficiencies in Latin America and the Caribbean. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 36, n. 2, S95-S97, 2015.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 2010. 26p. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; ANDRADE, S. A. C.; LIVERA, A. V. S. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 525-530, 2005.

SANGHVI T., ROSS J., HEYMANN H. Why is reducing vitamin and mineral deficiencies critical for development? The links between VMD and survival, health, education and productivity. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 8, n. 1, S167–S173, 2007.

SANTOS, J. F.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A. Desempenho produtivo de cultivares de feijão-caupi no agreste paraibano. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., Recife, 2013. **Anais...Recife: IPA, 2013.**

SARNI, R. O.; MUNEKATA, R. V. Terapia nutricional na desnutrição energético-proteica grave. In: LOPEZ, F. A.; SIGULEM, D. M.; TADDEI, J. A. (ed.). **Fundamentos da terapia nutricional em pediatria**. São Paulo: Sarvier; 2002. p. 115-32.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 8.1. Cary, 2002. v.1, 890p.

SATHE, S. K. Dry bean protein functionally. **Critical reviews In Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.

SHOSHIMA, A.H.R.; TAVANO, O.L.; NEVES, V.A. Digestibilidade das proteínas do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) var. BR 14-Mulato: Efeito dos fatores antinutricionais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 4, p. 299–304, 2005.

SILVA R.R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v. 42, n.8, p.1404-1412, 2012.

SILVA, C. A. **Potencial de linhagens de feijão com relação aos teores de proteína e minerais nas sementes**. 2011. 95 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

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

SILVA, S. M. S.; MAIA, J. M.; ARAÚJO, Z. B.; FREIRE FILHO, F. R. **Composição química de 45 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2002. 3 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 149).

SILVA, S. Z. **Resistência e qualidade tecnológica de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) a *Colleobrachus maculatus***. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

SINGH, I.; BADAYA S. N.; TIKKA, S. B. S. Combining ability for yield over environments in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Indian Journal of Crop Science**, v. 1, p. 205-206, 2006.

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

STANLEY, D.W.; AGUILERA, J.M. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - the influence of structure and composition. **Journal of Food Biochemistry**, v. 9, p. 277-290, 1985.

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

STEVENS G.A.; FINUCANE M.M.; DE-REGIL, L. M.; PACIOREK, C.J.; FLAXMAN, S.R.; BRANCA, F.; PEÑA-ROSAS, J.P.; BHUTTA Z. A.; EZZATI, M. Global, regional, and national trends in haemoglobin concentration and prevalence of total and severe anaemia in children and pregnant and non-pregnant women for 1995-2011: a

systematic analysis of population-representative data. **The Lancet Global Health**, v. 1, n. 1, p 16-25, 2013.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; OLIVEIRA, J. P. R.; SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 300-307, 2010.

TORRES FILHO, J.; MONTEIRO, A. L.; NETO, J. S. S. S.; SILVEIRA, L. M.; ANTÔNIO, R. P.; JÚNIOR, A. P. B.; FILHO, A. J. R. S. Avaliação de genótipos de feijão-caupi prostrado e semi-prostrado em dois anos no município de Mossoró RN. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. **Feijão-Caupi como alternativa sustentável para os sistemas produtivos familiares e empresariais**. Recife: IPA, 2013. Embrapa Meio-Norte - Artigo em anais de congresso.

TORRES, M. H. R. M. **Progresso genético com base na seleção simultânea de caracteres em linhagens elite de feijão-caupi**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

TRETHOWAN, R.M.; PEÑA, R.J.; VAN GINKEL, M. The effect of indirect test grain quality on the grain yield and industrial quality of bread wheat. **Plant Breeding**, v. 120, n. 6, p. 509-512, 2001.

UNICEF. The State of the World's Children, UNICEF states that 536,000 women die annually from causes related to pregnancy and child birth and that 25% of maternal death sare caused by haemorrhage.). 2009, p. 5-51.

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

VELLOZO, E. P.; FISBERG, M. A. contribuição dos alimentos fortificados na prevenção da anemia ferropriva. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 32, n. 2, p. 140-147, 2010.

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

WALKER, C. F. et al. Interactive effects of iron and zinc on biochemical and functional outcomes in supplementation trials American Journal of Clinical Nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 82, n. 1, p. 5-12, 2005.

