

Análises genéticas para seis minerais em dois cruzamentos de feijão caupi

Carlos Antonio Fernandes Santos¹; Danielle Carolina Campos da Costa²; Samila Samea da Silva Souza²; Layana Alves do Nascimento²

¹ Embrapa Semiárido. CP 23, 56302-970 Petrolina – PE. Email: casantos@cpatsa.embrapa.br. ²Bolsista PIBIC CNPq/Embrapa Semiárido. CP 23, 56302-970 Petrolina- PE. E-mails: daniellectarolina_58@hotmail.com, samila_upe@hotmail.com, layana_alves@hotmail.com

RESUMO

Parâmetros genéticos, herdabilidades e número mínimo de genes foram estimados para os minerais cálcio, zinco, ferro, fósforo, potássio e sódio em duas populações de feijão caupi, usando medias e variâncias dos parentais, F1s, F2s, BC1s e BC2s de dois cruzamentos de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), para auxiliar no desenvolvimento de cultivares com altos teores de minerais. Valores transgressivos superiores a um dos parentais foram observados na F2 para todos os minerais avaliados, exceto sódio no cruzamento IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum. Herdabilidades amplas e restritas apresentaram valores próximos para fósforo, potássio e sódio, enquanto algumas discrepâncias foram observadas para os outros minerais analisados nos dois cruzamentos. Os maiores valores das herdabilidades restrita e ampla foram observados para ferro, fósforo e potássio. As estimativas do número de genes foram próximas para todos os minerais analisados, exceto cálcio. As estimativas indicaram a presença de poucos genes controlando os minerais analisados, mesmo para cálcio. Efeitos aditivos importantes foram observados para ferro, fósforo e potássio, sendo que efeitos devido às interações epistáticas foram importantes para zinco e sódio. Esses dados sugerem que os teores dos minerais analisados podem ser aumentados de forma relativamente simples, aplicando-se métodos padrões de melhoramento de plantas autógamas.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*, parâmetros genéticos, número de genes.

ABSTRACT

Genetic analyzes of six minerals in two cowpea crosses

Genetic parameters, heritabilities and minimum number of genes were estimated for Calcium, Zinc, Iron, Phosphorus, Potassium and Sodium mineral contents using generation mean and variance analyzes of parent1, parent2, F1s, F2s, BC1s and BC2s data from two cowpea crosses (*Vigna unguiculata*), in order to help the development of cultivars with a high minerals profile. Transgressive values (superior to one parental) were observed in F2 population for all minerals, except Sodium, in the IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum cross. Narrow and broad heritabilities presented closed values for Phosphorus, Potassium and Sodium, while some discrepancies were observed for the other minerals between the two crosses. The highest restricted and broad heritability values were estimated for Iron, Phosphorus and Potassium. The gene numbers were similar for all minerals, except calcium. Estimations indicated a low number of genes controlling all minerals, even for Calcium. Important additive effects were observed for Iron, Phosphorus and potassium, while epistatic interactions were important for Zinc and Sodium. These data suggest that cowpea minerals content can be improved with relative ease, applying standard breeding methods largely used on self-pollinated crops.

Keywords: *Vigna unguiculata*, genetic parameters, gene number.

Feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é a mais importante cultura de grãos na região semiárida brasileira. Essa região responde por, aproximadamente, 20% da produção mundial dessa espécie (FAO, 2011) e por 15% da produção nacional de feijões, desde que as estatísticas brasileiras não separem a produção de feijão caupi do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). A produção

brasileira de feijão caupi é baixa, da ordem de 300 kg.ha⁻¹, devido principalmente ao baixo nível tecnológico, largo uso de sementes não melhoradas e condições de cultivo sem irrigação.

Os microminerais, como ferro e zinco, são necessários em pequenas quantidades diárias pelo organismo para a manutenção da normalidade metabólica e para o funcionamento adequado das células (Ribeiro et al., 2008). Deficiência na alimentação de micronutrientes afeta mais de dois bilhões de pessoas no mundo, principalmente em famílias pobres em países em desenvolvimento (Bouis & Welch, 2010).

