

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

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO PARA  
CARACTERES AGRONÔMICOS E COM QUALIDADE  
DE SEMENTES, NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Riteli Baptista Mambrin**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO PARA  
CARACTERES AGRONÔMICOS E COM QUALIDADE DE  
SEMENTES, NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA**

**Riteli Baptista Mambrin**

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 título do grau de **Mestre em Agronomia.**

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

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mambrin, Ritieli Baptista

Seleção de linhagens de feijão para caracteres agronômicos e com qualidade de sementes, nutricional e tecnológica / Ritieli Baptista Mambrin.-2013.

89 f.; 30cm

Orientadora: Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2013

1. Phaseolus vulgaris L. 2. Interação linhagem x ambiente 3. Correlação de Pearson. Minerais 4. Análise de trilha. Testes de vigor 5. Índice Z. Variabilidade genética I. Ribeiro, Nerinéia Dalfollo II. Título.

**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

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO PARA CARACTERES  
AGRONÔMICOS E COM QUALIDADE DE SEMENTES,  
NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA**

Elaborada por  
**Riteli Baptista Mambrin**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**Comissão Examinadora:**

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

**Lindolfo Storck, Dr. (UFSM)**

**Viviani Ruffo de Oliveira, Dr<sup>a</sup>. (UFRGS)**

**Liliane Márcia Mertz Henning, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

Santa Maria, 22 de fevereiro de 2013.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus Pais: Rita de Cássia Baptista Mambrin e

Ruicemar de Oliveira Mambrin

A minha irmã: Renata Mambrin Garlet

Ao meu sobrinho Lorenzo Garlet

A essas pessoas maravilhosas, que fazem parte da minha história, e que são as principais responsáveis pela formação do meu caráter.

**Dedico este trabalho**

## **AGRADECIMENTOS**

Neste momento gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus, que está sempre ao meu lado e me concedeu força durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais, ao Departamento de Fitotecnia e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do Mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerinéia Dalfollo Ribeiro, pela paciência e dedicação ao transmitir-me preciosos ensinamentos.

Aos meus colegas de setor, Allan Emanuel Mezzomo Zemolin, Carlos Rodrigo Bigolin, Daniele Piano Rosa, Eduardo Müller Gruhn, Josana de Abreu Rodrigues, Karine Andréia Barkert, Lucas da Silva Domingues, Micheli Thaíse Della Flora Possobom e Sandra Maria Maziero pelo companheirismo e colaboração na condução do trabalho.

As minhas amigas especiais, Gabriele Casarotto, Michele Heberle Lisboa e Paula Kielse pelo carinho, incentivo, compreensão e apoio que sempre me deram.

A todos, **MUITO OBRIGADO.**

## RESUMO

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

### SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO PARA CARACTERES AGRONÔMICOS E COM QUALIDADE DE SEMENTES, NUTRICIONALES TECNOLÓGICA

AUTORA: RITIELI BAPTISTA MAMBRIN  
ORIENTADORA: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO  
Local e data da Defesa: Santa Maria, 22 de fevereiro de 2013.

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tem uma grande importância nacional e, por isso, o desenvolvimento de novas cultivares com excelentes características agronômicas, com qualidade de sementes, nutricional e tecnológica, representaria uma alternativa para solucionar problemas alimentares, sociais e econômicos. Diante disso, foram conduzidos três experimentos em cultivo de safra 2010/2011, safrinha 2011 e safra 2011/2012. Os tratamentos consistiram de 16 linhagens avançadas de feijão, sendo 12 linhagens pertencentes a diferentes obtentores e quatro cultivares comerciais, utilizadas como testemunhas. Os objetivos deste trabalho foram: (1) avaliar os efeitos da interação linhagem x ambiente sobre os caracteres morfológicos, fenológicos e de produção das linhagens avançadas de feijão e estudar as associações lineares e as relações diretas e indiretas entre esses caracteres; (2) avaliar as características morfológicas e da qualidade sanitária e fisiológica de sementes de feijão por diferentes testes, bem como determinar a associação dos testes de vigor com a emergência de plântulas a campo; e (3) estudar a variabilidade genética das linhagens de feijão quanto à produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais em grãos e a associação linear entre esses caracteres, utilizando o índice Z para selecionar as linhagens com superioridade para a maioria dos caracteres. Interação linhagem x ambiente significativa foi obtida para a coloração do tegumento das sementes, o número de dias da emergência à floração, o número de vagens por planta, o número de sementes por planta, a massa de 100 sementes e a produtividade de grãos. Os caracteres morfológicos não apresentam estimativas de coeficiente de correlação favoráveis à seleção de linhagens de feijão com superioridade para a produtividade de grãos. Foi observado que existe variabilidade genética para se proceder à seleção de linhagens quanto às características morfológicas, qualidade sanitária e fisiológica de sementes. As linhagens Pérola, TB 02-24, LP 07-80, LP 08-90, CNFP 10104, Carioca, TB 02-07 e SM 1810 apresentaram maior germinação e vigor e as linhagens, Guapo Brilhante, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-2-3 mostraram-se com menor germinação e vigor. O teste de envelhecimento acelerado é o mais indicado para estimar o vigor de sementes de feijão. As linhagens de feijão apresentaram variabilidade genética para a produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de cálcio e de ferro em grãos. Correlações de baixa magnitude foram obtidas entre as variáveis em estudo, indicando a inexistência de relação casual. A seleção da linhagem Gen Pr 14-2-3 é recomendável, pois forneceu os maiores valores de índice  $\bar{Z}$  para a maioria dos caracteres.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L.. Interação linhagem x ambiente. Correlação de Pearson. Análise de trilha. Testes de vigor. Índice Z. Variabilidade genética. Minerais.

## ABSTRACT

Master's Thesis  
Graduate Program of Agronomy  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### SELECTION OF COMMON BEAN LINES OF HIGH PERFORMANCE AGRONOMIC AND SEEDS, NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL QUALITY

AUTHORESS: RITIELI BAPTISTA MAMBRIN  
ADVISOR: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO  
Place and Date of Defense: Santa Maria, February 22<sup>th</sup>, 2013.

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) has a great national importance and therefore, the development of new cultivars with excellent agronomic performance, seed quality, technological and nutritional, represent an alternative to solve food, social and economic problems. Therefore, experiments were carried out, conducted in three growing seasons: normal rainy 2010/2011, dry season 2011 and normal rainy 2011/2012. Treatments consisted of 16 inbred common bean lines, 12 inbred lines belonging to different breeders and four commercial cultivars used as control. The objectives of this work were: (1) evaluated the effects of the line x environment interaction on the morphological, phenological and grain yield characters of inbred common bean lines and to study the correlation and the direct and indirect association between these characters; (2) evaluate the morphological characteres and the health and physiological quality of bean seeds by different tests, and to determine the association of vigor tests with field emergence to evaluate the morphological and physiological and sanitary quality of seeds advanced lines of beans by different tests, and to determine the association of vigor tests with field emergence seedling in the field; and (3) study genetic variability of common bean lines as grain yield, cooking time and minerals concentration in grains, study the linear correlation between grain yield, cooking time and the minerals concentration in grains and use the Z index to select the common bean lines with superiority for most characters. Significant line x environment interaction was obtained for the seed coat colour, days number for the flowering, pods number per plant, seeds number per plant, 100 seed mass and grain yield. The grain yield and morphological characters don't show correlation coefficients estimates favorable for the selection common bean lines with high grain yield. It was observed that genetic variability exists to proceed with the selection of lines regarding morphological, physiological and sanitary quality of seeds. The lines, TB 02-24, LP 07-80, LP 08-90, CNFP 10104, Carioca, TB 02-07 and SM 1810 had higher germination and vigor and the lines, Guapo Brilhante, Gen P5-4-3-1 and Gen PR14-2-3 show up with lower germination and vigor. The accelerated aging test is the most appropriate to estimate the effect of bean seeds. The common bean lines showed genetic variability for the grain yield, the cooking time and the calcium and iron concentrations in grains. Correlation of low magnitude was found between the study variables, indicating the no existence of casual correlation. The selection of the Gen Pr 14-2-3 line is recommended because it provided the highest Z index values for most characters. According to the results, genetic variability exists to make selection of lines as the morphological, physiological and sanitary quality of the seed.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L.. Line x environment interaction. Pearson correlation. Path analysis. Vigor test, Index Z. Genetic variability. Minerals.



## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 2

- FIGURA 1 – Representação do índice  $\bar{Z}$  para produtividade de grãos (produtividade,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), tempo de cozimento (cozimento, minutos: segundos), concentração de potássio (K,  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca - MS), cálcio (Ca,  $\text{g kg}^{-1}$  de MS), ferro (Fe,  $\text{mg kg}^{-1}$  de MS), zinco (Zn,  $\text{mg kg}^{-1}$  de MS) e cobre (Cu,  $\text{g kg}^{-1}$  de MS) nas sementes das sete melhores linhagens de feijão que apresentaram as maiores estimativas médias do índice  $\bar{Z}$ . Santa Maria- RS, UFSM.....80

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

- TABELA 1 – Temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed) e precipitação (Prec) média mensal nos períodos de cultivo de safra 2010/2011, de safrinha 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM..... 20
- TABELA 2 – Resumo da análise de variância conjunta dos dados de altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 sementes (M100S, g) e produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra de 2010/2011, de safrinha de 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM..... 25
- TABELA 3 – Valores médios obtidos para a coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), massa de 100 sementes (M100S, g) e produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011 (S.10/11), de safrinha de 2011 (S.11) e de safra 2011/2012 (S.11/12). Santa Maria - RS, UFSM..... 28
- TABELA 4 – Valores médios obtidos para a altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias) e número de sementes por vagem (NSV) de linhagens avançadas de feijão, obtidas em cultivos de safra 2010/2011 (S.10/11), de safrinha de 2011 (S.11) e de safra 2011/2012 (S.11/12). Santa Maria - RS, UFSM..... 31
- TABELA 5 – Estimativas de correlação de Pearson entre os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 sementes (M100S, g) e produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011, de safrinha de 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM..... 34

TABELA 6 – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da altura de inserção da primeira vagem (A1V), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias), número de vagens por planta (NVP) e número de sementes por vagem (NSV) sobre a produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011, de safrinha de 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM..... 35

## ARTIGO 2

TABELA 1 – Análise de variância contendo as fontes de variação (FV), os graus de liberdade (GL), os quadrados médios (QM), o coeficiente de variação (CV) em porcentagem e as médias para os caracteres: peso de 1000 sementes (P100, g), coloração do tegumento das sementes (COR, L), conteúdo de lignina no tegumento (LIG), comprimento das sementes (C, cm), largura das sementes (L, cm), espessura das sementes (E, cm), incidência de *Fusarium* sp. (F, %), incidência de *Macrophomina phaseolina* (M, %), germinação (G, %), primeira contagem de germinação (PCG, %), envelhecimento acelerado (EA, %), condutividade elétrica (CE,  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), comprimento da parte aérea (CPA, cm), comprimento da raiz (CR, cm), comprimento total da plântula (CT, cm), massa seca da parte aérea (MSPA, g), massa seca da raiz (MSR, g), massa seca total (MST, g) e emergência de plântulas à campo (EMERG, %) de 16 linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivo de safra de 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM..... 60

TABELA 2 – Valores médios obtidos para os caracteres: peso de 1000 sementes (P1000, g), coloração do tegumento das sementes (COR, L), conteúdo de lignina no tegumento (LIG, %), comprimento das sementes (C, cm), largura das sementes (L, cm), espessura das sementes (E, cm), incidência de *Fusarium* sp. (F, %) e incidência de *Macrophomina phaseolina* (M, %) de 16 linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivo de safra de 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM..... 61

TABELA 3 – Valores médios obtidos para os caracteres: germinação (G, %), primeira contagem de germinação (PCG, %), envelhecimento acelerado (EA, %), condutividade elétrica (CE,  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), comprimento da parte aérea (CPA, cm), comprimento da raiz (CR, cm), comprimento total da plântula (CT, cm), massa seca da parte aérea (MSPA, g), massa seca da raiz (MSR, g), massa seca total (MST, g) e emergência de plântulas a campo (EMERG, %) de 16 linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivo de safra de 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM..... 62

TABELA 4 – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres emergência de plântulas a campo (EMERG), germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), comprimento total da plântula (CT) e massa seca total (MST) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM..... 63

### ARTIGO 3

TABELA 1 – Temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed) e precipitação (Prec) média mensal nos períodos de cultivo de safra 2010/2011 e de safrinha 2011. Santa Maria - RS, UFSM..... 69

TABELA 2 – Resumo da análise de variância conjunta dos dados de produtividade de grãos (produtividade,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), tempo de cozimento (cozimento, minutos: segundos), concentração de minerais nos grãos: potássio ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca – MS), cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$  de MS), ferro ( $\text{mg kg}^{-1}$  de MS), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$  de MS) e cobre ( $\text{g kg}^{-1}$  de MS) e índice  $\bar{Z}$  de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra de 2010/2011 e de safrinha de 2011. Santa Maria- RS, UFSM ..... 73

TABELA 3 – Médias dos caracteres produtividade de grãos (PROD,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), tempo de cozimento dos grãos (cozimento, minutos: segundos), concentração de minerais nos grãos: potássio (K,  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca- MS), cálcio (Ca,  $\text{g kg}^{-1}$  de MS) e ferro (Fe,  $\text{mg kg}^{-1}$  de MS) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011 (S. 2010/2011) e de safrinha 2011 (S. 2011). Santa Maria- RS. UFSM ..... 75

TABELA 4 – Estimativas dos coeficientes de correlações de Pearson entre os caracteres produtividade de grãos (produtividade,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), tempo de cozimento (cozimento, segundos) e concentração de minerais nos grãos: potássio ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca – MS), cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$  de MS), ferro ( $\text{mg kg}^{-1}$  de MS), zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$  de MS) e cobre ( $\text{g kg}^{-1}$  de MS) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra de 2010/2011 e de safrinha de 2011. Santa Maria- RS, UFSM ..... 78

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2 ARTIGO 1 – SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO COM ALTA<br/>PRODUTIVIDADE, BASEADO EM CARACTERES MORFOLÓGICOS,<br/>FENOLÓGICOS E DE PRODUÇÃO.....</b> | <b>16</b> |
| <b>Resumo.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.1 Introdução.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>2.2 Material e métodos.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.3 Resultados e discussão.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>2.4 Conclusões.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>2.5 Agradecimentos.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>2.6 Referências bibliográficas .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3 ARTIGO 2 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E QUALIDADE<br/>SANITÁRIA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE LINHAGENS AVANÇ<br/>DAS DE FEIJÃO.....</b>        | <b>41</b> |
| <b>Resumo.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>3.1 Introdução.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>3.2 Material e métodos.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.3 Resultados e discussão.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>3.4 Conclusões.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>3.5 Agradecimentos.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>3.6 Referências bibliográficas.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>4 ARTIGO 3 – SELEÇÃO COMBINADA PARA PRODUTIVIDADE DE<br/>GRÃOS, QUALIDADE DE COZIMENTO E NUTRICIONAL EM<br/>FEIJÃO.....</b>                        | <b>64</b> |
| <b>Resumo.....</b>  | <b>64</b> |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>64</b> |
| <b>4.1 Introdução.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>4.2 Material e métodos.....</b>  | <b>68</b> |
| <b>4.3 Resultados e discussão.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>4.4 Conclusões.....</b>  | <b>81</b> |
| <b>4.5 Agradecimentos.....</b>  | <b>81</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.6 Referências bibliográficas.....</b> | <b>81</b> |
| <b>5 DISCUSSÃO.....</b>                    | <b>85</b> |
| <b>6 CONCLUSÕES .....</b>                  | <b>86</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>    | <b>87</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) representa cerca de 50% dos grãos de legumes consumidos no mundo (TALUDER et al., 2010). É uma espécie cultivada por pequenos e grandes produtores rurais, em sistemas de produção diversificados, sendo cultivado durante todo o ano e em praticamente todas as regiões brasileiras. A cultura tem importância econômica e social no Brasil, pois o país é o maior produtor e consumidor mundial (FAO, 2009). Além disso, o feijão faz parte da dieta diária de grande parte da população nacional, pois é uma importante fonte de proteínas, carboidratos complexos, vitaminas, minerais e fibras (RIOS et al., 2003), além de possuir constituintes químicos como os oligossacarídeos, que são considerados componentes com ação funcional, apresentando efeitos fisiológicos benéficos e/ou reduzindo o risco de doenças crônicas (LIÃO et al., 2010).