WALKER, S. P., WACHS, T. D., GARDNER, J. M. , LOZOFF, B., WASSERMAN, G., POLLITT, E., CARTER, J.A. Child development: risk factors for adverse out comes in developing countries. **The Lancet**, v. 369, n. 9556, p. 145-157, 2007.

WATT, B.; MERRILL, A.L. **Composition of foods**: raw, processed, prepared. Washington: Agricultural Research Service, 1963. 198p. (Agriculture Handbook, 8)

WESSELLS, K.R.; BROWN, K.H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. **PLoS ONE**, v. 7, n. 11, p. 1-11, 2012.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, n. 12, p. 586-593, 2005.

WHO/UNICEF/UNU. **Iron deficiency anaemia assessment, prevention and control: a guide for programme managers**. Geneva: World Health Organization, 2001. Disponível em: http://www.who.int/nutrition/publications/en/ida_assessment_prevention_control.pdf. Acesso em 21 Jun. 2015.

WOOLEY, J. N. A **Survey of the distribution and production of cowpea and prospects for the crop in Central America and the Caribbean**. México: CIMMYT, 1980. 139p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guideline: use of multiple micronutrient powders for home fortification of foods consumed by infants and children 6-23 months of age.** Geneva, WHO, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Investing in the future: A united call to action on vitamin and mineral deficiencies.** Global Report 2009 p. 1. Geneva, WHO, 2009. Disponível em: <http://www.unitedcalltoaction.org>. Acesso em 21 abr. 2016.

YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the India Society of Agricultural Statistics**, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

YAN, W. Singular-value partition for biplot analysis of multi-environment trial data. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 5, p. 990-996, 2002.

YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on GGE biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists.** Boca Raton: CRC Press, 2003. 271p.

YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643-653, 2007.

YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, v. 171, n. 3, p. 355-369, 2010.

YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.

YATES, F. S.; COCHRAN, W. G. The analysis of groups of experiments. **Journal of Agricultural Science**, v. 28, p. 556-580, 1938.

YOUSAF, A.; SARWAR, G. Genotypic x environmental interaction of cowpea genotypes. **International Journal of Environmental Research**, v. 2, n. 2, p-125-132, 2008.

ZANCUL, Mariana de Senzi. Fortificação de alimentos com ferro e vitamina A. **Revista de Medicina de Ribeirão Preto**, v. 37, n. 4, p. 45-50, 2004.

ZIA-UL-HAQ, M.; AHMAD, S.; CHIAVARO, E.; MEHJABEEN AND SAGHEER AHMED. Studies of oil from cowpea (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars commonly grown in Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 2, p. 1333-1341, 2010.

ANEXO

Anexo 1. *Script* do ambiente R utilizado para a realização das análises de adaptabilidade e estabilidade das concentrações de ferro e zinco de 12 genótipos de feijão-caupi, avaliados em quatro ambientes da região Meio-Norte do Brasil, 2015.

```
#Lendo os dados e ajustando a estrutura do data frame para dados de repetições
dir()
dados<-read.table("Diretório:/Nome do arquivo.txt", h=T)
head(dados)
str(dados)
dados$AMB<-as.factor(dados$AMB)
dados$BLOC<-as.factor(dados$BLOC)
dados$GEN<-as.factor(dados$GEN)
str(dados)
summary(dados)

#anovas para cada trait
saidas<-list()

for(i in 4:ncol(dados)){
  saidas[[i]]<-anova(aov(dados[,i]~BLOC+AMB+GEN+AMB:GEN, data = dados))
}

saidas

#####
#preparando tabelas de dupla entrada - gxa
gge.fe<-tapply(dados$Fe, list(dados$GEN, dados$AMB), mean)
gge.zn<-tapply(dados$Zn, list(dados$GEN, dados$AMB), mean)

#####
#analises GGE-Biplot

install.packages("GGEBiplotGUI")
library(GGEBiplotGUI)

#análise para teor de fe
GGEBiplot(gge.fe)

#note que abra uma janela na barra inferior da janela com as opções do GGe-biplot

#análise para teor de zn
GGEBiplot(gge.zn)
```