Como revisado por Rios et al. (2009), a introdução de produtos agrícolas biofortificados, variedades melhoradas que apresentem maior conteúdo de minerais e vitaminas, além de complementar as intervenções em nutrição existentes, proporciona maior sustentabilidade e baixo custo para produtores e consumidores. O feijão caupi é cultivado no semiárido brasileiro devido a sua capacidade de tolerância ao estresse hídrico e a solos pobres, quando comparado com outras leguminosas importantes como feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), sendo um dos principais componentes da dieta alimentar do nordestino, além de ser também um importante gerador de emprego e renda (Ribeiro, 2002).

Apesar da sua importância, poucos estudos têm sido publicados sobre o controle genético de minerais de feijão caupi, o que poderia ajudar no planejamento de projetos de melhoramento para elevar esse caráter. O número mínimo de genes para minerais no grão não foi ainda estimado para feijão caupi, o que poderia ser associado com trabalhos de mapeamento genômico, resultando no desenvolvimento de cultivares com alto teor de minerais pela seleção assistida por marcadores.

O objetivo do presente estudo foi estimar parâmetros genéticos, tais como herdabilidade, modelo de efeito de genes e número mínimo de genes para teor de minerais na semente em dois cruzamentos de feijão caupi, para auxiliar no desenvolvimento de novas cultivares com alto teor de minerais para a região do semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Gerações F1, F2 e retrocruzamentos foram obtidos de dois cruzamentos: 'IT97K-1042-3' x 'BRS Tapaihum' e 'IT97K-1042-3' x 'Canapu'. IT97K-1042-3 é uma cultivar do grupo fradinho, desenvolvida pelo International Institute for Tropical Agriculture (IITA) para o continente africano, apresentando teor de ferro de 65 ppm e zinco de 46 ppm (Singh, 2007). BRS Tapaihum é uma cultivar de grãos de tegumento preto, de porte ereto e crescimento determinado, tendo sido desenvolvida pela Embrapa Semiárido do cruzamento entre Epace 11 x 293588 para o vale do São Francisco. 'Canapu' é uma cultivar local, selecionada e mantida por agricultores do Piauí, e apresenta grãos de cor marrom claro.

Aproximadamente, 10 g de sementes de cada planta foram trituradas em moinho MA 630/1 (Marconi, Brasil) para obter uma farinha fina de cada amostra. As amostras de farinha foram analisadas em duplicatas, de acordo com procedimento padrão da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995). Foram preparados dois extratos para quantificação dos minerais: 1) Extrato A para Fe, Zn e Na. Após o resfriamento dos tubos digestores, acrescentou-se 49mL de água destilada e deionizada. As amostras para quantificação de Fe e Zn foram levadas para leitura em espectrofotômetro de absorção atômica de chama, marca Varian, enquanto Na foi determinado em fotômetro de chama, marca MicroNal (São Paulo, Brasil); e 2) Extrato B – K e Ca. Foi transferido 1mL do extrato A para Becker de 50mL, devidamente identificado de acordo com o número do protocolo das amostras. Completou-se com 49mL de óxido lantânio 0,1% e as amostras do extrato B para quantificação do potássio foram levadas para leitura em fotômetro de chama, marca MicroNal, enquanto o cálcio foi determinado em espectrofotômetro de absorção atômica de chama, marca Varian. Os resultados foram expressos em g.kg^{-1} para cálcio, fósforo e potássio e em mg.kg^{-1} para ferro, zinco e sódio de matéria seca dos grãos. Todas as análises foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Semiárido.

Os parâmetros genéticos, incluindo herdabilidades restritas e amplas, foram estimados com base nas médias e variâncias dos cruzamentos IT97K-1042-3 x Canapu e IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum. Efeitos gênicos aditivos e devido aos desvios de dominância foram estimados por quadrados médios ponderados das médias das gerações para os minerais analisados em cada cruzamento. Todas as estimativas foram realizadas pelo programa Genes (Cruz, 2006), usando a opção gerações segregantes e não segregantes, do procedimento biometria. Os dados originais das análises de todos os minerais foram transformados para raiz quadrada mais um, para tornar todas as variâncias aditivas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferenças entre as médias dos parentais analisados foram maiores para cálcio, ferro e fósforo, enquanto as diferenças entre as médias dos parentais analisados foram moderadas para potássio e sódio, sendo que para zinco apenas os parentais IT97K-1042-3 e BRS Tapaihum apresentaram valores contrastantes (Tabela 1).