No Brasil, a maioria dos programas de melhoramento de feijão concentra esforços no aumento da produtividade de grãos. Entretanto, a baixa utilização de sementes legais para a implantação da lavoura, contribui para os baixos índices de produtividade de grãos historicamente observados para o feijão. Hoje em dia, cada vez mais os consumidores buscam alimentos ricos nutricionalmente, de baixo custo e de rápido preparo. Portanto, é oportuno o desenvolvimento de novas cultivares com boas características agronômicas, agregada a alta qualidade nutricional, tecnológica e de sementes, fato que resultaria em vantagens mercadológicas tanto aos produtores rurais quanto aos consumidores.

Para que uma nova cultivar seja lançada no mercado e tenha uma boa aceitação por parte dos produtores e consumidores, esta precisa possuir um diferencial, uma característica que a torne distinta de outras cultivares já registradas e/ou protegidas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Para o registro de uma nova cultivar de feijão, o MAPA requer que sejam realizadas avaliações da qualidade nutricional e tecnológica das linhagens em estudo. A qualidade nutricional é expressa pelo teor de proteína e a qualidade tecnológica, pelo tempo de cozimento. A avaliação do poder germinativo por meio do teste padrão de germinação (BRASIL, 2010), se faz necessária para a comercialização de sementes. Portanto, a realização de estudos específicos quanto a concentração de minerais, quanto a qualidade fisiológica e sanitária, além do estudo de outros testes de vigor que possam detectar com maior precisão a qualidade das sementes de feijão, significaria um avanço tecnológico sobre as cultivares até hoje registradas.

O desenvolvimento de novas cultivares de feijão com excelentes características agronômicas (como alta produtividade de grãos e porte ereto), qualidade de sementes (alta germinação e vigor), nutricionais (alta concentração de minerais) e tecnológicas (reduzido tempo de cozimento), representa uma alternativa para solucionar problemas sociais e econômicos. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram: (1) investigar os efeitos da interação linhagem x ambiente sobre os caracteres morfológicos, fenológicos e de produção e estudar as associações lineares e as relações diretas e indiretas entre esses caracteres; (2) analisar as características morfológicas e a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de linhagens avançadas de feijão; além de identificar o teste de vigor mais discriminativo para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão; (3) avaliar a variabilidade genética das linhagens de feijão quanto à produtividade de grãos, a concentração de minerais e o tempo de cozimento, estudar a associação linear entre esses caracteres e utilizar o índice Z para selecionar as linhagens avançadas com superioridade para a maioria dos caracteres.

A dissertação está dividida em três artigos científicos. O primeiro, intitulado “Seleção de linhagens de feijão com alta produtividade, baseada em caracteres morfológicos, fenológicos e de produção” é apresentado nas normas da revista Pesquisa Agropecuária Tropical. O segundo, “Características morfológicas e qualidade sanitária e fisiológica de sementes de linhagens avançadas de feijão” atende às normas da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira. O terceiro, “Seleção combinada para produtividade, qualidade de cozimento e minerais em grãos de feijão” está formatado nas normas da revista Ciência Agronômica.



## 2 ARTIGO 1

# SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO COM ALTA PRODUTIVIDADE, BASEADA EM CARACTERES MORFOLÓGICOS, FENOLÓGICOS E DE PRODUÇÃO

### RESUMO

A seleção indireta, por meio de caracteres que apresentam alta correlação com a produtividade de grãos, contribui para a eficiência dos programas de melhoramento genético de feijão. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da interação linhagem x ambiente sobre os caracteres morfológicos, fenológicos e de produção de linhagens avançadas de feijão e estudar as associações lineares e as relações diretas e indiretas entre esses caracteres. Para tanto, 16 linhagens avançadas de feijão foram avaliadas em três épocas de cultivo (safra 2010/2011, safrinha 2011 e safra 2011/2012). Interação linhagem x ambiente significativa foi obtida para a coloração do tegumento das sementes, o número de dias da emergência à floração, o número de vagens por planta, o número de sementes por planta, a massa de 100 sementes e a produtividade de grãos. As linhagens CHC 01175, LP 08-90, SM 1107, CNFP 10104 e SM 1810 foram as mais produtivas nos três ambientes de cultivo. A produtividade de grãos correlacionou-se de maneira linear e positiva com o número de dias da emergência a floração, o número de dias da emergência a maturação, o número de sementes por planta, o número de sementes por vagem e a massa de 100 sementes. Coeficiente de correlação linear positivo ( $r = 0,563$ ) e alto efeito direto (0,578) foram verificados entre a produtividade de grãos e o número de dias da emergência à floração. A seleção indireta para a floração tardia é eficiente para o aumento da produtividade de grãos em linhagens de feijão. Os caracteres morfológicos não apresentam estimativas de coeficiente de correlação favoráveis à seleção de linhagens de feijão com superioridade para a produtividade de grãos.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Phaseolus vulgaris* L. Interação linhagem x ambiente. Correlação de Pearson. Análise de trilha.

### SELECTION OF COMMON BEAN LINES WITH HIGH GRAIN YIELD BASED IN MORPHOLOGICAL, PHENOLOGICAL AND GRAIN YIELD CHARACTERS

### ABSTRACT

The indirect selection for the characters that showed high correlation with grain yield may contribute for the efficiency of the common bean genetic breeding program. The objective of this work was to evaluate the effects of the line x environment interaction on the morphological, phenological and grain yield characters of inbred common bean lines and to study the correlation and the direct and indirect association between these characters. For this, 16 inbred common bean lines were evaluated in three growing seasons (normal rainy 2010/2011, dry season 2011 and normal rainy 2011/2012). Significant line x environment

interaction was obtained for the seed coat colour, days number for the flowering, pods number per plant, seeds number per plant, 100 seed mass and grain yield. The CHC 01175, LP 08-90, SM 1107, CNFP 10104 and SM 1810 lines were the most productive in the three growing seasons. The grain yield showed correlated positively and linearly with the days number for the flowering, days number for the maturity, seeds number per plant, seeds number per pod and 100 seed mass. A positive correlation coefficient ( $r= 0.563$ ) and highest direct effect (0.578) was found between grain yield and days number for the flowering. The indirect selection by late flowering is effective to increase grain yield in common bean lines. The morphological characters don't show correlation coefficients estimates favorable for the selection common bean lines with high grain yield.

**KEYWORDS:** *Phaseolus vulgaris* L. Line x environment interaction. Pearson correlations. Path analysis.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado no Brasil por pequenos produtores descapitalizados, com baixo uso de insumos externos, e voltado, sobretudo, para a subsistência de suas próprias famílias. Porém, essa tradição tem sido modificada e, nos últimos 20 anos, há um crescente interesse de produtores de outras classes econômicas, que vêm adotando tecnologias avançadas, tais como irrigação, controle fitossanitário e colheita mecanizada, para cultivo de feijão em grande escala, com maior aporte de insumos no processo produtivo (Bertoldo et al. 2008).

