

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**GENÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO E DE ZINCO  
EM SEMENTES DE FEIJÃO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Simone Saydelles da Rosa**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

# **GENÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO E DE ZINCO EM SEMENTES DE FEIJÃO**

**por**

**Simone Saydelles da Rosa**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Nerinéia Dalfollo Ribeiro**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

---

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Simone Saydelles da Rosa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito da autora.

Endereço: Rua Presidente Vargas, nº. 187. Boca do Monte. Santa Maria. RS.

Fone (055)9155-9865; End. Eletr: sisaydelles@yahoo.com.br

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**GENÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO E DE ZINCO EM SEMENTES  
DE FEIJÃO**

elaborada por  
**Simone Saydelles da Rosa**

como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agronomia

**Comissão Examinadora:**

**Nerinéia Dalfollo Ribeiro, Dr<sup>a</sup>.**  
(Presidente/ Orientadora)

**Gilberto Antonio Peripolli Bevilaqua, Dr. (EMBRAPA/ CPACT)**

**Lia Rejane Silveira Reiniger, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

Santa Maria, 24 de agosto de 2009.

## **DEDICO**

Ao meu pai, José Cirne, minha mãe, Maria Madalena, minhas irmãs  
Cíntia e Andreza, por todo o amor, carinho e incentivo em todos os momentos  
de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me amparado e iluminado em todos os momentos da minha vida.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste trabalho.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerinéia Dalfollo Ribeiro, pois, além das sugestões dadas a este trabalho, sempre me ofereceu estímulo nos momentos difíceis.

À Daniele Piano Rosa, aluna de graduação, pela importante ajuda nas diferentes etapas do trabalho e pela amizade.

Ao Evandro Jost, pela ajuda fundamental nas análises estatísticas e pelas sugestões dadas a este trabalho.

Aos demais colegas do setor, Micheli Della Flora Possobom, Nerison Luís Poersch, Sandra Maria Maziero, Taiguer Cerutti e Viviani Ruffo de Oliveira, pela contribuição no desenvolvimento desta pesquisa, pela amizade e pelo companheirismo.

Ao professor José Laerte Nörnberg, por possibilitar a realização das análises laboratoriais no Núcleo Integrado de Desenvolvimento em Análises Laboratoriais (NIDAL) e aos seus orientados pela disponibilidade em colaborar.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação profissional.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

# GENÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO E DE ZINCO EM SEMENTES DE FEIJÃO

AUTORA: SIMONE SAYDELLES DA ROSA

ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Local e data da defesa: Santa Maria, 24 de agosto de 2009

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) destaca-se como uma importante fonte de fósforo e de zinco para a alimentação humana. Portanto, essa leguminosa pode ser utilizada para diminuir os riscos de deficiência de fósforo e de zinco e para reduzir o número de casos de má nutrição. Sendo assim, esse trabalho foi conduzido com os objetivos de: (1) investigar a presença de efeito materno para os teores de fósforo e de zinco em sementes de feijão; (2) obter estimativas de herdabilidade em gerações precoces. Os cruzamentos dirigidos foram realizados entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante e obtiveram-se as gerações F<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> recíproco, F<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> recíproco e retrocruzamentos (RCP<sub>1</sub> e RCP<sub>2</sub>). Os teores de fósforo e de zinco foram quantificados por meio de digestão nítrica-perclórica e leitura em espectrofotômetro UV-VIS (fósforo) e em espectrofotômetro de absorção atômica (zinco). Os resultados obtidos revelaram presença de variabilidade genética para os teores de fósforo e de zinco em sementes de feijão. Esses minerais não apresentaram expressão de efeito materno significativo. Para o fósforo, herdabilidade em sentido restrito de alta (65,54%) a baixa magnitude (21,37%) foi obtida. Para o zinco, estimativas de herdabilidade, em sentido restrito, de alta (77,84%) a moderada magnitude (57,46%) foram constatadas. Segregação transgressiva foi verificada e um aumento de 19,17% para o teor de fósforo e de 37,26% foi obtido por melhoramento genético. A seleção precoce poderá ser efetiva no desenvolvimento de germoplasma de feijão com maior teor de minerais.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L.; mineral; efeito materno; herdabilidade; gerações precoces.

## **ABSTRACT**

Master's Dissertation

Agronomy Post-Graduation Program

Universidade Federal de Santa Maria

### **GENETIC OF THE PHOSPHORUS AND ZINC CONTENTS IN COMMON BEAN SEEDS**

AUTHOR: SIMONE SAYDELLES DA ROSA

ADVISER: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Place and date of the defense: Santa Maria, August 24<sup>th</sup>, 2009.

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) stands out as an important source of phosphorus and zinc in for human consumption. Therefore, the legume can be used to reduce the risk of deficiency of phosphorus and zinc and to reduce the number of cases of malnutrition. The objectives of this research were: (1) investigate the presence of maternal effect for phosphorus and zinc contents in common bean; (2) obtain estimates of heritability in early generations. The crossings were performed among cultivars Pérola x Guapo Brilhante and TPS Nobre x Guapo Brilhante. The F<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> reciprocal, F<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> reciprocal and backcross (RCP<sub>1</sub> and RCP<sub>2</sub>) were obtained. The phosphorus and zinc contents were ascertained by nitric-perchloric digestion and determination on the UV-VIS spectrophotometer (phosphorus) and the atomic absorption spectrophotometer (zinc). The results showed presence of genetic variability for the phosphorus and zinc contents in common bean seeds. No was observed effect maternal significant for phosphorus and zinc contents in common bean seeds. For phosphorus, in the narrow sense heritability of high (65.54%) and low (21.37%) magnitude was obtained. For zinc, estimates of heritability in the narrow sense, high (77.84%) and moderate (57.46%) magnitude were obtained. Transgressive segregation was observed and an increase of 19.17% for the phosphorus content and of 37.26% for the zinc content in common beans seeds was obtained by crop breeding. The selection performed in the early generation may be effective for development of common bean germplasm with higher minerals content.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L.; mineral; maternal effect; heritability; early generation.



## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Médias dos teores de fósforo e seus respectivos desvios-padrão obtidos nos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e nas gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$  e  $F_2$  recíproco nos cruzamentos entre Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria - RS, UFSM, 2009..... 19
- TABELA 2 – Estimativas das médias dos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , retrocruzamento 1 ( $RCP_1$ ) e retrocruzamento 2 ( $RCP_2$ ), com base na geração dos cotilédones, e seus respectivos desvios-padrão, parâmetros genéticos e predição de ganhos por seleção para o teor de fósforo nas sementes de feijão nos cruzamentos Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria-RS, UFSM, 2009..... 21
- TABELA 3 – Médias dos teores de zinco e seus respectivos desvios-padrão obtidos nos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e nas gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$  e  $F_2$  recíproco nos cruzamentos entre Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria-RS, UFSM, 2009..... 32
- TABELA 4 – Estimativas das médias dos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , retrocruzamento 1 ( $RCP_1$ ) e retrocruzamento 2 ( $RCP_2$ ), com base na geração dos cotilédones, e seus respectivos desvios-padrão, parâmetros genéticos e predição de ganhos por seleção para o teor de zinco nas sementes de feijão dos cruzamentos Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria - RS, UFSM, 2009..... 34

## LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE 1 – Graus de liberdade (GL) e quadrado médio para teor de fósforo em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, considerando os genitores (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>) e as gerações de feijão F<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> recíproco, F<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> recíproco, retrocruzamento 1 (RCP<sub>1</sub>) e retrocruzamento 2 (RCP<sub>2</sub>) obtidas nas combinações híbridas Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria – RS, UFSM, 2009..... 43
- APÊNDICE 2 – Graus de liberdade (GL) e quadrado médio para teor de zinco em mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca, considerando os genitores (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>) e as gerações de feijão F<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> recíproco, F<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> recíproco, retrocruzamento 1 (RCP<sub>1</sub>) e retrocruzamento 2 (RCP<sub>2</sub>) obtidas nas combinações híbridas Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria – RS, UFSM, 2009..... 44
- APÊNDICE 3 – Tipo de grão, Programa de melhoramento obtentor/mantenedor da cultivar (origem), genealogia e hábito de crescimento (HC) das cultivares de feijão utilizadas como genitores para os estudos da genética do teor de fósforo e de zinco em sementes de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2009..... 45

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>CAPÍTULO 1 - Controle genético do teor de fósforo em sementes de feijão</b>	
Resumo .....	13
Abstract.....	14
Introdução.....	15
Material e Métodos.....	16
Resultados e Discussão.....	18
Conclusões.....	23
<b>CAPÍTULO 2 - Potencial de incremento do teor de zinco em sementes de feijão por melhoramento genético</b>	
Resumo .....	25
Abstract.....	26
Introdução.....	27
Material e Métodos.....	29
Resultados e Discussão.....	31
Conclusões.....	36
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	38
<b>APÊNDICE</b> .....	43

## INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um alimento de alto valor nutritivo, pois fornece nutrientes essenciais ao ser humano, como proteínas, ferro, cálcio, magnésio, zinco, fósforo, vitaminas, carboidratos e fibras (ESTEVES, 2000; MESQUITA et al., 2007). Devido a sua composição, o consumo diário de feijão pode proporcionar vários benefícios à saúde (SATHE; DESHPANDE; SALUNKHE, 1984; COSTA et al., 2003).

Os minerais constituem um grupo de elementos amplamente distribuídos na natureza e que desempenham importantes funções no organismo humano (CUNHA; CUNHA, 1998). As deficiências de minerais são comuns, principalmente em países em desenvolvimento, visto que a base da alimentação é constituída pelos cereais, pelas raízes e pelos tubérculos.