Os valores das médias dos parentais foram superiores aos valores reportados por Singh (2007) para cálcio, potássio, ferro, zinco e sódio (Tabela 1), indicando a possibilidade do desenvolvimento de linhagens com alto teor desses minerais. O parental IT97K-1042-3, desenvolvido pelo IITA (Singh, 2007), apresentou valores superiores para cálcio, ferro, fósforo e sódio quando comparado com as

outras duas cultivares desenvolvidas para o vale do São Francisco, sendo a linha do IITA uma boa fonte de alelos para desenvolvimento de cultivares com alto teor de minerais.

Valores transgressivos (superiores a um dos parentais) foram observados na F2 para todos os minerais avaliados, exceto sódio no cruzamento IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum (Tabela 2), indicando a possibilidade do desenvolvimento de cultivares com teores de cálcio, zinco, ferro e potássio superiores aos reportados por Singh (2007).

Herdabilidades amplas e restritas apresentaram valores próximos para fósforo, potássio e sódio, enquanto algumas discrepâncias foram observadas para os outros minerais analisados nos dois cruzamentos (Tabela 2). Os maiores valores das herdabilidades restrita e ampla foram observados para ferro, fósforo e potássio (Tabela 2), sugerindo maior facilidade para aumento do conteúdo para esses minerais. Os valores das herdabilidades para zinco foram os que apresentaram a maior discordância entre os dois cruzamentos, devido, provavelmente a ausência de diferença entre os parentais no cruzamento IT97K-1042-3 x Canapu. Para esse mineral e considerando o cruzamento IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum, os dados da herdabilidade indicam ampla possibilidade do aumento do zinco em cultivares de feijão caupi.

As estimativas do número de genes foram próximas para todos os minerais analisados, exceto cálcio (Tabela 2). As estimativas indicaram a presença de poucos genes controlando os minerais analisados, mesmo para cálcio, indicando que o desenvolvimento de cultivares com alto teor de minerais pode ser obtido com certa facilidade. As análises indicaram a importância do efeito médio dos parentais para todos os minerais analisados, que contribui com coeficientes de determinação superior a 68% nos dois cruzamentos de feijão, exceto para zinco. Efeitos aditivos importantes foram observados para ferro, fósforo e potássio, sendo que efeitos devido às interações epistáticas, foram importantes para zinco e sódio (Tabela 3).

As médias dos parentais e dos efeitos aditivos foram mais importantes (Tabela 3) indicando que aumentos nos valores dos minerais podem ser obtidos por métodos de melhoramento genealógico e 'single pod descent', os mais comumente aplicados em plantas autógamas, como o feijão caupi. O cruzamento de parentais divergentes, com altos teores de minerais, é também recomendado, desde que o efeito médio dos parentais contribuiu enormemente para os modelos de expressão gênica (Tabela 3). Apesar do teor de minerais em feijão caupi ser poligênico, o número de genes não foi elevado, variando de dois a menos de 10 nos dois cruzamentos analisados.

As herdabilidades, a presença dos efeitos da média dos parentais, dos efeitos aditivos e do reduzido número de genes envolvidos no controle genético do teor dos minerais Ca, Zn, Fe, P, Na e K analisados no presente trabalho indicam que o aumento dos teores dos mesmos pode ser obtido com certa facilidade, aplicando-se métodos de melhoramento largamente usados para plantas autógamas.

SANTOS CAF; COSTA DCC da; SOUZA, SS da S; NASCIMENTO LA do. 2012. Análises genéticas para seis minerais em dois cruzamentos de feijão caupi. *Horticultura Brasileira* 30: S4293-S4300.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro

REFERÊNCIAS

AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. Arlington: AOAC

CRUZ CD. 2006. *Programa Genes: Biometria*. Viçosa: Editora UFV. 382p.

SINGH BB 2007. Recent progress in cowpea genetics and breeding. *Acta Horticulturae* 752:69-76

BOUIS HE, WELCH RM. 2010. Biofortification - A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Science* 50:S20-S32.