No Brasil, o cultivo de feijão é realizado em três épocas de semeadura: safra das águas (safra), safra da seca (safrinha) e safra de outono/inverno (Seab 2009). A produção nacional estimada nas três épocas foi de 2,90 milhões de toneladas no ano de 2012, sendo 22,3% menor do que a produção obtida no ano anterior (Conab 2012). No Estado do Rio Grande do Sul, o cultivo do feijão é efetuado em duas épocas de semeadura: safra (meados de setembro até o final de novembro) e safrinha (meados de janeiro até o final de fevereiro) (Ctsbf 2010). Na safra 2011, a produção estadual foi de 65,3 mil toneladas e, na safrinha 2012, de 28,8 mil toneladas, o que representa uma queda na produtividade de 31,2% e de 0,7%, respectivamente, com relação ao ano agrícola anterior (Conab 2012).

Como o cultivo de feijão é realizado em praticamente todo o território nacional e, portanto, em variadas condições edafoclimáticas e diferentes épocas do ano, o estudo da interação genótipo x ambiente (G x A) é de extrema importância para a seleção de linhagens de feijão com caracteres desejáveis. Quando se considera uma série de ambientes, além do efeito genético e ambiental, detecta-se, também, efeito causado pela interação G x A (Cruz & Regazzi 2004). Tal interação é influenciada por diferentes fatores, entre os quais se destacam o nível tecnológico, a variação entre anos, locais e épocas de semeadura. Em experimentos de competição de cultivares de feijão, conduzidos em Minas Gerais (Ramalho et al. 1998) e em Goiás (Pereira et al. 2010a), foi constatado que as interações genótipos x épocas de cultivo e genótipos x anos foram mais expressivas. Por isso, cabe ao melhorista avaliar a magnitude e a significância da interação G x A por meio de avaliações de linhagens em diversos ambientes, permitindo, assim, a sua indicação para ambientes específicos e/ou gerais.

O cultivo do feijão apresenta papel fundamental no contexto sócio-econômico nacional, uma vez que o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial da cultura (Fao 2009). Nesse sentido, os programas de melhoramento genético de feijão têm buscado o aumento da produtividade de grãos e o desenvolvimento de novas cultivares com maior potencial produtivo, visando maiores rendimentos e vantagens mercadológicas, tanto aos produtores quanto aos consumidores (Barili et al. 2011). Além da produtividade de grãos, outros caracteres têm sido pesquisados pelos melhoristas, tais como a seleção direcionada para os caracteres morfológicos, fenológicos e de produção. Porém, são encontradas dificuldades no processo de seleção de linhagens superiores, em função do efeito do ambiente e da interação genótipo x ambiente na constituição fenotípica de um caráter (Coimbra et al. 2008).

O conhecimento da associação linear ou de Pearson entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção de um deles

apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade, ou tenha problemas de mensuração e identificação (Cruz & Regazzi 2004). O estudo da correlação entre caracteres é realizado quando se tem duas ou mais variáveis e deseja-se conhecer a existência ou não de uma associação entre essas, já que a seleção sobre determinado caractere pode alterar o comportamento do outro (Ferreira 2009).

Contudo, em certos casos, o coeficiente de correlação de Pearson entre dois caracteres pode produzir grandes equívocos a respeito da relação que há entre essas duas variáveis, não sendo uma medida real de causa e efeito. Assim, um alto ou baixo coeficiente de correlação de Pearson entre duas variáveis pode ser o resultado do efeito que, sobre essas duas variáveis, tem uma terceira variável ou grupo de variáveis (Resende 2002). Uma medida mais informativa sobre a relação entre os caracteres é obtida pela análise de trilha, que possibilita identificar caracteres que possam ser usados como critério de seleção indireta (Hoogerheide et al. 2007). Essa técnica tem sido comumente empregada para desdobrar as correlações lineares existentes entre os caracteres, em efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre uma variável principal, básica ou dependente, possibilitando a identificação daqueles que podem ser utilizados na seleção indireta (Cruz & Regazzi 2004).

Os coeficientes de correlação simples, apesar de serem de relevante utilidade na quantificação das influências de fatores de caracteres complexos, geralmente, não fornecem a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores. Nesse caso, a natureza complexa e quantitativa do caractere produtividade de grãos em feijão, torna a seleção direta eficiente somente em gerações avançadas, quando alta homozigose for observada nas linhagens (Ramalho et al. 1993). Esse fato representa anos de espera para que a seleção possa ser efetuada com eficiência, além do descarte de grande número de linhagens que foram avançadas por várias gerações. Por isso, a seleção indireta tem recebido maior atenção, pois possibilita a seleção precoce das linhagens mais promissoras.

Diante desses aspectos, os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos da interação linhagem x ambiente sobre os caracteres morfológicos, fenológicos e de produção de linhagens avançadas de feijão, além de estudar as associações lineares e as relações diretas e indiretas entre esses caracteres.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (latitude 29°42S, longitude 53°49W e 95 m de altitude), em três épocas de cultivo: safra 2010/2011 (semeadura em 13 de outubro de 2010), safrinha 2011 (semeadura em 16 de fevereiro de 2011) e safra 2011/2012 (semeadura em 31 de outubro de 2011). As condições climáticas ocorridas durante o período de condução dos experimentos encontram-se resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed) e precipitação (Prec) média mensal nos períodos de cultivo de safra 2010/2011, safrinha 2011 e safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM.

|            | -----Safra 2010/2011----- |      |       |       | ----Safrinha 2011----- |      |       |      | ----Safra 2011/2012----- |      |       |      |
|------------|---------------------------|------|-------|-------|------------------------|------|-------|------|--------------------------|------|-------|------|
|            | out                       | nov  | dez   | jan   | fev                    | mar  | abr   | mai  | out                      | nov  | dez   | jan  |
| T min (°C) | 14,4                      | 15,2 | 15,4  | 22,8  | 20,6                   | 17,2 | 14,0  | 7,0  | 13,0                     | 17,6 | 17,0  | 19,4 |
| T max (°C) | 23,0                      | 29,0 | 29,4  | 29,2  | 27,8                   | 26,2 | 22,8  | 24,2 | 28,0                     | 29,2 | 28,6  | 29,6 |
| T med (°C) | 18,6                      | 20,5 | 23,7  | 25,5  | 23,7                   | 21,2 | 17,9  | 14,6 | 18,8                     | 22,0 | 23,0  | 24,7 |
| Prec (mm)  | 49,3                      | 71,3 | 157,9 | 127,1 | 165,8                  | 54,9 | 164,9 | 54,9 | 184,8                    | 41,6 | 134,0 | 68,8 |

O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961), com chuvas, normalmente bem distribuídas durante todo o ano. A área experimental possui solo classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico, o qual apresentou a seguinte composição química no cultivo da safra 2010/2011: pH: 5,8; matéria orgânica: 2%; cálcio: 5,9 cmol dm<sup>3</sup>; magnésio: 3,2 cmol dm<sup>3</sup>; alumínio: 0,2 cmol dm<sup>3</sup>; fósforo: 10,9 mg dm<sup>3</sup>; potássio: 0,17 mg dm<sup>3</sup>. Para a realização dos experimentos, o solo

foi preparado pelo sistema de plantio convencional e a adubação foi realizada conforme a interpretação da análise química do solo no primeiro cultivo (safra 2010/1011). Na base foram aplicados  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 5-30-20 (nitrogênio, fósforo e potássio - NPK) e em cobertura foram adicionados  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, como uréia (45% de nitrogênio), no estágio de crescimento de primeira folha trifoliolada (V3). Nos cultivos subsequentes (safrinha 2011 e safra 2011/2012) foi realizada a adubação de manutenção, aplicando-se na base  $190 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 5-30-20 e em cobertura,  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio (uréia) aplicado no estágio de crescimento de V3.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, seguindo os requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU) para a inscrição de cultivares de feijão no Registro Nacional de Cultivares - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA) (Brasil 2006). Cada parcela foi constituída por quatro linhas de 4,0 m de comprimento e o espaçamento entre linhas foi de 0,5 m. As duas linhas centrais da parcela foram consideradas como parcela útil, totalizando uma área de  $4 \text{ m}^2$ , enquanto que as duas linhas externas foram consideradas como bordadura.