A deficiência de fósforo, apesar de não ser frequente (FENEMA, 2000), provoca anormalidades neuromusculares, esqueléticas, hematológicas e renais (KATHLEEN, 1998). Isso porque as principais funções do fósforo relacionam-se com a mineralização óssea e dos dentes, pois, aproximadamente, 90% deste mineral, presente no organismo humano, encontram-se nos ossos (COZZOLINO, 2007; OLIVEIRA, 2007).

A deficiência de zinco no organismo humano pode causar anorexia, atraso no crescimento, intolerância à glicose, hipogonadismo, restrição na utilização de vitamina A, disfunções imunológicas, desordens de comportamento, aprendizado e memória, dermatite entre outros sintomas (PRASAD, 1996). Aproximadamente 49% da população mundial têm risco de apresentar deficiência de zinco devido à baixa ingestão desse mineral na alimentação (BROWN; WUEHLER; PEERSON, 2001). O zinco está presente em todos os órgãos, tecidos, fluídos e secreções do corpo e o conteúdo total de zinco no organismo varia de 1,5 a 2,5 g, sendo que as maiores concentrações são observadas no fígado, pâncreas, rins, ossos e músculos voluntários (MAFRA; COZZOLINO, 2004). O zinco participa de muitas reações do metabolismo celular, incluindo processos fisiológicos, tais como função imune, defesa antioxidante, crescimento e desenvolvimento (SZCKUREK; BJORNSSON; TAYLOR, 2001).

O feijão apresenta teores consideráveis de fósforo, sendo que uma porção cozida de 170 g, com 65% de umidade, equivale a, aproximadamente, 20% das necessidades diárias de

fósforo (SATHE; DESHPANDE; SALUNKHE, 1984). As leguminosas se constituem, também, em importante fonte de zinco, principalmente para as populações de menor poder aquisitivo, em função do alto custo dos alimentos de origem animal (RUEL; BOUIS, 1998).

O feijão apresenta elevados teores de fósforo e de zinco e há variabilidade genética para esses minerais nas sementes de feijão (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; MESQUITA et al., 2007). No Brasil, essa leguminosa é considerada um alimento básico para a população, tanto nas áreas rurais, quanto nas urbanas (COSTA et al., 2006). Em função disso, acredita-se que as técnicas de melhoramento genético clássico possam ser utilizadas para amenizar os problemas da deficiência de minerais em humanos. Assim, por meio de cruzamentos dirigidos e de seleção será possível identificar recombinantes com altos teores desses minerais. Desse modo, dietas específicas com fins nutricionais, terapêuticos e/ou preventivos poderão ser implementadas para atender as mais diversas necessidades alimentares.

O melhoramento clássico torna possível o desenvolvimento de um produto de melhor qualidade e de baixo custo para o consumidor, sem ocasionar modificações no preparo e nas características organolépticas do alimento. Outras estratégias, como, a adição de adubos químicos ao solo ou na forma de tratamento de sementes, têm sido recomendadas para aumentar a quantidade de minerais nas sementes. No entanto, essas técnicas incluem custos adicionais, podem acarretar maiores danos ao meio ambiente e o uso de recursos naturais não renováveis. Por consequência, o desenvolvimento de germoplasma de feijão com teores elevados de minerais, via melhoramento clássico, é desejável, pois um produto de maior qualidade nutricional será disponibilizado aos consumidores garantindo a sustentabilidade da agricultura.

Entretanto, para que seja possível desenvolver germoplasma de feijão com alto teor de fósforo e de zinco é preciso conhecer a herança desses minerais. Como pouca informação foi encontrada na literatura sobre o controle genético do teor desses minerais em sementes de feijão, foram objetivos desse trabalho: (1) investigar a ocorrência de efeito materno para os teores de fósforo e de zinco em sementes de feijão; (2) estimar a herdabilidade dos teores de fósforo e de zinco em gerações precoces de feijão.

## CAPÍTULO 1

### CONTROLE GENÉTICO DO TEOR DE FÓSFORO EM SEMENTES DE FEIJÃO

### GENETIC CONTROL OF THE PHOSPHORUS CONTENT IN COMMON BEAN

#### RESUMO

O objetivo desse trabalho foi investigar a existência de efeito materno na expressão do teor de fósforo em sementes de feijão e obter estimativas de herdabilidade em gerações precoces. Os cruzamentos dirigidos foram realizados entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante e as gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$ ,  $F_2$  recíproco,  $RCP_1$  e  $RCP_2$  foram obtidas para cada combinação híbrida. O teor de fósforo foi determinado por digestão nítrica-perclórica e leitura em espectrofotômetro UV-VIS. Os resultados obtidos revelaram presença de variabilidade genética para o conteúdo de fósforo em sementes de feijão. Para esse mineral não se observou expressão de efeito materno significativo. Herdabilidade em sentido restrito de alta magnitude (65,54%) foi obtida no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante e de baixa magnitude (21,37%), no cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante. Segregação transgressiva foi constatada em gerações precoces, sendo possível aumentar em 19,17% o teor de fósforo em sementes de feijão, por melhoramento genético.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; mineral; efeito materno; herdabilidade; seleção precoce.

## ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the existence of maternal effect in phosphorus content of common bean seeds and to estimate the heritability in early generations. The controlled crossings were performed among the hybrid combinations Pérola x Guapo Brilhante and TPS Nobre x Guapo Brilhante. The F<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> reciprocal, F<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> reciprocal, backcross 1 and backcross 2 generations were obtained for each hybrid combination. The phosphorus content was evaluated by nitric-perchloric digestion and determined in the UV-VIS spectrophotometer. The results obtained showed genetic variability for the phosphorus content. Maternal effect significant for phosphorus content was not verified in common bean seeds. Heritability in the narrow sense of high magnitude was obtained among Pérola x Guapo Brilhante (65.54%) crossing and low magnitude (21.37%) was observed among Pérola x Guapo Brilhante crossing. Transgressive segregation was observed for the phosphorus content in common bean and an increase of 19.17% was obtained by crop breeding.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L.; mineral; maternal effect; heritability; early generation.

## INTRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente essencial que está presente em praticamente todos os alimentos, por isso a sua deficiência é rara (FENNEMA, 2000). Entretanto, anormalidades neuromusculares, esqueléticas, hematológicas e renais podem ser observadas quando há o diagnóstico de deficiência de fósforo no organismo humano (KATHLEEN, 1998). Isso porque a principal função desse mineral está relacionada com a mineralização óssea e dos dentes. Além disso, o fósforo participa do metabolismo energético, sendo constituinte da adenosina trifosfato (ATP), é importante na absorção e no transporte de nutrientes, na regulação da atividade protéica, no balanço ácido-básico e na transmissão genética, formando os ácidos nucleicos (COZZOLINO, 2007).

Para suprir as necessidades diárias de um indivíduo adulto, recomenda-se a ingestão de 0,8 a 1,2 g de fósforo, dependendo da faixa etária (KATHLEEN, 1998). Na América Latina, de 8 a 27% do fósforo necessário para satisfazer os requerimentos nutricionais diários são obtidos do consumo de feijão (PENNINGTON; YOUNG, 1990).

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) possui alto teor de fósforo nas sementes (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; MESQUITA et al., 2007). Entretanto, variabilidade genética tem sido registrada entre as cultivares e valores entre 3,60 a 6,55 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) foram observados em Burundi (BARAMPAMA; SIMARD, 1993) e de 5,86 a 8,84 g kg<sup>-1</sup> de MS na Colômbia (HOUSE et al., 2002). No Brasil, valores entre 4,50 e 7,20 g kg<sup>-1</sup> de MS foram constatados em sementes de 21 genótipos de feijão avaliados em Minas Gerais (MESQUITA et al., 2007). As sementes de feijão do grupo gênico Mesoamericano, normalmente, apresentam maior teor de fósforo quando comparadas às sementes do grupo Andino (ISLAM et al., 2002). A existência de variabilidade genética possibilita a seleção de germoplasma de feijão com alto teor de fósforo nas sementes para uso na alimentação humana. O aumento do teor de fósforo em sementes, por meio de melhoramento genético, é vantajoso, pois a maioria dos solos brasileiros apresenta elevada capacidade de retenção de fósforo, o que leva à necessidade de aplicação de altas doses de fosfatos, contribuindo para o aumento nos custos de produção e para a redução dos recursos naturais não renováveis (MOURA et al., 2001).



A semente de feijão é composta pelo tegumento, que representa cerca de 9% na matéria seca, cotilédones, com 90%, e eixo embrionário, com apenas 1% (MESQUITA, 1989). Como o tegumento é tecido materno e o embrião (cotilédones e eixo embrionário) é produto do cruzamento (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2004), esses tecidos estão presentes em gerações diferentes e a investigação de efeito materno se faz necessária. No tegumento das sementes de feijão estão presentes mais de 80% do teor de cálcio e apenas de 1,9 a 3,6% do teor de fósforo (MORAGHAN; GRAFTON, 2002). O ácido fítico acumulado nas sementes dos cereais, das castanhas e das leguminosas representa 50 a 80% do fósforo total (REDDY; SATHE; SALUNKE, 1982; FROSSARD et al., 2000). Por isso, efeito materno foi verificado na expressão do teor de cálcio em sementes de feijão (JOST et al., 2009a). Nesse caso, a expressão genética do cruzamento somente foi observada em sementes F<sub>2</sub> (cotilédones na geração F<sub>1</sub>) e a seleção foi realizada em sementes F<sub>3</sub> (cotilédones na geração F<sub>2</sub>), quando segregação máxima foi constatada.