FAO. 2011. FAOSTAT – Production Crops.

RIBEIRO ND, JOST E, CERUTTI T, MAZIEIRO SM, POERSCH NL. 2008. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. *Bragantia* 67: 267-273.

RIOS AS; ALVES KR; COSTA NMB; MARTINO HSD. 2009. Biofortificação: culturas enriquecidas em micronutrientes pelo melhoramento genético. *Revista Ceres* 56: 713-718.



Table 1. Número de plantas (N), médias transformadas e sem transformação para raiz quadrada + 1 (Sqrt) e variâncias para seis gerações de dois cruzamentos de feijão caupi analisadas para teor de minerais nas sementes. (Plant numbers (N), means and variances with and without transformations for square root + 1 (Sqrt) for six cowpea generations of two crosses analyzed for mineral seed contents). Embrapa Semiárido, Petrolina, 2011.

| Geração | IT97K-1042-3 (Pai1) x Canapu (Pai2) | | | | IT97K-1042-3(Pai 1) x BRS Tapaihum (Pai2) | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|------|-----------|---|--------|------|-----------|
| | n | Média | | Variância | n | Média | | Variância |
| | | Normal | Sqrt | Sqrt | | Normal | Sqrt | Sqrt |
| Cálcio (g.kg⁻¹) | | | | | | | | |
| Pai1 | 21 | 1,93 | 1,71 | 0,011 | 20 | 1,90 | 1,70 | 0,009 |
| Pai2 | 35 | 1,29 | 1,51 | 0,015 | 31 | 1,18 | 1,47 | 0,007 |
| F1 | 31 | 1,47 | 1,56 | 0,019 | 14 | 1,47 | 1,56 | 0,009 |
| F2 | 203 | 1,12 | 1,45 | 0,027 | 138 | 1,24 | 1,49 | 0,026 |
| BC1 | 20 | 0,62 | 1,27 | 0,002 | 37 | 1,47 | 1,56 | 0,007 |
| BC2 | 84 | 1,11 | 1,45 | 0,011 | 25 | 1,61 | 1,60 | 0,028 |
| Zinco (mg.kg⁻¹) | | | | | | | | |
| Pai1 | 20 | 27,5 | 5,33 | 0,077 | 21 | 27,2 | 5,30 | 0,087 |
| Pai2 | 30 | 27,9 | 5,35 | 0,195 | 34 | 30,7 | 5,63 | 0,063 |
| F1 | 48 | 27,6 | 5,34 | 0,079 | 48 | 43,0 | 6,63 | 0,034 |
| F2 | 202 | 28,6 | 5,41 | 0,219 | 134 | 32,1 | 5,72 | 0,319 |
| BC1 | 18 | 34,3 | 5,94 | 0,084 | 37 | 44,9 | 6,77 | 0,037 |
| BC2 | 85 | 31,2 | 5,66 | 0,106 | 30 | 28,7 | 5,42 | 0,292 |
| Ferro (mg.kg⁻¹) | | | | | | | | |
| Pai1 | 20 | 70,80 | 8,47 | 0,049 | 22 | 70,1 | 8,42 | 0,064 |
| Pai2 | 39 | 53,82 | 7,40 | 0,043 | 34 | 51,4 | 7,23 | 0,078 |
| F1 | 27 | 79,59 | 8,97 | 0,058 | 16 | 55,0 | 7,47 | 0,067 |
| F2 | 198 | 67,16 | 8,23 | 0,373 | 137 | 55,7 | 7,51 | 0,199 |
| BC1 | 18 | 70,06 | 8,42 | 0,171 | 32 | 56,7 | 7,58 | 0,177 |
| BC2 | 85 | 48,31 | 7,01 | 0,147 | 30 | 55,9 | 7,53 | 0,111 |
| Fósforo (g.kg⁻¹) | | | | | | | | |
| Pai1 | 19 | 5,80 | 2,60 | 0,005 | 19 | 5,79 | 2,60 | 0,005 |
| Pai2 | 36 | 4,01 | 2,23 | 0,004 | 33 | 4,69 | 2,38 | 0,004 |
| F1 | 45 | 4,47 | 2,34 | 0,004 | 16 | 4,48 | 2,34 | 0,003 |
| F2 | 197 | 4,42 | 2,32 | 0,017 | 140 | 5,56 | 2,55 | 0,018 |
| BC1 | 20 | 5,29 | 2,51 | 0,006 | 39 | 5,48 | 2,54 | 0,008 |
| BC2 | 79 | 4,16 | 2,27 | 0,007 | 28 | 5,75 | 2,59 | 0,018 |
| Potássio (g.kg⁻¹) | | | | | | | | |
| Pai1 | 23 | 14,35 | 3,92 | 0,016 | 23 | 14,3 | 3,90 | 0,016 |
| Pai2 | 38 | 16,70 | 4,20 | 0,015 | 35 | 17,2 | 4,30 | 0,017 |
| F1 | 47 | 17,01 | 4,25 | 0,015 | 17 | 17,3 | 4,30 | 0,007 |
| F2 | 199 | 18,07 | 4,35 | 0,067 | 141 | 15,1 | 4,00 | 0,102 |
| BC1 | 19 | 18,18 | 4,38 | 0,010 | 38 | 18,1 | 4,40 | 0,018 |
| BC2 | 79 | 17,73 | 4,3 | 0,042 | 32 | 14,2 | 3,90 | 0,093 |
| Sódio (mg.kg⁻¹) | | | | | | | | |
| Pai1 | 22 | 140,3 | 11,9 | 0,080 | 22 | 140,3 | 11,8 | 0,080 |
| Pai2 | 34 | 116,7 | 10,8 | 0,264 | 19 | 162,6 | 12,7 | 0,513 |
| F1 | 43 | 110,6 | 10,5 | 1,777 | 15 | 64,4 | 8,0 | 1,201 |
| F2 | 204 | 105,5 | 10,2 | 1,912 | 137 | 59,2 | 7,7 | 1,649 |
| BC1 | 20 | 105,6 | 10,3 | 0,086 | 36 | 55,9 | 7,4 | 1,538 |
| BC2 | 84 | 91,2 | 9,5 | 1,476 | 31 | 83,8 | 9,2 | 0,758 |