Na safra 2010/2011, os tratamentos consistiram de 14 linhagens de feijão, sendo dez linhagens avançadas desenvolvidas por diferentes obtentores: TB 02-24 e TB 02-07 (Embrapa Clima Temperado), SM 1107 e SM 1810 (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO), CHC 01175 e CHP 986620 (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI), LP 08-90 e LP 07-80 (Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR), BRS MG Realce e CNFP 10104 (Embrapa Arroz e Feijão) e quatro linhagens comerciais (testemunhas): Guapo Brilhante, BRS Valente, Carioca e Pérola. Na safrinha 2011 e na safra 2011/2012 foram incluídas mais duas linhagens, GEN P5-4-3-1 e GEN Pr 14-2-3 (Instituto Agrônômico de Campinas), totalizando 16 tratamentos nesses ambientes. Todas as

linhagens avaliadas são do grupo gênico Mesoamericano, exceto a TB 02-24 e BRS MG Realce que são do grupo gênico Andino.

A densidade de semeadura foi ajustada de acordo com o hábito de crescimento (HC) de cada linhagem, sendo utilizadas 18 sementes por metro linear para as linhagens de HC determinado (tipo I), 16 sementes por metro linear para as linhagens de HC indeterminado com guias curtas (tipo II) e 13 sementes por metro linear para as linhagens de HC indeterminado com guias longas (tipo III), para uma expectativa de população de plantas de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>, 260.000 plantas ha<sup>-1</sup> e 220.000 plantas ha<sup>-1</sup>, para as linhagens do tipo I, II e III, respectivamente.

A fim de fornecer a espécie cultivada vantagem competitiva sobre as espécies daninhas, foram efetuados controles mecânicos, por meio de capinas manuais e/ou arranquios das plantas invasoras, quando estas se encontravam em estágio inicial de desenvolvimento. As precauções dos danos causados por insetos foram realizadas durante todas as etapas de desenvolvimento, no sentido de diagnosticar com antecedência as incidências que pudessem ocasionar danos econômicos. Desta forma, foi aplicado o inseticida Metamidofós na dose de 0,8 L ha<sup>-1</sup> sempre que a infestação atingiu, aproximadamente, 5% de dano. Já, o controle de doenças não foi efetuado, pois foi avaliada a reação das linhagens às principais doenças que podem ocorrer durante o desenvolvimento das plantas de feijão. Também, foram feitas irrigações por aspersão, principalmente, no período de estabelecimento do estande inicial da cultura, para não comprometer o desenvolvimento da mesma.

Foram realizadas avaliações morfológicas, fenológicas e de produção previstas no VCU de feijão (Brasil 2006). Ao final da maturação, foram coletadas ao acaso 10 plantas na área útil da parcela para a determinação dos caracteres morfológicos, altura de inserção da primeira vagem e altura de inserção da última vagem. Também, destas mesmas 10 plantas, foram determinados os caracteres de produção: número de vagens por planta, número de

sementes por planta, número de sementes por vagem e massa de 100 sementes. A produtividade de grãos foi quantificada na área útil, para isso as demais plantas da área útil foram colhidas na maturação. As plantas foram trilhadas e as sementes foram secas ao sol e em estufa de ar forçado (65 a 70° C) até 13% de umidade, quando se determinou a produtividade de grãos.

Os caracteres de fenologia, número de dias da emergência à floração e número de dias da emergência à maturação foram avaliados quando 50% mais uma das plantas da área útil se encontravam em floração plena (R6) e em maturação para a colheita (R9), respectivamente, utilizando a escala fenológica de desenvolvimento adaptada por Ciat (1987).

A coloração do tegumento dos grãos foi avaliada com um colorímetro, marca MINOLTA, modelo CR-310, que faz a leitura de cores num sistema tridimensional avaliando a cor em três eixos. O eixo vertical “L” avalia a cor da amostra do preto ao branco, o eixo “a” da cor verde ao vermelho e o eixo “b” da cor azul ao amarelo. Para o feijão a claridade dos grãos tem grande importância, por isso, apenas o valor de “L” foi considerado para as análises estatísticas. Amostras de sementes de cada linhagem foram dispostas sobre placas de *petri* de 22 cm de diâmetro e 3 cm de altura, de maneira que as mesmas cobrissem completamente o fundo do recipiente. Destas, foram feitas a determinação da coloração do tegumento, sempre durante o dia, no interior de uma sala iluminada com lâmpadas fluorescentes, utilizando a metodologia descrita por Brackmann et al. (2002).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, à análise de variância conjunta, de acordo com o delineamento de blocos casualizados. A homogeneidade das variâncias residuais foi verificada pelo teste F máximo de Hartley (Cruz & Regazzi 2004). O teste F a 5% de probabilidade foi utilizado para testar as hipóteses dos efeitos principais e da interação linhagem x ambiente (L x A). O efeito de linhagens foi considerado fixo e os demais (bloco, épocas e interação L x A) foram



considerados como de efeitos aleatórios. A comparação das médias entre as linhagens foi realizada pelo teste de Scott-Knott e o teste Tukey foi usado para a comparação entre os ambientes, ambos a 5% de probabilidade.

As associações entre os caracteres foram obtidas a partir da estimativa da matriz com os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os dez caracteres avaliados, sendo verificada a significância dos coeficientes por meio do teste *t* de Student a 5% de probabilidade. O diagnóstico de multicolinearidade foi realizado conforme critério de Montgomery & Peck (1982) descrito por Cruz & Carneiro (2003), visando eliminar caracteres que possam resultar em coeficientes viesados na análise de trilha. Após, foi realizada a análise de trilha da produtividade de grãos em função dos demais caracteres que são explicativos. As análises foram realizadas utilizando-se a planilha eletrônica Office Excel e os programas Genes (Cruz 2006) e Saeg (2007).

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste F máximo de Hartley ( $F_m$ ), dado pela relação entre o maior e o menor quadrado médio residual dos ambientes ( $F_m = >QMe/<QMe$ ), comparado com um valor tabelado, revelou que as variâncias residuais foram homogêneas ( $F_m < F_t$ ) para todas as variáveis em estudo, o que possibilita a realização da análise de variância conjunta. De acordo com a análise de variância conjunta, a interação linhagem x ambiente foi significativa para as variáveis, coloração do tegumento das sementes, número de dias da emergência à floração, número de vagens por planta, número de sementes por planta, massa de 100 sementes e produtividade de grãos (Tabela 2), caracterizando efeito diferenciado das linhagens de feijão em função da variação do ambiente. A avaliação da interação linhagem x ambiente é importante no melhoramento de plantas, em virtude da possibilidade de uma linhagem se desenvolver bem em um ambiente e em outro ambiente não apresentar caracteres favoráveis,

tornando possível a indicação de linhagens para épocas de cultivo específicas (Faria et al. 2009). Outros autores, também, verificaram interação linhagem x época de semeadura significativa (Ribeiro et al. 2008a, Ribeiro et al. 2010, Pereira et al. 2010b, Torga et al. 2011), validando com os resultados obtidos no presente estudo.