Para a fibra alimentar insolúvel em feijão, não foi observado efeito materno significativo e a seleção de sementes F<sub>2</sub> (cotilédones na geração F<sub>2</sub>), colhidas de uma única planta, foi eficiente (LONDERO et al., 2009). Portanto, a investigação de efeito materno é relevante, pois terá implicações diretas na seleção e na condução das populações segregantes obtidas pelo programa de melhoramento.

A genética do teor de fósforo em feijão foi pouco estudada e há dúvidas se a expressão desse caráter é dependente do tegumento ou dos cotilédones. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi investigar a existência de efeito materno na expressão do teor de fósforo em feijão, bem como obter estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção em gerações precoces oriundas dos cruzamentos entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os blocos de cruzamentos foram conduzidos em casa-de-vegetação do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul. Com base na determinação prévia do teor de minerais e no valor agrônômico de acessos do Banco de Germoplasma de Feijão da UFSM, foram selecionados três genitores

contrastantes para o estudo de herança do teor de fósforo: Pérola ( $4,15 \text{ g kg}^{-1}$  de MS), Guapo Brilhante ( $4,85 \text{ g kg}^{-1}$  de MS) e TPS Nobre ( $4,16 \text{ g kg}^{-1}$  de MS). A cultivar Pérola apresenta sementes do tipo carioca (sementes bege com estrias marrons) e hábito de crescimento indeterminado com guias longas (tipo III). As cultivares Guapo Brilhante e a TPS Nobre pertencem ao grupo comercial preto e possuem hábito de crescimento indeterminado com guias curtas (tipo II). Os cruzamentos entre cultivares com diferentes colorações de tegumento (carioca e preto) são importantes porque permitem que sejam utilizados marcadores morfológicos em estudos genéticos em feijão.

No outono-inverno de 2007, foram realizados os cruzamentos dirigidos entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante, com a emasculação do botão floral, empregando-se o método de entrelaçamento (PETERNELLI; BORÉM, 1999), obtendo-se as sementes  $F_1$  ( $\text{♀ } P_1 \times \text{♂ } P_2$ ) e  $F_1$  recíproco ( $\text{♀ } P_2 \times \text{♂ } P_1$ ). Na primavera-verão de 2007, foram desenvolvidas as gerações  $F_2$  (autofecundação das plantas  $F_1$ ),  $F_2$  recíproco (autofecundação das plantas  $F_1$  recíproco), retrocruzamento 1 (RCP<sub>1</sub>:  $F_1 \times P_1$ ) e retrocruzamento 2 (RCP<sub>2</sub>:  $F_1 \times P_2$ ). O processo foi repetido no outono-inverno de 2008, para possibilitar a avaliação de sementes das gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$ ,  $F_2$  recíproco e retrocruzamentos (RCP<sub>1</sub> e RCP<sub>2</sub>), nas mesmas condições de cultivo.

Em todas as etapas, a semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade para 5 litros da mistura solo + substrato comercial Plantimax® + casca de arroz carbonizada, na proporção de 3: 1: 1. O solo utilizado foi o Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico, com a seguinte composição química: pH (H<sub>2</sub>O): 5,8; matéria orgânica: 1,9%; fósforo:  $15,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ; potássio:  $84 \text{ mg dm}^{-3}$ ; cálcio:  $5,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; magnésio:  $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e enxofre:  $11,6 \text{ mg dm}^{-3}$ . A correção da fertilidade foi realizada de acordo com a análise química do solo. Irrigações diárias foram realizadas de maneira que a umidade do solo fosse mantida próxima à capacidade de campo. O controle de doenças e de insetos foi efetuado sempre que necessário a fim de não comprometer o desenvolvimento das plantas de feijão e para manter a integridade dos botões florais.

Na maturação, as sementes das gerações obtidas foram colhidas e colocadas em estufa (65 a 70°C) até atingirem umidade média de 13%. Na sequência, as sementes foram moídas em micromoinho até a obtenção de partículas inferiores a 1 mm. O teor de fósforo foi determinado na farinha de feijão cru por digestão nítrica-perclórica (HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub>, na proporção 3:1), de acordo com a metodologia descrita em Miyazawa et al. (1999). A quantificação do teor de fósforo foi realizada por visualização de registros no

espectrofotômetro UV-VIS, marca Único, modelo 2100, com comprimento de onda de 660 nm.

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, considerando cinco repetições para os genitores e as gerações  $F_1$  e  $F_1$  recíproco e 24 repetições para as gerações  $F_2$  e  $F_2$  recíproco. Para testar a hipótese de efeito materno, efetuou-se a comparação entre as médias pelo teste t a 5% de significância para os contrastes  $P_1$  vs  $P_2$ ,  $P_1$  vs  $F_1$ ,  $P_2$  vs  $F_1$  recíproco,  $F_1$  vs  $F_1$  recíproco e  $F_2$  vs  $F_2$  recíproco.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas com as variâncias dos genitores  $P_1$  e  $P_2$  e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RCP_1$  e  $RCP_2$ , com base na geração dos cotilédones,

para cada combinação híbrida. A herdabilidade foi estimada em sentido amplo  $h_a^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_P^2}$  e,

em sentido restrito  $h_a^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$ , de acordo com o método dos retrocruzamentos proposto por

Warner (1952). Sendo que: variância aditiva:  $\sigma_A^2 = 2\sigma_{F_2}^2 - (\sigma_{RCP_1}^2 + \sigma_{RCP_2}^2)$ , variância fenotípica:  $\sigma_P^2 = \sigma_{F_2}^2$  e variância de ambiente em  $F_2$ :  $\sigma_E^2 = 1/3(\sigma_{F_1}^2 + \sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2)$ .

A heterose na geração  $F_1$  foi quantificada pela forma percentual, tanto para a relacionada com a média dos genitores ( $H\% = \frac{F_1 - P}{P} \times 100$ ) quanto para a heterobeliose

( $HT\% = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100$ ), considerando-se  $P = \frac{P_1 + P_2}{2}$  e  $MP$  = melhor pai. Para a

predição de ganhos por seleção, foi considerada a seleção de 25% das plantas com sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ) com maior teor de fósforo. O ganho esperado, considerando-se a seleção e a recombinação dos indivíduos superiores em plantas com sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), foi estimado pela expressão:  $\Delta G = DSxh_r^2$  e

$\Delta G(\%) = \frac{\Delta G \times 100}{\bar{F}_2}$ , em que  $DS$  é o diferencial de seleção, expresso por  $\bar{X}_s - \bar{X}_0$ , sendo

$\bar{X}_s$  = média das plantas selecionadas com sementes na geração  $F_2$ , e  $\bar{X}_0$  = média das plantas com sementes na geração  $F_2$ . As análises genético-estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os contrastes entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante foram significativos, pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro, para o teor de fósforo em sementes de feijão (Tabela 1). Portanto, os genitores foram contrastantes e gerações precoces com variabilidade genética para fósforo foram obtidas a partir desses cruzamentos.

TABELA 1 – Médias dos teores de fósforo e seus respectivos desvios-padrão obtidos nos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e nas gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$  e  $F_2$  recíproco nos cruzamentos entre Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria - RS, UFSM, 2009

Genitores e Gerações	Pérola x Guapo Brilhante	TPS Nobre x Guapo Brilhante
Teor de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ de MS)		
$P_1$	4,15 $\pm$ 0,15	4,16 $\pm$ 0,32
$P_2$	4,85 $\pm$ 0,20	4,85 $\pm$ 0,20
$F_1$	4,80 $\pm$ 0,24	4,47 $\pm$ 0,41
$F_1$ recíproco	4,59 $\pm$ 0,25	4,48 $\pm$ 0,22
$F_2$	4,22 $\pm$ 0,48	4,68 $\pm$ 0,51
$F_2$ recíproco	4,31 $\pm$ 0,53	4,26 $\pm$ 0,46
Contrastes	Probabilidade	
$P_1$ vs $P_2$	0, 03*	0, 36*
$P_1$ vs $F_1$	0, 10*	53, 43 <sup>ns</sup>
$P_2$ vs $F_1$ recíproco	11, 19 <sup>ns</sup>	2, 39*
$F_1$ vs $F_1$ recíproco	21, 52 <sup>ns</sup>	98, 09 <sup>ns</sup>
$F_2$ vs $F_2$ recíproco	56, 28 <sup>ns</sup>	0,43*

\*Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t. <sup>ns</sup>: não significativo.

No cruzamento Pérola x Guapo Brilhante, o contraste Pérola vs  $F_1$  foi significativo, demonstrando que a geração  $F_1$  difere significativamente da cultivar Pérola para o teor de fósforo; contudo, o contraste Guapo Brilhante vs  $F_1$  recíproco não foi significativo para o teor de fósforo. As gerações  $F_1$  e  $F_1$  recíproco não diferiram significativamente, demonstrando que o fenótipo do descendente não será dependente do genótipo feminino, ou seja, não ocorreu efeito materno significativo na expressão do teor de fósforo em sementes de feijão. Assim, as sementes das gerações  $F_1$  e  $F_1$  recíproco representaram o produto da fecundação e, nesse caso, o embrião (cotilédones e eixo embrionário) caracteriza a geração  $F_1$ . Isso se justifica pelo fato

de que o fósforo se concentra principalmente no embrião das sementes de feijão (MORAGHAN; GRAFTON, 2002; MORAGHAN et al., 2002) e o ácido fítico está concentrado nos cristais globóides do endosperma, formando os corpos protéicos, que estão localizados no embrião das sementes (REDDY; SATHE; SALUNKE, 1982).