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos para cálcio, zinco, ferro, fósforo, potássio e sódio em duas populações de feijão caupi, com transformados dados originais para raiz quadrada +1. (Genetic parameter estimates for Calcium, Zinc, Iron, Phosphorus, Potassium and Sodium, with original data transformed for square root + 1). Embrapa Semiárido, Petrolina, 2011.

| Parâmetros genéticos | Cruzamentos | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | IT97K-1042-3 x Canapu | IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum |
| CÁLCIO | | |
| Máximo valor na F2 | 3,2 | 2,6 |
| Variância genotípica | 0,011 | 0,012 |
| Variância aditiva | 0,042 | 0,006 |
| Variância de dominância | - 0,031 | 0,006 |
| Herdabilidade ampla e restrita (%) | 41,4 | 56,2 |
| Número de genes* | 2,0 | 8,5 |
| ZINCO | | |
| Máximo valor na F2 | 46,0 | 46,0 |
| Variância genotípica | 0,111 | 0,264 |
| Variância aditiva | 0,247 | 0,308 |
| Variância de dominância | - 0,136 | - 0,043 |
| Herdabilidade ampla e restrita (%) | 50,8 | 82,8 |
| Número de genes* | 3,2 | 1,9 |
| FERRO | | |
| Máximo valor na F2 | 91,0 | 78,0 |
| Variância genotípica | 0,321 | 0,129 |
| Variância aditiva | 0,428 | 0,169 |
| Variância de dominância | - 0,107 | - 0,040 |
| Herdabilidade ampla e restrita (%) | 86,0 | 64,9 |
| Número de genes* | 2,2 | 3,8 |
| FÓSFORO | | |
| Máximo valor na F2 | 6,15 | 9,36 |
| Variância genotípica | 0,012 | 0,014 |
| Variância aditiva | 0,020 | 0,010 |
| Variância de dominância | - 0,007 | 0,004 |
| Herdabilidade ampla e restrita (%) | 73,7 | 77,9 |
| Número de genes* | 2,9 | 10,4 |
| POTÁSSIO | | |
| Máximo valor na F2 | 21,5 | 18,1 |
| Variância genotípica | 0,052 | 0,089 |
| Variância aditiva | 0,083 | 0,092 |
| Variância de dominância | - 0,031 | - 0,002 |
| Herdabilidade ampla e restrita (%) | 76,8 | 88,3 |
| Número de genes* | 2,3 | 1,53 |
| SÓDIO | | |
| Máximo valor na F2 | 146,9 | 93,9 |
| Variância genotípica | 0,948 | 0,901 |
| Variância aditiva | 2,262 | 1,003 |
| Variância de dominância | - 1,314 | - 0,103 |
| Herdabilidade ampla e restrita (%) | 49,6 | 54,6 |
| Número de genes* | 2,0 | 3,0 |