Tabela 2. Resumo da análise de variância conjunta dos dados de altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 sementes (M100S, g) e produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra de 2010/2011, de safrinha de 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM.

| Fonte de variação   | GL  | -----Quadrado médio----- |                     |                    |          |                     |
|---------------------|-----|--------------------------|---------------------|--------------------|----------|---------------------|
|                     |     | A1V                      | AUV                 | COR                | NDF      | CICLO               |
| Linhagem (L)        | 15  | 34,70 *                  | 326,81 *            | 2760 *             | 52,86 *  | 42,76 <sup>ns</sup> |
| Ambiente (A)        | 2   | 174,12 *                 | 51,27 <sup>ns</sup> | 94,93 *            | 548,44 * | 3177,30 *           |
| LxA                 | 30  | 8,50 <sup>ns</sup>       | 29,13 <sup>ns</sup> | 6,51 *             | 13,36 *  | 42,55 <sup>ns</sup> |
| Bloco (B)/(A)       | 3   | 10,19                    | 42,45               | -                  | 12,84    | 23,02               |
| Bloco/Erro          | 135 | 6,32                     | 29,17               | 0,62               | 1,62     | 30,39               |
| Média               |     | 17,88                    | 44,74               | 34,49              | 35,53    | 78,17               |
| CV (%) <sup>1</sup> |     | 14,06                    | 12,07               | 2,29               | 3,59     | 7,05                |
| Fonte de variação   | GL  | NVP                      | NSP                 | NSV                | M100S    | PROD                |
| Linhagem (L)        | 15  | 23,22 <sup>ns</sup>      | 1055,33 *           | 3,34 *             | 136,20 * | 1010762,74 *        |
| Ambiente (A)        | 2   | 6,30 <sup>ns</sup>       | 1819,31 *           | 16,19 *            | 101,10 * | 30145164,01 *       |
| LxA                 | 30  | 16,89 *                  | 335,01 *            | 0,14 <sup>ns</sup> | 10,39 *  | 169620,31 *         |
| Bloco (B)/(A)       | 3   | 26,98                    | 373,9               | 0,63               | 9,17     | 207598,6            |
| Bloco/Erro          | 135 | 7,84                     | 184,69              | 0,29               | 1,71     | 82457,43            |
| Média               |     | 11,73                    | 53,36               | 4,54               | 22,98    | 1811,52             |
| CV (%) <sup>1</sup> |     | 23,86                    | 25,47               | 11,87              | 5,69     | 15,85               |

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

<sup>1</sup> CV%: coeficiente de variação.

Para os caracteres, altura de inserção da primeira vagem, altura de inserção da última vagem e número de sementes por vagem, foi significativo o efeito de linhagens (Tabela 2), indicando a presença de variabilidade genética, o que possibilita a seleção de linhagens superiores. Já, os caracteres altura de inserção da primeira vagem, número de dias da emergência a maturação e número de sementes por vagem apresentaram efeito significativo

para ambientes. O efeito de ambientes indica a variabilidade entre locais, anos e/ou épocas de cultivo, fato importante para tornar o processo de indicação de cultivares mais eficiente (Melo et al. 2007).

A aplicação do teste Scott-Knott possibilitou a classificação das linhagens de feijão em seis grupos quanto à coloração do tegumento das sementes nos cultivos de safra 2010/2011 e de safra 2011/2012 e em sete grupos no cultivo de safrinha 2011 (Tabela 3). Além disso, a maioria das linhagens apresentou diferenças significativas quanto à coloração do tegumento das sementes em função dos ambientes de cultivo. O estudo da coloração do tegumento das sementes de feijão é fundamental, visando à aceitação comercial do produto (Vieira et al. 2006). O feijão preto tem maior consumo no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo (Mapa 2011). Já, o tipo carioca é aceito em praticamente todo o Brasil, por isso, 52% da área cultivada é semeada com este tipo grão (Mapa 2011). Feijões de tegumento branco, vermelho, creme e amarelo, conhecidos como feijões de cores, são bem aceitos no mercado internacional, mas ainda possuem uma produção muito incipiente no Brasil.

Segundo Ribeiro et al. (2008b), os grãos do tipo carioca que apresentam valores de “L” superior a 55 têm maior valor no mercado. Sendo assim, neste estudo, as linhagens do tipo carioca, LP 07-80 e Gen P 5-4-3-1 enquadram-se nesta exigência comercial, uma vez que exibiram valor de “L” superiores a 55 em duas ou mais épocas de cultivo (Tabela 3). Com relação às sementes do tipo preto, todas as linhagens avaliadas deste grupo comercial no presente estudo teria aprovação no mercado, exceto as linhagens CNFP 10104 e SM 1810, que na safra 2011/2012 apresentaram valores de “L” superiores a 22, fator que configura a grande porcentagem de grãos arroxeados, relacionada à qualidade inferior e à necessidade de maior tempo para o cozimento (Ribeiro et al. 2003).

O número de dias da emergência a floração apresentou diferença significativa entre as médias das linhagens nas três safras de cultivo em estudo, sendo que em cada época ocorreu a formação de dois grupos (Tabela 3). O início da floração das linhagens BRS MG Realce e TB 02-24 foi observado entre 29 a 33 dias e essas linhagens foram classificadas como precoces para a floração nos três ambientes de cultivo. As demais linhagens apresentaram início da floração mais tardia e algumas linhagens foram classificadas como precoces ou tardias, dependendo do ambiente de cultivo. Estes resultados indicam a influência de fatores ambientais sobre o caráter número de dias da emergência a floração em feijão. Cargnelutti et al. (2005) afirmaram que fatores como deficiência hídrica, adubação, época de semeadura, irrigação e fotoperíodo podem influenciar na duração das fases da cultura do feijão. Ampla variabilidade genética para o número de dias da emergência a floração foi previamente relatada para linhagens de feijão, com valores entre 29 a 43 dias (Ribeiro et al. 2004) e de 25 a 33 dias (Mendes et al. 2008).

O número de vagens por planta variou de 6,1 (BRS MG Realce, safrinha 2011) a 14,7 (SM 1810, safra 2011/2012) (Tabela 3). Entre os ambientes de cultivo, os valores médios do número de vagens por planta apresentaram pequena variação. Já, a média do número de sementes por planta obtido no cultivo de safra 2010/2011 foi bem superior aos valores médios observados nos demais ambientes de cultivo. Isso sugere as condições meteorológicas observadas no cultivo de safra 2010/2011 (Tabela 1) foram mais favoráveis ao desenvolvimento de maior número de sementes por planta.

Tabela 3. Valores médios obtidos para a coloração do tegumento das sementes (COR, valor de “L”), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), massa de 100 sementes (M100S, g) e produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011 (S.10/11), de safrinha de 2011 (S.11) e de safra 2011/2012 (S.11/12). Santa Maria - RS, UFSM.