O contraste  $F_2$  vs  $F_2$  recíproco não foi significativo, ou seja, os fenótipos dessas sementes foram semelhantes para o teor de fósforo. Dessa maneira, as sementes  $F_2$  obtidas apresentaram embrião em geração  $F_2$  e, por isso, a seleção para maior teor de fósforo deverá ser iniciada nessa geração, que apresentou ampla variabilidade genética. Londero et al. (2009), trabalhando com o teor de fibra alimentar insolúvel em feijão, também, não observaram efeito materno significativo e a seleção de sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), colhidas de uma única planta, foi eficiente.

No cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante, não foi obtido contraste significativo entre as gerações  $F_1$  vs  $F_1$  recíproco e o contraste  $F_2$  vs  $F_2$  recíproco foi significativo, comprovando que não ocorreu efeito materno significativo na expressão do teor de fósforo em sementes de feijão. Entretanto, efeito materno foi observado para os teores de cálcio e de ferro em sementes de feijão (JOST et al., 2009 a; JOST et al., 2009 b). Nesses casos, o fenótipo do descendente será dependente do genótipo feminino e embrião e tegumento de uma mesma semente estarão presentes em gerações diferentes. Por isso, é recomendável que a seleção para o teor de fósforo seja iniciada em sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), quando segregação máxima poderá ser constatada. Portanto, a investigação da ocorrência de efeito materno para os caracteres que conferem qualidade nutricional e funcional ao feijão é necessária, pois terá implicações na seleção e na condução de populações segregantes em programas de melhoramento.

O teor de fósforo variou de 3,98 a 4,85 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS, no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante e de 4,16 a 4,85 g kg<sup>-1</sup> de MS, no cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante (Tabela 2). Valores de fósforo similares foram observados em genótipos de feijão avaliados em Burundi (BARAMPAMA; SIMARD, 1993). Entretanto, valores superiores foram verificados em germoplasma em cultivo no Brasil (MESQUITA et al., 2007) e na Colômbia (HOUSE et al., 2002). As diferenças constatadas podem ser justificadas pelo fato de que sementes de feijão dos grupos gênicos Mesoamericano e Andino apresentam teores diferenciados de fósforo (ISLAM et al., 2002).

TABELA 2 – Estimativas das médias dos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , retrocruzamento 1 ( $RCP_1$ ) e retrocruzamento 2 ( $RCP_2$ ), com base na geração dos cotilédones, e seus respectivos desvios-padrão, parâmetros genéticos e predição de ganhos por seleção para o teor de fósforo nas sementes de feijão nos cruzamentos Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria- RS, UFSM, 2009

Genitores e Gerações	Teor de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ de MS)	
	Pérola x Guapo Brilhante	TPS Nobre x Guapo Brilhante
$P_1$	4,15 $\pm$ 0,15	4,16 $\pm$ 0,32
$P_2$	4,85 $\pm$ 0,20	4,85 $\pm$ 0,20
$F_1$	4,80 $\pm$ 0,24	4,47 $\pm$ 0,41
$F_2$	4,22 $\pm$ 0,48	4,68 $\pm$ 0,51
$RCP_1$	4,00 $\pm$ 0,37	4,26 $\pm$ 0,47
$RCP_2$	3,98 $\pm$ 0,42	4,69 $\pm$ 0,48
Média	4,29	4,53
CVE (%)	10,31	11,06
Variância fenotípica ( $\sigma^2_p$ )	0, 23	0, 25
Variância de ambiente ( $\sigma^2_{E F_2}$ )	0, 04	0, 10
Variância genética ( $\sigma^2_G$ )	0, 19	0, 15
Variância aditiva ( $\sigma^2_A$ )	0, 15	0, 05
Herdabilidade ampla ( $h^2_a$ )	82,69	59,46
Herdabilidade restrita ( $h^2_r$ )	65,54	21,37
Heterose (H%)	6,69	-13,03
Heterobeltiose $P_1$ (HT%)	15,67	-5,86
Valor máximo nos genitores	5,08	5, 08
Valor mínimo nos genitores	3,94	3,81
Valor máximo na $F_2$	5,31	5,78
Valor mínimo na $F_2$	3,38	3,90
Plantas selecionadas na $F_2$	8, 5, 7, 23, 17 e 24	13, 14, 11, 22, 21 e 7
Média original da $F_2$	4,22	4, 68
Média das plantas selecionadas	4,83	5,33
Diferencial de seleção (DS)	0,61	0,65
Ganho por seleção ( $\Delta G$ )	0,40	0,14
Ganho por seleção ( $\Delta G \%$ )	9,47	2,97
Média predita para o primeiro ciclo após a seleção	4,62	4,82

A decomposição da variância fenotípica evidenciou a predominância dos efeitos genéticos em relação aos de ambiente, no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante, e estimativas de herdabilidade de alta magnitude foram obtidas em sentido amplo ( $h^2_a$ : 82,69%) e em sentido restrito ( $h^2_r$ : 65,54%) (Tabela 2). Como a variância aditiva foi responsável pela maior parte da variância genética, a fixação desse caráter poderá ser observada em gerações avançadas. No melhoramento de plantas autógamas, a variância aditiva é de grande importância, pois não segrega de geração para geração, possibilitando o êxito na seleção em populações segregantes (CARVALHO et al., 2001). Por isso, os Métodos Genealógico ou Descendente de uma Única Semente (SSD) são promissores para a condução das populações segregantes obtidas nesse cruzamento.

Por sua vez, no cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante, foram observadas estimativas de herdabilidade, em sentido amplo, de média magnitude ( $h^2_a$ : 59,46%) e, em sentido restrito, de baixa magnitude ( $h^2_r$ : 21,37%), sugerindo dificuldades para a seleção, pois não houve a predominância da variância aditiva.

Heterose tradicional de 6,69% e heterobeltiose de 15,67% foram constatadas no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante (Tabela 2), revelando a existência de vigor híbrido para o teor de fósforo em feijão e, por isso, as hipóteses de dominância e de sobredominância precisam ser consideradas. As evidências indicam que a heterose é função do papel da dominância parcial e ou dominância completa, porém, a conclusão sobre as causas genéticas da heterose é difícil, pois os genes quantitativos envolvidos no controle dos caracteres são ainda pouco conhecidos (BERNARDO, 2002).

Como o feijão é uma planta autógama, se espera que a heterose seja reduzida à metade em cada geração de autofecundação e, portanto, a geração  $F_3$  poderá apresentar média inferior à geração  $F_2$ , devido ao conseqüente aumento da homozigose. Face ao exposto, a avaliação em gerações avançadas se faz necessária para analisar a segregação para esse caráter.

Assim, foi constatada segregação transgressiva em ambos os cruzamentos realizados (Tabela 2). Como conseqüência, foi possível obter plantas  $F_2$  com 5,78 g kg<sup>-1</sup> de MS, o que representou um aumento de 19,17% do teor de fósforo, em relação ao genitor Guapo Brilhante (alto teor de fósforo: 4,85 mg kg<sup>-1</sup> de MS). Incrementos do teor de zinco em sementes de feijão, via melhoramento genético, já foram relatados (GELIN et al., 2007; BLAIR et al., 2009). Porém, esse é o primeiro registro na literatura de aumento do teor de fósforo de sementes de feijão por melhoramento genético.

Com relação aos ganhos por seleção, considerando a pressão de seleção de 25%, podem ser esperados ganhos de 9,47% e de 2,97%, e média predita de 4,62 e de 4,82 g kg<sup>-1</sup> de MS, após o primeiro ciclo de seleção no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante, respectivamente (Tabela 2). Desse modo, ganhos consideráveis poderão ser observados já no primeiro ciclo de seleção, possibilitando a obtenção de genótipos de feijão relativamente mais ricos em fósforo para uso na alimentação.

Considerando o fato de que, na América Latina, o feijão é um dos alimentos que fornece grande parte do fósforo necessário para satisfazer os requerimentos nutricionais diários (PENNINGTON; YOUNG, 1990), a disponibilização de cultivares de feijão com teores mais elevados de fósforo agregará melhor qualidade nutricional a dieta da população. O teor de fósforo nas sementes de feijão pode ser aumentado por melhoramento genético, uma vez que foram obtidas gerações precoces com alto teor de fósforo, a partir dos cruzamentos entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Entretanto, a biodisponibilidade do fósforo deverá ser avaliada, pois, nas leguminosas, esse mineral se encontra, principalmente, na forma de ácido fítico que é muito pouco digerido no trato gastrointestinal humano. O ácido fítico é considerado um fator antinutricional, devido a sua capacidade de se ligar a minerais e a outros nutrientes e, dessa forma, alterar a sua funcionalidade, a digestibilidade e a absorção (MARTINEZ-DOMINGUES; IBAÑEZ; RINCÓN, 2002). O ácido fítico é altamente reativo com partículas carregadas positivamente, tais como os minerais. Os íons minerais podem se ligar a grupos fosfatos ou a moléculas de ácido fítico, formando complexos de diferente solubilidade e estabilidade (RAMÍREZ-CÁRDENAS, 2006).

## CONCLUSÕES

Não ocorre efeito materno na expressão do teor de fósforo em sementes de feijão.

O teor de fósforo em feijão apresenta herdabilidade em sentido restrito de alta magnitude (65,54%), no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante, e de baixa magnitude (21,37%), no cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante.

Segregação transgressiva foi observada e é possível aumentar em 19,17% o teor de fósforo em sementes de feijão por melhoramento genético.



A seleção precoce poderá ser efetiva no desenvolvimento de populações segregantes com alto teor de fósforo nas sementes, em função dos elevados ganhos por seleção.