*Baseado em variâncias

Tabela 3. Decomposição não ortogonal da soma de quadrados (QM) para minerais em dois cruzamentos de feijão caupi com dados de seis gerações: parentais, F1, F2 e retrocruzamentos (Analysis of variance by non-orthogonal mean square partitioning for minerals of two cowpea crosses using means of six generations: parental lines, F1, F2 and two backcross populations). Embrapa Semiárido, Petrolina, 2011.

| Fonte de variação ¹ | IT97K-1042-3 x Canapu | | IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum | |
|--------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| | QM | R ² | QM | R ² |
| Cálcio | | | | |
| M | 1153.60 | 67.6 | 181.52 | 59.1 |
| A | 42.12 | 2.5 | 72.77 | 23.7 |
| D | 136.80 | 8.0 | 10.91 | 3.6 |
| AA | 38.47 | 2.3 | 19.83 | 6.5 |
| Ad | 167.47 | 9.8 | 15.12 | 4.9 |
| Dd | 168.62 | 9.9 | 6.91 | 2.3 |
| Zinco | | | | |
| m | 331.17 | 58.9 | 193.20 | 41.1 |
| a | 0.06 | 0.1 | 17.59 | 3.7 |
| d | 77.19 | 13.7 | 33.31 | 7.1 |
| aa | 56.67 | 10.0 | 26.79 | 5.7 |
| ad | 9.59 | 1.7 | 187.31 | 39.8 |
| dd | 87.15 | 15.0 | 12.32 | 2.6 |
| Ferro | | | | |
| m | 1318.99 | 68.0 | 1079.56 | 77.7 |
| a | 319.09 | 16.4 | 274.24 | 19.7 |
| d | 68.69 | 3.5 | 0.34 | 0.1 |
| aa | 57.12 | 2.9 | 0.63 | 0.1 |
| ad | 63.04 | 3.2 | 34.02 | 2.4 |
| dd | 113.97 | 5.9 | 0.22 | 0.1 |
| Fósforo | | | | |
| m | 1504.38 | 77.8 | 1091.00 | 85.1 |
| a | 381.61 | 19.7 | 129.71 | 10.1 |
| d | 10.55 | 0.5 | 7.44 | 0.6 |
| aa | 22.31 | 1.2 | 0.38 | 0.1 |
| ad | 5.40 | 0.3 | 27.85 | 2.0 |
| dd | 10.02 | 0.5 | 25.49 | 1.9 |
| Potássio | | | | |
| m | 1672.33 | 93.3 | 500.85 | 67.9 |
| a | 74.97 | 4.1 | 103.33 | 14.0 |
| d | 12.90 | 0.7 | 5.84 | 0.8 |
| aa | 0.11 | 0.1 | 10.81 | 1.5 |
| ad | 29.51 | 1.6 | 115.28 | 15.6 |
| dd | 22.17 | 1.2 | 1.23 | 0.2 |
| Sódio | | | | |
| m | 657.78 | 78.3 | 201.30 | 69.1 |
| a | 95.74 | 11.4 | 25.73 | 8.8 |
| d | 36.68 | 4.4 | 12.89 | 4.4 |
| aa | 6.20 | 0.7 | 14.80 | 5.1 |
| ad | 3.05 | 0.4 | 21.83 | 7.5 |
| dd | 40.18 | 4.7 | 14.60 | 5.0 |

m = efeito parental, a = efeito aditivo, d = efeito dominância, aa, ad, dd = efeito de interações epistáticas.