| Linhagens       | COR      |          |          | NDF      |         |          | NVP      |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
|                 | S.10/11  | S.11     | S.11/12  | S.10/11  | S.11    | S.11/12  | S.10/11  | S.11     | S.11/12  |
| LP 07-80        | 56,5 aB  | 59,7 aA  | 58,1 a A | 40,0 aA  | 35,3 aB | 35,8 aB  | 10,6 bA  | 13,6 a A | 11,9 a A |
| Pérola          | 54,4 bC  | 57,9 bA  | 56,8 b B | 40,5 aA  | 36,0 aB | 37,3 aB  | 10,5 bB  | 16,1 a A | 10,8 a B |
| Realce          | 53,4 bB  | 60,6 aA  | 57,6 b A | 30,0 bB  | 29,0 bB | 33,0 bA  | 10,0 bA  | 6,1 b B  | 6,2 b B  |
| Carioca         | 52,0 cC  | 53,4 cB  | 58,0 a A | 40,0 aA  | 33,3 aB | 33,8 bB  | 13,5 aA  | 11,0 a A | 12,2 a A |
| CHC 01175       | 50,2 dB  | 52,2 dA  | 55,0 c A | 40,8 aA  | 35,0 aB | 33,0 bB  | 11,5 bA  | 11,4 a A | 14,6 a A |
| TB 02-24        | 27,2 eB  | 32,5 eA  | 29,7 d A | 29,0 bB  | 30,0 bB | 33,3 bA  | 16,3 aA  | 7,6 b B  | 8,1 b B  |
| Guapo Brilhante | 19,7 f B | 20,7 gB  | 21,1 f A | 40,3 aA  | 33,5 aB | 32,3 bB  | 14,58 aA | 11,7 a A | 12,9 a A |
| LP 08-90        | 19,7 f B | 20,6 gA  | 20,9 f A | 40,8 aA  | 34,3 aB | 33,5 bB  | 10,4 bA  | 11,6 a A | 14,1 a A |
| TB 02-07        | 19,6 f B | 20,7 gA  | 22,3 f A | 41,0 aA  | 34,0 aB | 35,3 aB  | 9,4 bA   | 13,3 a A | 11,8 a A |
| CHP 986620      | 19,3 f B | 20,5 gA  | 21,3 f A | 41,0 aA  | 34,5 aB | 35,3 aB  | 11,5 bA  | 12,6 a A | 13,5 a A |
| SM 1107         | 19,3 f A | 20,4 gA  | 21,1 f A | 40,0 aA  | 34,0 aB | 34,3 bB  | 13,4 aA  | 12,5 a A | 12,9 a A |
| BRS Valente     | 19,1 f B | 22,5 f A | 21,8 f A | 40,8 aA  | 35,0 aB | 35,0 aB  | 11,5 bA  | 13,3 a A | 12,9 a A |
| CNFP 10104      | 19,0 f B | 19,6 gB  | 24,1 e A | 41,0 aA  | 33,5 aB | 33,3 bB  | 9,5 bA   | 9,7 b A  | 12,1 a A |
| SM 1810         | 18,6 f B | 20,2 gB  | 24,1 e A | 41,0 aA  | 34,3 aB | 34,3 bB  | 12,6 aA  | 10,1 b A | 14,7 a A |
| Gen P5-4-3-1    | -        | 58,3 bA  | 58,6 a A | -        | 32,0 bB | 32,0 bB  | -        | 9,7 b A  | 12,1 a A |
| Gen Pr14-2-3    | -        | 19,7 gA  | 19,9 f A | -        | 33,5 aB | 35,0 aB  | -        | 10,4 b A | 11,3 a A |
| Média           | 32,9     | 34,9     | 35,6     | 39,0     | 33,7    | 34,2     | 11,8     | 11,6     | 12,1     |
| CV (%)          | 2,2      | 1,9      | 2,6      | 1,5      | 2,9     | 5,6      | 21,5     | 23,3     | 25,9     |
| Linhagens       | NSP      |          |          | M100S    |         |          | PROD     |          |          |
|                 | S.10/11  | S.11     | S.11/12  | S.10/11  | S.11    | S.11/12  | S.10/11  | S.11     | S.11/12  |
| LP 07-80        | 53,7 b A | 66,8 aA  | 51,4 a A | 22,8 bA  | 24,3 cA | 22,4d A  | 2742 aA  | 1611 a B | 1186 bB  |
| Pérola          | 52,6 b B | 67,0 aA  | 42,3 a B | 23,6 bB  | 23,8 dB | 27,3 bA  | 2158 cA  | 1096 b B | 1102 bB  |
| Realce          | 45,1 b A | 20,0 bB  | 20,5 b B | 29,2 aB  | 36,2 aA | 30,9 aB  | 1934 cA  | 1319 b B | 876 c B  |
| Carioca         | 67,9 a A | 51,7 aA  | 56,7 a A | 19,8 c B | 22,8 dA | 22,2 dA  | 2438 bA  | 1511 a B | 1386 aB  |
| CHC 01175       | 57,1 b A | 47,8 aA  | 60,9 a A | 24,0 bA  | 22,8 dA | 24,9 cA  | 3066 aA  | 1466 a B | 1449 aB  |
| TB 02-24        | 65,7 a A | 24,7 bB  | 22,8 b B | 24,9 bB  | 33,1 bA | 25,7 c B | 1454 dA  | 1174b A  | 645 c B  |
| Guapo Brilhante | 79,9 a A | 56,7 aB  | 60,7 a B | 16,9 dB  | 19,0 eA | 20,6 eA  | 2608 bA  | 1445 a B | 1579 aB  |
| LP 08-90        | 53,0 b A | 51,0 aA  | 59,3 a A | 22,7 bA  | 22,6 dA | 22,5 dA  | 3060 aA  | 1603 a B | 1569 aB  |
| TB 02-07        | 48,1 b A | 61,9 aA  | 50,1 a A | 18,9 dA  | 20,5 eA | 21,4 eA  | 2551 bA  | 1420 a B | 1506 aB  |
| CHP 986620      | 62,7 a A | 59,9 aA  | 63,4 a A | 18,9 dB  | 20,5 eA | 21,1 eA  | 2782 aA  | 1309 b B | 1689 aB  |
| SM 1107         | 74,4 a A | 53,1 aA  | 55,5 a A | 20,6 c B | 23,7 dA | 20,3 eB  | 27980 aA | 1762 a B | 1701 aB  |
| BRS Valente     | 55,2 b A | 52,3 aA  | 49,4 a A | 17,9 dB  | 19,8 eA | 20,9 eA  | 2360 bA  | 1009 b C | 1436 aB  |
| CNFP 10104      | 57,9 b A | 52,9 aA  | 55,5 a A | 22,7 bA  | 24,2 dA | 22,3 dA  | 3102 aA  | 1679 a B | 1579 aB  |
| SM 1810         | 66,7 a A | 46,4 aA  | 61,5 a A | 19,0 dB  | 21,8 eA | 21,2 eA  | 2913 aA  | 1394 a B | 1510 aB  |
| Gen P5-4-3-1    | -        | 37,9 bA  | 44,4 a A | -        | 27,5 cA | 24,8 c B | -        | 1442 a B | 1634 aB  |
| Gen Pr14-2-3    | -        | 53,0 aA  | 51,1 a A | -        | 23,3 dA | 22,8 dA  | -        | 1577 a B | 1625 aB  |
| Média           | 60,1     | 50,9     | 50,7     | 21,6     | 23,9    | 23,1     | 2569     | 1414     | 1372     |
| CV (%)          | 23,7     | 25,3     | 25,9     | 4,5      | 7,7     | 4,5      | 11,9     | 16,4     | 23,1     |

\*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal constituem grupo estatisticamente homogêneo, pelo teste de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, ambos com valor-p = 0,05.

<sup>1</sup> CV%: coeficiente de variação.

A BRS MG Realce obteve as maiores médias para a variável massa de 100 sementes, diferindo significativamente das demais linhagens nos três ambientes de cultivo (Tabela 3). A BRS MG Realce é do grupo gênico Andino e de acordo com a classificação proposta por Blair et al. (2010), apresentou grãos de tamanho médio (25 a 40 g 100 grãos<sup>-1</sup>). A linhagem TB 02-24, também, pode ser classificada como de grãos médios e as demais linhagens são de grãos pequenos (massa de 100 grãos inferior a 25 g), de acordo com o critério adotado por Blair et al. (2010). As linhagens de feijão de grãos pequenos têm grande aceitação no mercado, no entanto as linhagens de grãos médios a grandes representam vantagens mercadológicas aos produtores devido à alta rentabilidade e a pouca oferta no mercado. Por isso, a identificação de novas linhagens de feijão com grãos maiores é de grande importância para o melhoramento de feijão (Perin et al. 2002).

A produtividade de grãos média das linhagens foi superior no cultivo de safra 2010/2011 (2.569 kg ha<sup>-1</sup>) e diferiu significativamente da safrinha 2011 (1.414 kg ha<sup>-1</sup>) e da safra 2011/2012 (1.372 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 3). Este fato pode ser explicado pelas condições climáticas ocorridas na safra 2010/2011 serem favoráveis durante todo o desenvolvimento da cultura, com chuvas bem distribuídas na fase germinativa (outubro) e no início da floração (final de novembro). A cultura do feijão exige um mínimo de 300 mm de precipitação durante o seu desenvolvimento para se obter boa produção e não haver a necessidade de irrigação. Melhor produtividade de grãos foi obtida com precipitação entre 340 a 370 mm (Vieira et al. 2006). Também, durante todo o período de cultivo, as temperaturas permaneceram próximas a ideal para o desenvolvimento do feijão (Tabela 1). A temperatura média ideal durante o ciclo deve ser entre 18 a 24 °C, sendo 21° C considerada a temperatura ótima para a cultura (Gonçalves et al. 1997).