## CAPÍTULO 2

### POTENCIAL DE INCREMENTO DO TEOR DE ZINCO EM SEMENTES DE FEIJÃO POR MELHORAMENTO GENÉTICO

#### POTENTIAL FOR INCREASING THE ZINC CONTENT IN COMMON BEAN SEEDS THROUGH PLANT BREEDING

#### RESUMO

O objetivo desse trabalho foi investigar se ocorre efeito materno para o teor de zinco em sementes de feijão e obter estimativas de herdabilidade em gerações precoces. Para tanto, foram obtidas as gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$ ,  $F_2$  recíproco,  $RCP_1$  e  $RCP_2$ , a partir de cruzamentos dirigidos realizados entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. O teor de zinco foi determinado na farinha de feijão cru por meio de digestão nítrica-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. Variabilidade genética para o teor de zinco nas sementes de feijão foi observada no cruzamento entre Pérola x Guapo Brilhante. Para esse mineral não foi verificado expressão de efeito materno significativo. Herdabilidade, em sentido restrito, de alta (77,84% para TPS Nobre x Guapo Brilhante) a moderada (57,46% para Pérola x Guapo Brilhante) foi obtida para o teor de zinco em feijão. Segregação transgressiva foi constatada em gerações precoces, sendo possível aumentar em 37,26% o teor de zinco em sementes de feijão, por melhoramento genético.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; micronutriente; efeito materno; herdabilidade; geração precoce.

## ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the existence of maternal effect for the zinc content in common bean seeds and to estimate the heritability in early generations. The  $F_1$ ,  $F_1$  reciprocal,  $F_2$ ,  $F_2$  reciprocal and  $RC_1$  and  $RC_2$  were obtained controlled crossings performed among the cultivars Pérola x Guapo Brillhante and TPS Nobre x Guapo Brillhante. The zinc content was ascertained by nitric-perchloric digestion and determination on the atomic absorption spectrophotometer. Genetic variability for zinc content in common bean seeds was observed in the cross Pérola x Guapo Brillhante. There was no significant maternal effect for the zinc content in common bean seeds. Heritability, in the narrow sense, of high (77.84% in TPS Nobre x Guapo Brillhante) to moderate (57.46% in Pérola x Guapo Brillhante) was obtained for the zinc content in common bean seeds. Transgressive segregation was observed for the zinc content in common bean and an increase of 37.26% was obtained by crop breeding.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L.; micronutrient; maternal effect; heritability; early generation.

## INTRODUÇÃO

Aproximadamente, 49% da população mundial apresentam risco de desenvolver sintomas de deficiência de zinco devido à baixa ingestão desse mineral na alimentação (BROWN; WUEHLER; PEERSON, 2001). Isso pode ocorrer porque o zinco é obtido principalmente do consumo de cereais, tubérculos e leguminosas, que são limitantes na biodisponibilidade do nutriente (RUEL; BOUIS, 1998).

Como o zinco é cofator de mais de 300 enzimas, a sua deficiência provoca retardo no crescimento, atraso na maturação sexual, hipogonadismo, hipospermia, alopecia, lesões de pele, retardo na cicatrização de feridas, imunodeficiências, distúrbios comportamentais, cegueira noturna e paladar enfraquecido (KATHELEEN, 1998). Esses problemas se verificam porque o zinco exerce importantes funções enzimáticas, estruturais e regulatórias no organismo humano (CUNHA; CUNHA, 1998). Em decorrência disso, a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda a ingestão diária de 12 a 15 mg dia<sup>-1</sup> de zinco, para satisfazer os requerimentos nutricionais (OMS, 1998).

As leguminosas apresentam 10 vezes mais zinco quando comparadas às frutas e às hortaliças (ANDRADE et al., 2004). O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) possui alto teor de zinco nas sementes (BARAMPAMA; SIMARD, 1993; BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; MESQUITA et al., 2007) e é uma importante fonte desse micronutriente para a alimentação humana (PENNINGTON; YOUNG, 1990). Entretanto, diferenças genéticas têm sido constatadas e variação de 63,5 a 87,9 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) foi observada em quatro genótipos de feijão cultivados em Burundi (BARAMPAMA; SIMARD, 1993), de 10 a 33 mg kg<sup>-1</sup> de MS em 70 acessos avaliados no México (GUZMÁN-MALDONADO; ACOSTA-GALLEGOS; PAREDES-LÓPES, 2000) e de 36,67 a 63,90 mg kg<sup>-1</sup> de MS em 21 genótipos cultivados no Brasil (MESQUITA et al., 2007).

Na Colômbia, amplitude de 20,70 a 59,40 mg kg<sup>-1</sup> de MS foi observada na avaliação de 1072 acessos de feijão do Banco de Germoplasma do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia (ISLAM et al., 2002). Beebe, Gonzalez e Rengifo, (2000) também quantificaram o teor de minerais de acessos do CIAT e constataram que há variabilidade genética suficiente para aumentar em 50% o teor de zinco nas sementes de feijão.

O controle genético do teor de zinco nas sementes de feijão se dá por um único alelo dominante e a ação gênica aditiva foi responsável pela maior parte da variação do zinco em sementes de feijão do tipo *Navy* (sementes pequenas e de tegumento branco) (CICHY et al., 2005). Também foi constatada alta herdabilidade em sentido restrito (82%) para o teor de zinco em gerações precoces, obtidas a partir do cruzamento entre as cultivares *Voyager* x *Albion*. Assim, considerando a herança monogênica dominante para o teor de zinco em feijão, se esperam facilidades para a seleção e para a transferência desse caráter pelos Métodos de Retrocruzamentos, Genealógico, Descendente de uma Única Semente ou Seleção Gamética.

Entretanto, em gerações avançadas (linhas endogâmicas F<sub>7:11</sub>), obtidas do cruzamento entre genitores de origem Andina e Mesoamericana, o teor de zinco apresentou distribuição contínua na população avaliada, caracterizando herança quantitativa (BLAIR et al., 2009). Face ao exposto, há dúvidas se o teor de zinco em feijão apresenta herança qualitativa ou quantitativa e nenhum estudo genético foi conduzido utilizando cruzamentos entre cultivares de feijão do grupo Mesoamericano, em cultivo no Brasil.

O teor de zinco nas sementes de feijão pode ser aumentado por melhoramento genético (HOUSE et al., 2002; ZIMMERMANN; HURRELL, 2002; BOUIS, 2003). Linhas F<sub>5:8</sub>, com incremento de 10% no teor de zinco, foram obtidas a partir de cruzamentos dirigidos entre genitores contrastantes para o teor de zinco (GELIN et al., 2007). Além disso, é preciso considerar que genótipos de feijão com alto teor de zinco nas sementes apresentaram maior biodisponibilidade do zinco (HOUSE et al., 2002) e deram origem a plantas mais eficientes no uso do zinco (MORAGHAN; GRAFTON, 1999). Portanto, o aumento do teor de zinco nas sementes de feijão é importante para melhorar a qualidade da nutrição humana e para o cultivo sustentável em áreas agrícolas deficientes em zinco. Além disso, o incremento do teor de zinco, via melhoramento genético, é importante devido à dificuldade de distribuir uniformemente, através de adubos, a quantidade de micronutrientes requerida pelas culturas e pelos custos da aplicação de zinco nas sementes.

A semente de feijão é composta pelo tegumento, que representa cerca de 9% na matéria seca, cotilédones, com 90%, e eixo embrionário, com apenas 1% (MESQUITA, 1989). No tegumento das sementes de feijão estão presentes mais de 80% do teor de cálcio e apenas de 7 a 12% do teor de zinco (MORAGHAN et al., 2006). Como a acumulação de minerais ocorre de maneira diferenciada no tegumento e nos cotilédones, a investigação de efeito materno na expressão dos teores de minerais em sementes de feijão se faz necessária. Isso porque tegumento é tecido materno e os cotilédones são produtos da fecundação, ou seja,

são tecidos que estão presentes, em uma mesma semente em gerações diferentes (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2004).

Efeito materno foi observado para o teor de cálcio (JOST et al, 2009a) e de ferro em feijão (JOST et al., 2009b). Nesses casos, a expressão genética do cruzamento somente foi observada em  $F_2$ , quando as sementes apresentaram cotilédones na geração  $F_1$ . Como consequência, a seleção foi realizada em  $F_3$  (sementes com cotilédones na geração  $F_2$ ), quando segregação máxima foi constatada.

A genética do teor de zinco em feijão foi pouco estudada e há dúvidas se o teor de zinco é dependente do tegumento e/ou dos cotilédones. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi investigar a existência de efeito materno na expressão do teor de zinco, bem como estimar a herdabilidade e os ganhos por seleção para o teor de zinco nas sementes de feijão, em gerações precoces, oriundas dos cruzamentos entre as cultivares Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os genitores utilizados nos cruzamentos dirigidos foram selecionados com base no teor de zinco e no valor agrônômico de acessos do Banco de Germoplasma de Feijão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os estudos de efeito materno e de herança do teor de zinco foram realizados por meio de cruzamentos entre Pérola ( $P_1$ : 32,91 mg  $kg^{-1}$  de matéria seca - MS) x Guapo Brilhante ( $P_2$ : 38,96 mg  $kg^{-1}$  de MS) e TPS Nobre ( $P_1$ : 38,60 mg  $kg^{-1}$  de MS) x Guapo Brilhante ( $P_2$ : 38,96 mg  $kg^{-1}$  de MS).

A cultivar Pérola apresenta sementes do tipo carioca (sementes bege com estrias marrons) e hábito de crescimento indeterminado com guias longas (tipo III). As cultivares Guapo Brilhante e a TPS Nobre pertencem ao grupo comercial preto e possuem hábito de crescimento indeterminado com guias curtas (tipo II). Os cruzamentos entre cultivares com diferentes colorações de tegumento (carioca e preto) são importantes porque permitem a utilização de marcador morfológico e a eliminação de plantas oriundas de autofecundação na geração  $F_1$ . Os cruzamentos dirigidos foram realizados em casa-de-vegetação, com emasculação do botão floral, utilizando o método de entrelaçamento (PETERNELLI; BORÉM, 1999).

As sementes  $F_1$  ( $P_1 \text{♀} \times P_2 \text{♂}$ ) e  $F_1$  recíproco ( $P_2 \text{♀} \times P_1 \text{♂}$ ) foram obtidas em cada combinação híbrida, no outono-inverno de 2007. Na primavera-verão de 2007, a autofecundação natural das plantas  $F_1$  e  $F_1$  recíproco, deram origem às gerações  $F_2$  e  $F_2$  recíproco, respectivamente, e os cruzamentos da geração  $F_1$  com o  $P_1$  (RCP<sub>1</sub>) e com o  $P_2$  (RCP<sub>2</sub>) originaram as gerações de retrocruzamentos. O processo foi repetido no outono-inverno de 2008, para possibilitar a avaliação de sementes das gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$ ,  $F_2$  recíproco e retrocruzamentos (RCP<sub>1</sub> e RCP<sub>2</sub>), nas mesmas condições de cultivo.

Em todas as etapas, a semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade para 5 litros da mistura solo + substrato comercial Plantimax® + casca de arroz carbonizada, na proporção de 3: 1: 1. O solo utilizado foi o Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico, com a seguinte composição química: pH (H<sub>2</sub>O): 5,8; matéria orgânica: 1,9%; fósforo: 15,3 mg dm<sup>-3</sup>; potássio: 84 mg dm<sup>-3</sup>; cálcio: 5,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; magnésio: 2,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; enxofre: 11,6 mg dm<sup>-3</sup>. A correção da fertilidade foi realizada de acordo com a análise química do solo. Irrigações diárias foram efetuadas para que a umidade do solo fosse mantida próxima à capacidade de campo. O controle de doenças e de insetos foi feito sempre que necessário a fim de não comprometer o desenvolvimento normal das plantas de feijão e para manter a integridade dos botões florais.

Na maturação foi efetuada a colheita individual das vagens. Essas foram debulhadas manualmente e colocadas em estufa (65 a 70° C) até atingir 13% de umidade média das sementes. Amostras das sementes secas foram moídas em micromoinho, até a obtenção de partículas de tamanho inferior a 1 mm. O teor de zinco foi determinado por meio de digestão nítrica-perclórica (HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub>, na proporção 3:1), de acordo com a metodologia descrita em Miyazawa et al. (1999). A leitura do teor de zinco foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica, com comprimento de onda de 213,9 nm.

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, considerando cinco repetições para os genitores e as gerações  $F_1$  e  $F_1$  recíproco e 24 repetições para as gerações  $F_2$  e  $F_2$  recíproco. Para testar a hipótese de efeito materno, efetuou-se a comparação entre as médias pelo teste t a 5% de significância para os contrastes  $P_1$  vs  $P_2$ ,  $P_1$  vs  $F_1$ ,  $P_2$  vs  $F_1$  recíproco,  $F_1$  vs  $F_1$  recíproco e  $F_2$  vs  $F_2$  recíproco.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas com as variâncias dos genitores  $P_1$  e  $P_2$  e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , RCP<sub>1</sub> e RCP<sub>2</sub>, com base na geração dos cotilédones,

para cada combinação híbrida. A herdabilidade foi estimada em sentido amplo  $h_a^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_P^2}$  e,

em sentido restrito  $h_a^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$ , de acordo com o método dos retrocruzamentos proposto por

Warner (1952). Sendo que: variância aditiva:  $\sigma_A^2 = 2\sigma_{F_2}^2 - (\sigma_{RCP_1}^2 + \sigma_{RCP_2}^2)$ , variância fenotípica:  $\sigma_P^2 = \sigma_{F_2}^2$  e variância de ambiente em  $F_2$ :  $\sigma_E^2 = 1/3(\sigma_{F_1}^2 + \sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2)$ .

A heterose na geração  $F_1$  foi quantificada pela forma percentual, tanto para a relacionada com a média dos genitores ( $H\% = \frac{F_1 - P}{P} \times 100$ ) quanto para a heterobeliose

( $HT\% = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100$ ), considerando-se  $P = \frac{P_1 + P_2}{2}$  e  $MP$  = melhor pai. Para a

predição de ganhos por seleção, foi considerada a seleção de 25% das plantas com sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ) com maior teor de zinco. O ganho esperado, considerando-se a seleção e a recombinação dos indivíduos superiores em plantas com sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), foi estimado pela expressão:  $\Delta G = DSxh_r^2$  e  $\Delta G(\%) = \frac{\Delta G \times 100}{\bar{F}_2}$ , em que

$DS$  é o diferencial de seleção, expresso por  $\bar{X}_s - \bar{X}_0$ , sendo  $\bar{X}_s$  = média das plantas selecionadas com sementes na geração  $F_2$ , e  $\bar{X}_0$  = média das plantas com sementes na geração  $F_2$ . As análises genético-estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cruzamento Pérola (32,91 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS) x Guapo Brilhante (38,96 mg kg<sup>-1</sup> de MS), o contraste  $P_1$  vs  $P_2$  foi significativo, demonstrando diferenças genéticas entre os genitores para o teor de zinco (Tabela 3). Os contrastes  $P_1$  vs  $F_1$  e  $P_2$  vs  $F_1$  recíproco foram significativos, ou seja, os teores de zinco das gerações  $F_1$  e  $F_1$  recíproco diferiram dos valores apresentados pelos genitores femininos, evidenciando que o teor de zinco é dependente dos cotilédones, que são produtos da fertilização. Para o contraste  $F_1$  vs  $F_1$  recíproco não foi observada diferença significativa, comprovando que não ocorreu efeito materno na expressão do teor de zinco em feijão e que qualquer um dos genitores poderá ser utilizado como genitor feminino nos cruzamentos dirigidos. Isso se justifica pelo fato de que o



zinco se concentra principalmente no embrião (cotilédones e eixo embrionário) das sementes de feijão (MORAGHAN; GRAFTON, 2002; MORAGHAN et al., 2002). Em função disso, recomenda-se que a seleção para alto teor de zinco em feijão seja iniciada em sementes  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), pois grande variabilidade genética foi constatada nessa geração.

TABELA 3 - Médias dos teores de zinco e seus respectivos desvios-padrão obtidos nos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e nas gerações  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$  e  $F_2$  recíproco nos cruzamentos entre Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria - RS, UFSM, 2009

Genitores e Gerações	Pérola x Guapo Brilhante	TPS Nobre x Guapo Brilhante
	Teor de zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ de MS)	
$P_1$	32,91 $\pm$ 1,93	38,60 $\pm$ 2,31
$P_2$	38,96 $\pm$ 1,02	38,96 $\pm$ 1,02
$F_1$	37,28 $\pm$ 3,51	42,36 $\pm$ 4,63
$F_1$ recíproco	37,37 $\pm$ 1,16	40,58 $\pm$ 3,82
$F_2$	38,20 $\pm$ 4,72	33,48 $\pm$ 4,50
$F_2$ recíproco	29,53 $\pm$ 6,1	37,99 $\pm$ 6,65
Contrastes	Probabilidade	
$P_1$ vs $P_2$	0,03*	75,76 <sup>ns</sup>
$P_1$ vs $F_1$	3,93*	15,41 <sup>ns</sup>
$P_2$ vs $F_1$ recíproco	4,93*	59,19 <sup>ns</sup>
$F_1$ vs $F_1$ recíproco	95,47 <sup>ns</sup>	53,08 <sup>ns</sup>
$F_2$ vs $F_2$ recíproco	0,00*	0,86*

\* Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t. <sup>ns</sup>: não significativo.

Entretanto, para o teor de cálcio (JOST et al., 2009a) e de ferro (JOST et al., 2009b) foi observado efeito materno significativo em sementes de feijão. Para esses minerais, a seleção deverá ser iniciada em sementes  $F_3$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), pois tegumento e cotilédones são tecidos que estarão presentes, na mesma semente, em gerações diferentes. Portanto, a investigação da ocorrência de efeito materno para os caracteres que conferem qualidade nutricional ao feijão é oportuna, pois terá implicações diretas na seleção e na condução das populações segregantes em programas de melhoramento.

Os genitores não foram contrastantes para o teor de zinco nas sementes de feijão no cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante e, por isso, não foi possível o estudo de efeito materno. Entretanto, as gerações precoces obtidas serão mantidas pelo Programa de Melhoramento da UFSM, pois os teores observados são considerados altos, quando

comparados aos valores de zinco determinados em 70 acessos de feijão no México (GUZMÁN-MALDONADO; ACOSTA-GALLEGOS; PAREDES-LÓPEZ, 2000), e similares aos verificados em 21 genótipos de feijão cultivados no Brasil (MESQUITA et al., 2007).

Os teores de zinco variaram de 21,76 mg kg<sup>-1</sup> de MS (planta F<sub>2</sub> do cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante) a 53,48 mg kg<sup>-1</sup> de MS (planta F<sub>2</sub> do cruzamento Pérola x Guapo Brilhante) (Tabela 4). Valores muito similares foram obtidos na avaliação de 1072 acessos de feijão da coleção de germoplasma do CIAT, na Colômbia (ISLAM et al., 2002). Nos acessos de feijão armazenados no CIAT, há variabilidade genética suficiente para aumentar em 50% o teor de zinco nas sementes de feijão, de acordo com Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000).

Assim, foi constatada segregação transgressiva em ambos os cruzamentos realizados (Tabela 4). Como consequência, foi possível obter plantas F<sub>2</sub> com 53,48 mg kg<sup>-1</sup> de MS, o que representou um aumento de 37,26% do teor de zinco, em relação ao genitor Guapo Brilhante (alto teor de zinco: 38,96 mg kg<sup>-1</sup> de MS). Linhas F<sub>5;8</sub>, com incremento de 10% no teor de zinco nos grãos de feijão, foram obtidas a partir de cruzamentos dirigidos entre genitores contrastantes para o teor de zinco (GELIN et al., 2007). Segregação transgressiva para o teor de zinco em feijão também foi observada em linhas endogâmicas (F<sub>7;11</sub>) (BLAIR et al., 2009). Esses resultados reforçam que é possível obter germoplasma de feijão com alto teor de zinco nas sementes via melhoramento genético (ZIMMERMANN; HURRELL, 2002; BOUIS, 2003). O aumento do teor de zinco nas sementes de feijão é importante para a nutrição humana e para o cultivo agrícola, pois aumenta a biodisponibilidade do zinco (HOUSE et al., 2002) e incrementa a eficiência no uso do zinco pelas plantas (MORAGHAN; GRAFTON, 1999).

A decomposição da variância fenotípica evidenciou a predominância dos efeitos genéticos em relação aos de ambiente, no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante, e herdabilidade, em sentido amplo, de alta magnitude ( $h^2_a$ : 74,46%) foi obtida (Tabela 4). Por sua vez, herdabilidade, em sentido restrito, de média magnitude ( $h^2_r$ : 57,46%) foi constatada, em razão da variância aditiva não constituir a totalidade da variância genética e os efeitos da variância de ambiente também serem expressivos. No cruzamento TPS Nobre x Guapo Brilhante, foram verificadas estimativas de herdabilidade, em sentido amplo, de média magnitude ( $h^2_a$ : 54,28%) e em sentido restrito de alta magnitude ( $h^2_r$ : 77,84%). Provavelmente, as diferenças quanto aos valores de herdabilidade obtidos possam ser justificadas pela diversidade genética entre os genitores utilizados nos cruzamentos dirigidos, que foi maior no cruzamento entre Pérola x Guapo Brilhante, pois envolveu cultivares de diferentes grupos.

TABELA 4 - Estimativas das médias dos genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , retrocruzamento 1 ( $RCP_1$ ) e retrocruzamento 2 ( $RCP_2$ ), com base na geração dos cotilédones, e seus respectivos desvios-padrão, parâmetros genéticos e predição de ganhos por seleção para o teor de zinco nas sementes de feijão dos cruzamentos Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria - RS, UFSM, 2009

Genitores e Gerações	Teor de zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ de MS)	
	Pérola x Guapo Brilhante	TPS Nobre x Guapo Brilhante
$P_1$	32,91 $\pm$ 1,93	38,60 $\pm$ 2,31
$P_2$	38,96 $\pm$ 1,02	38,96 $\pm$ 1,02
$F_1$	37,28 $\pm$ 3,51	42,36 $\pm$ 4,63
$F_2$	38, 20 $\pm$ 4,72	33,48 $\pm$ 4,50
$RCP_1$	34,30 $\pm$ 4,10	38,52 $\pm$ 4,61
$RCP_2$	34,33 $\pm$ 3,87	40,13 $\pm$ 1,86
Média	35,55	37,32
CVE (%)	13,73	13,40
Variância fenotípica ( $\sigma^2_P$ )	22,28	20,26
Variância de ambiente ( $\sigma^2_{EF_2}$ )	5,69	9,26
Variância genética ( $\sigma^2_G$ )	16,59	15,77
Variância aditiva ( $\sigma^2_A$ )	12,80	11,00
Herdabilidade ampla ( $h^2_a$ )	74,46	54,28
Herdabilidade restrita ( $h^2_r$ )	57,46	77,84
Heterose (H%)	3,75	9,24
Heterobeltiose $P_1$ (HT%)	13,29	9,75
Valor máximo nos genitores	40,46	42,66
Valor mínimo nos genitores	31,18	36,93
Valor máximo na $F_2$	53,48	39,54
Valor mínimo na $F_2$	30,84	21,76
Plantas selecionadas na $F_2$	5, 3, 24, 19, 15 e 4	10, 8, 12, 9, 7 e 1
Média original da $F_2$	38,20	33,48
Média das plantas selecionadas	43,60	38,74
Diferencial de seleção (DS)	5,40	5,26
Ganho por seleção ( $\Delta G$ )	3,10	4,09
Ganho por seleção ( $\Delta G$ %)	8,12	12,22
Média predita para o primeiro ciclo após a seleção	41,30	37,56

Em gerações precoces de feijão, obtidas a partir de cruzamentos entre genitores contrastantes para o teor de zinco, também foram obtidas estimativas de herdabilidade em sentido amplo e restrito de alta magnitude para feijão do tipo *Navy*, que é muito diferente dos tipos comerciais preto e de cores, amplamente consumidos no Brasil (CICHY et al., 2005). Considerando que esses autores constataram herança monogênica dominante para o teor de zinco em feijão, se espera facilidades para a seleção e para a transferência desse caráter, já em gerações precoces.

A variância aditiva foi responsável pela maior parte da variância genética em ambos os cruzamentos e as estimativas de herdabilidade, em sentido restrito, de moderada a alta foram obtidas (Tabela 4). No melhoramento de autógamas, a variância aditiva é de grande importância, pois não segrega de geração para geração, possibilitando o êxito na seleção em populações segregantes, pois os ganhos seletivos dependerão apenas da variância gamética (CARVALHO et al., 2001). Cichy et al. (2005) observaram que a ação gênica aditiva foi responsável pela maior parte da variação do zinco e que o controle genético do teor de zinco nas sementes de feijão se dá por um único alelo dominante. Por isso, os Métodos de Retrocruzamentos, Genealógico, Descendente de uma Única Semente ou Seleção Gamética são recomendados para a condução das populações segregantes.

Heterose tradicional de 3,75% e de 9,24% foram obtidas no cruzamento Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante, respectivamente, indicando que foi possível obter híbridos  $F_1$  superiores à média dos genitores (Tabela 4). Resultado semelhante foi verificado para a heterobeltiose e híbridos  $F_1$  superiores ao melhor genitor foram constatados. Assim, vigor híbrido foi observado para o teor de zinco em feijão e as hipóteses de dominância e de sobredominância devem ser consideradas. Entretanto, como o feijão é uma planta autógama, se espera que a heterose seja reduzida à metade em cada geração de autofecundação e, em conseqüência, a geração  $F_3$  poderá apresentar média inferior à geração  $F_2$ , devido ao aumento da homozigose. Face ao exposto, a avaliação em gerações avançadas se faz necessária para avaliar a segregação para esse caráter.

Com relação aos ganhos por seleção, considerando a pressão de seleção de 25% podem ser esperados ganhos de 8,12% e de 12,22% e média predita de 41,30 e de 37,58 mg  $kg^{-1}$  de MS, após o primeiro ciclo de seleção nos cruzamentos Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante, respectivamente. Portanto, a seleção precoce de germoplasma de feijão com elevado teor de zinco, poderá ser efetiva no desenvolvimento de cultivares de feijão de alto valor nutricional que poderão ser utilizadas na alimentação para diminuir os riscos de deficiência desse mineral e reduzir o número de casos de má nutrição.

Nesse sentido, o aumento do teor de zinco por melhoramento genético é uma estratégia de baixo custo e de alto benefício social para melhorar a qualidade nutricional das sementes de feijão. Entretanto, é preciso avaliar fitatos e fibra alimentar nas populações obtidas, pois esses compostos podem diminuir a absorção e a biodisponibilidade do zinco (KATHELEEN, 1998). Deste modo, a presença desses fatores antinutricionais deve ser considerada, pois podem estar associadas às carências nutricionais, como a deficiência de zinco, devido à formação de complexos de variada solubilidade e estabilidade (RAMÍREZ-CÁRDENAS, 2006).

## CONCLUSÕES

Não ocorre efeito materno na expressão do teor de zinco em sementes de feijão.

Herdabilidade, em sentido restrito, de alta (77,84% para TPS Nobre x Guapo Brilhante) a moderada (57,46% para Pérola x Guapo Brilhante) foi obtida para o teor de zinco em feijão.

Segregação transgressiva foi observada e é possível aumentar em 37,26% o teor de zinco em sementes de feijão por melhoramento genético.

A seleção precoce poderá ser efetiva no desenvolvimento de populações segregantes com alto teor de zinco nas sementes, em função dos elevados ganhos por seleção.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético poderá contribuir para a obtenção de alimentos com teores diferenciados de minerais. Em feijão, em particular, se faz necessário o conhecimento do controle genético dos teores de fósforo e de zinco nas sementes dessa leguminosa.

Como não foi verificada a presença de efeito materno significativo na expressão dos teores de fósforo e de zinco nas sementes de feijão, a seleção deverá ser iniciada em sementes na geração  $F_2$  (cotilédones na geração  $F_2$ ), quando alta variabilidade genética poderá ser observada.

O teor de fósforo em sementes de feijão apresenta herdabilidade em sentido restrito de alta (65,54%) a baixa (21,37%) magnitude e o teor de zinco, de alta (77,84%) a moderada (57,46%) magnitude. Estimativa de herdabilidade, em sentido restrito, elevada está associada a efeito gênico aditivo, possibilitando a fixação desses caracteres, já em gerações precoces.

Ocorre vigor híbrido para os teores de fósforo e de zinco nas sementes de feijão, contudo, como o feijão é uma planta autógama, é necessário a avaliação em gerações avançadas, pois genótipos com média inferior poderão ser observados.

Segregação transgressiva foi verificada em gerações precoces, indicando que é possível aumentar em 19,17% o teor de fósforo e em 37,26% o teor de zinco em sementes de feijão por melhoramento genético.

O feijão apresenta teores elevados de fósforo e de zinco em suas sementes, que podem ser aumentados por melhoramento genético, disponibilizando um alimento de alto valor nutricional para o consumo. Entretanto, se faz necessário o desenvolvimento de novas pesquisas para avaliar a biodisponibilidade do fósforo e do zinco nas sementes de feijão.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E.C.B. et al. Comparação dos teores de cobre e zinco em leguminosas cruas e após processadas termicamente em meio salino e aquoso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.3, p. 316-318, 2004.

BLAIR, M.W. et al. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, Netherlands, v.23, n.2, p.197-207, 2009.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R.E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **Food Chemistry**, Oxford, v.47, n.2, p.159-167, 1993.

BEEBE, S.; GONZALEZ, V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v.21, n.4, p.387-391, 2000.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, Minnesota, 2002. 368 p.

BOUIS, H.E. Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v.62, n.2 , p.403-411, 2003.

BROWN, K.H.; WUEHLER, S.E.; PEERSON, J.M. The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v.22, n.2, p.113-125, 2001.

CARVALHO, F.I.F. et al. **Estimativas e implicações da herdabilidade como estratégia de seleção**. Pelotas: UFPEL, 2001. 98 p.

CICHY, K.A. et al. Inheritance of seed zinc accumulation in navy bean. **Crop Science**, Madison, v.45, n.3, p.864-870, 2005.

COSTA, N.M.B.; LIBERATO, S.C. Biotecnologia na nutrição e saúde. In. COSTA, N.M.B.; BORÉM, A.(Ed.). **Biotecnologia e nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer os alimentos**. São Paulo. Nobel, 2003. Cap.3, p.71-127.

COSTA, G. et al. Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food Chemistry**, Oxford, v. 94, n. 3, p. 327-330, 2006.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. São Paulo: Manole, 2007. 992 p.

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

CUNHA, D.F.; CUNHA, S.F.C. Microminerais In: DUTRA-DE-OLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S. (Ed.). **Ciências nutricionais**. São Paulo: Sarvier, 1998. Cap. 9. p.141-165.

ESTEVES, A.M. **Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão**. 2000. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2ª ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1272 p.

FOSSARD, E. et al. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.80, n. 7, p.861-879, 2000.

GELIN, J.R. et al. Analysis of seed zinc and other minerals in a recombinant inbred population of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, Madison, v.47, n.4, p.1361-1366, 2007.

GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.80, n.13, p.1874-1881, 2000.

HOUSE, W.A. et al. Potential for increasing the amounts of bioavailable zinc in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through plant breeding. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.82, n.13, p.1452-1457, 2002.

ISLAM, F.M.A. et al. Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v.49, n.3, p.285-293, 2002.



JOST, E. et al. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.31-37, 2009a.

JOST, E. et al. Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.35-42, 2009b.

KATHLEEN, M.L. **Krause**: alimentos, nutrição e dietoterapia. 9 ed. São Paulo, Roca. 1998. 1179 p.

LONDERO, P.M.G. et al. Genética dos teores de fibras insolúvel e solúvel em grãos de feijão. **Revista Ceres**, Viosa, v.56, n.2, p.150-155, 2009.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S.M.F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.17, n.1, p.79-87, 2004.

MARTINEZ-DOMINGUEZ, B.; IBAÑEZ, M. B.; RINCÓN, F. Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 52, n. 3, p. 219-231, 2002.

MESQUITA, I. A. **Efeito materno na determinação do tamanho da semente do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1989. 70 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1989.

MESQUITA, F.R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1114-1121, 2007.

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Solos, 1999. p.171-223.

MORAGHAN, J.T.; GRAFTON, K. Seed-zinc concentration and the zinc-efficiency trait in navy bean. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n.4, p.918-922, 1999.

MORAGHAN, J. T.; GRAFTON, K. Distribution of selected elements between the seed coat and embryo of two black bean cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v.25, n.1, p.169-176, 2002.

MORAGHAN, J. T. et al. Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht v.246, n.2, p.175-183, 2002.

MORAGHAN, J.T. et al. Contrating accumulations of calcium and magnesium in seed coats and embryos of common bean and soybean. **Food Chemistry**, London, v.95, n.4, p.554-561, 2006.

MOURA, W.M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 306-312, 2001.

OLIVEIRA, T. C. Fósforo: função, metabolismo e recomendações. **Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v.1, n.1, p.1-24, 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Junta de Conselho de Especialistas FAO/WHO/UNU. **Necessidades de energia e proteína**. São Paulo: Roca, 1998. 225 p.

PRASAD, A.S. Zinc deficiency in women, infants and children. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v.15, n.2, p.113-120, 1996.

PENNINGTON, J.A.T.; YOUNG, B. Sodium, potassium, calcium, phosphorus and magnesium in foods from the United States Total Diet Study. **Journal of Food Composition and Analysis**, Roma, v.3, n.2, p.145-165, 1990.

PETERNELLI, L. A; BORÉM, A. **Hibridação em feijão**. In: BORÉM, A. Hibridação artificial em plantas. Viçosa: UFV. 1999. p. 269-294.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B. P. **Genética na Agropecuária**. Lavras: Ed. UFLA, 2004. 271 p.

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

REDDY, N. R.; SATHE, S.K.; SALUNKE, D.K. Phytates in legumes and cereals. In: CHICHESTER, C.O. (Ed). **Advances in food research**. New York. Academic Press, 1982. Cap. 1, p. 1-75.

RUEL, M.T.; BOUIS, H.E. Plant breeding: a long-term strategy for the control of zinc deficiency in vulnerable populations. **American Journal of Clinical Nutrition**, Houston, v.68, n.2, p.488-492, 1998.

SATHE, S.K., DESHPANDE, S.S., SALUNKE, D.H. Dry beans of *Phaseolus*. A review. Part 2. Chemical composition: Carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 21, n.2, p. 41-91, 1984.

SZCKUREK, E.I.; BJORNSSON, C.S.; TAYLOR, C.G. Dietary zinc deficiency and repletion modulate metallothionein immunolocalization and concentration in small intestine and liver of rats. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v.131, n.8, p.2132-2138, 2001.

WARNER, J. N. A method for estimating heritability. **Agronomy Journal**, Madison, v.44, n.8, p.427-430, 1952.

ZIMMERMANN, M.B.; HURRELL, R.F. Improving iron, zinc and vitamin A nutrition through plant biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v.13, n.2, p.142-145, 2002.

## APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Graus de liberdade (GL) e quadrado médio para teor de fósforo em  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca, considerando os genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e as gerações de feijão  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$ ,  $F_2$  recíproco, retrocruzamento 1 ( $RCP_1$ ) e retrocruzamento 2 ( $RCP_2$ ) obtidas nas combinações híbridas Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria – RS, UFSM, 2009

Causas da Variação	GL	Quadrado médio ( $\text{g kg}^{-1}$ de matéria seca)	
		Pérola x Guapo Brilhante	TPS Nobre x Guapo Brilhante
Tratamento	7	0,62*	0,54*
Resíduo	70		
Total	77		
Média		4,31	4,48
CVE		10,31	11,06
CVG		5,09	4,08
CVG/CVE		0,49	0,37

<sup>(1)</sup> \* = Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey; <sup>ns</sup> = não significativo.

CVE (%) = coeficiente de variação de ambiente.

CVG (%) = coeficiente de variação genético.

APÊNDICE 2 - Graus de liberdade (GL) e quadrado médio para teor de zinco em  $\text{mg kg}^{-1}$  de matéria seca, considerando os genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e as gerações de feijão  $F_1$ ,  $F_1$  recíproco,  $F_2$ ,  $F_2$  recíproco, retrocruzamento 1 ( $RCP_1$ ) e retrocruzamento 2 ( $RCP_2$ ) obtidas nas combinações híbridas Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante. Santa Maria – RS, UFSM, 2009

Causas da Variação	GL	Quadrado médio ( $\text{g kg}^{-1}$ de matéria seca)	
		Pérola x Guapo Brilhante	TPS Nobre x Guapo Brilhante
Tratamento	7	158,83*	87,43*
Resíduo	70		
Total	77		
Média		34,63	37,32
CVE		13,73	13,40
CVG		11,39	7,15
CVG/CVE		0,83	0,53

<sup>(1)</sup>\* = Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey; <sup>ns</sup> = não significativo.

CVE (%) = coeficiente de variação de ambiente.

CVG (%) = coeficiente de variação genético.

APÊNDICE 3 – Tipo de grão, Programa de Melhoramento obtentor/mantenedor da cultivar (origem), genealogia e hábito de crescimento (HC) das cultivares de feijão utilizadas como genitores para os estudos da genética dos teores de fósforo e de zinco em sementes de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2009

<b>Cultivar</b>	<b>Tipo de grão</b>	<b>Origem*</b>	<b>Genealogia**</b>	<b>HC***</b>
Pérola	Carioca	Embrapa – Arroz e Feijão	Seleção da cultivar Aporé	III
Guapo Brilhante	Preto	Embrapa – Clima Temperado	XAN 125 /BAT 336 // A83 / ICA Pijao	II
TPS Nobre	Preto	FT: Terassawa Produção de Sementes	FT 120/ FT 84-1806// FT 84-424	II

\*Origem: Embrapa – Arroz e Feijão: Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão, Goiânia, GO; Embrapa – Clima Temperado: Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, Pelotas, RS; FT: Francisco Terasawa Sementes, Ponta Grossa, PR.

\*\*Genealogia: /: cruzamento simples; //: cruzamento duplo; /// :cruzamento triplo.

\*\*\*HC: II: hábito de crescimento indeterminado com guias curtas; III: hábito de crescimento indeterminado com guias longas.