Para a produtividade de grãos, a aplicação do teste de Skott-Knott na safra 2010/2011 possibilitou a formação de quatro grupos de linhagens (Tabela 3). As linhagens LP 07-80,

CHC 01175, LP 08-90, CHP 986620, SM 1107, CNFP 10104 e SM 1810 mostraram-se mais produtivas, apresentando valores médios que variam de 2.742 a 3.102 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). Na safreinha 2011, houve a formação de dois grupos, sendo que as linhagens que apresentaram elevada produtividade de grãos foram: LP 07-80, Carioca, CHC 01175, Guapo Brilhante, LP 08-90, TB 02-07, SM 1107, CNFP 10104, SM 1810, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-3-2. Já, na safra 2011/2012 formaram-se três grupos de linhagens, destacando-se Carioca, CHC 01175, Guapo Brilhante, LP 08-90, TB 02-07, CHP 986620, SM 1107, BRS Valente, CNFP 10104, SM 1810, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-3-2. A melhor estratificação dos grupos de linhagens na safra 2010/2011 pode ser justificada pela maior precisão experimental obtida nesta época de cultivo (CV = 11,99%) em comparação às outras duas épocas.

As linhagens CHC 01175, LP 08-90, SM 1107, CNFP 10104 e SM 1810 apresentaram alta produtividade de grãos nos três ambientes de cultivo, mostrando-se promissoras para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 3). Tais linhagens igualaram-se ou até mesmo superaram, em valores absolutos, a produtividade de grãos média das cultivares Guapo Brilhante, Carioca, BRS Valente e Pérola, as quais são inscritas no Registro Nacional de Cultivares, no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para cultivo no Rio Grande do Sul (Mapa 2012) e utilizadas como testemunhas no presente estudo. Já, a linhagem TB 02-24, em função da baixa produtividade de grãos obtida nos três ambientes de cultivo, foi pouco adaptada para o cultivo no município de Santa Maria. No entanto, para validar essa hipótese, se faz necessária a condução de experimentos em maior número de anos agrícolas.

Para a variável altura de inserção da primeira vagem, o teste de comparação de médias não possibilitou a estratificação entre as linhagens (Tabela 4), apesar do teste F da análise de variância conjunta ter apresentado efeito significativo (Tabela 2). Este fato indica a presença de efeitos de fatores não controlados, o que dificulta bastante o trabalho do experimentador. Esses efeitos são indicados pela designação geral de variação ao acaso ou variação aleatória.

Cabe ao experimentador verificar se as diferenças observadas num experimento têm ou não têm valor, isto é, se são ou não significativas. Uma diferença não significativa é aceita como possivelmente devido ao acaso e é deixada de lado, até que novos resultados venham a confirmá-la ou negá-la (Gomes 1987). Já, para a variável altura de inserção da última vagem, o teste de comparação de médias formou quatro grupos distintos de linhagens, o primeiro constituído pela maior altura (57,39 cm), o segundo pelas alturas intermediárias (47,39 a 50,09 cm), o terceiro pelas alturas baixas (41,78 a 45,90 cm) e o quarto grupo, formado pelas linhagens com alturas muito baixas de inserção da última vagem (33,82 a 37,64 cm).

Tabela 4. Valores médios obtidos para a altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias) e número de sementes por vagem (NSV) de linhagens avançadas de feijão, obtidas em cultivos de safra 2010/2011 (S.10/11), de safrinha de 2011 (S.11) e de safra 2011/2012 (S.11/12). Santa Maria - RS, UFSM.

| Linhagem        | A1V      | AUV     | CICLO               | NSV    |
|-----------------|----------|---------|---------------------|--------|
| BRS MG Realce   | 21,52 a* | 41,78 c | 75,75 <sup>ns</sup> | 3,67 c |
| LP 07-80        | 20,80 a  | 49,52 b | 79,42               | 4,73 a |
| LP 08-90        | 19,30 a  | 50,09 b | 79,58               | 4,61 a |
| CHP 986620      | 18,72 a  | 44,07 c | 79,92               | 4,91 a |
| Gen P5-4-3-1    | 18,66 a  | 43,19 c | 76,08               | 4,16 b |
| SM 1107         | 18,34 a  | 44,78 c | 77,75               | 4,79 a |
| CHC 01175       | 18,14 a  | 45,54 c | 78,92               | 4,47 a |
| SM 1810         | 18,11 a  | 45,90 c | 77,25               | 4,70 a |
| Pérola          | 17,59 a  | 57,39 a | 78,67               | 4,41 a |
| Gen Pr 14-2-3   | 17,45 a  | 42,85 c | 78,25               | 5,08 a |
| CNFP 10104      | 16,54 a  | 44,86 c | 81,58               | 5,46 a |
| TB 02-07        | 16,50 a  | 43,98 c | 80,17               | 4,70 a |
| TB 02-24        | 16,46 a  | 33,82 d | 74,25               | 3,42 c |
| BRS Valente     | 16,40 a  | 43,11 c | 79,08               | 4,19 b |
| Carioca         | 16,31 a  | 47,39 b | 77,50               | 4,84 a |
| Guapo Brilhante | 15,18 a  | 37,64 d | 76,58               | 5,04 a |
| Média           | 16,39    | 41,78   | 78,80               | 5,19   |
| CV%             | 14,06    | 12,07   | 7,05                | 11,87  |

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste Scott Knott (valor-p =0,05). ns = não significativo pelo teste F na análise de variância. <sup>1</sup> CV%: coeficiente de variação.

Ainda, o teste Scott-Knott possibilitou a ordenação das linhagens em três grupos quanto à variável número de sementes por vagem (Tabela 4). As linhagens LP 07-80, LP 08-



90, CHP 986620, SM 1107, CHC 01175, SM 1810, Pérola, Gen Pr 14-2-3, CNFP 10104, TB 02-07, Carioca e Guapo Brillhante formaram o primeiro grupo, apresentando o maior número de sementes por vagem.

Partindo do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) é possível verificar o grau de relacionamento linear entre duas variáveis que estão sendo estudadas. Neste estudo, os coeficientes de correlação de Pearson variaram de - 0,891 (número de sementes por planta e a massa de 100 sementes) a 0,841 (número de sementes por vagem e a produtividade de grãos) (Tabela 5). A produtividade de grãos apresentou elevada estimativa de correlação com o número de sementes por vagem ( $r= 0,841$ ) e moderada estimativa de correlação com o número de dias da emergência a floração ( $r= 0,563$ ), o número de dias da emergência a maturação ( $r= 0,578$ ), o número de sementes por planta ( $r= 0,657$ ) e a massa de 100 sementes ( $r= 0,578$ ). Observou-se, ainda, que os coeficientes para esses pares de caracteres apresentaram associação linear positiva, ou seja, havendo um aumento no valor de um caractere, implicará no acréscimo de outro.

O maior potencial de aumento da produtividade de grãos em feijão, observado no presente estudo, está associado ao aumento do número de sementes por vagem (Tabela 5). Resultado semelhante foi observado por Cabral et al. (2011) na seleção de plantas de feijão no Estado de Santa Catarina. Entretanto, considerando que todas as linhagens de feijão avaliadas no presente estudo são da espécie *Phaseolus vulgaris* L., que se caracteriza por apresentar até oito sementes por vagem, esse caractere é limitado para a seleção indireta de linhagens superiores, haja vista que o incremento do número de sementes por vagem terá restrições. Portanto, o aumento do número de sementes por planta e da massa de 100 sementes são mais recomendados para a seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. No entanto, esses dois caracteres não apresentam praticidade para serem usados na rotina do programa de melhoramento, devido a morosidade na sua determinação.

Como o número de dias da emergência a floração apresentou alta correlação positiva com o número de dias para a maturação ( $r= 0,767$ ) e esses dois caracteres mostraram moderada correlação linear positiva com a produtividade de grãos (Tabela 5), a seleção indireta pela floração e pelo ciclo é promissora para aumentar a produtividade de grãos em feijão. Sendo assim, pode-se constatar que quanto maior for o número de dias para o início da floração ou da maturação, maior será a produtividade de grãos em feijão. A identificação e a seleção de germoplasma com floração tardia e com ciclo mais longo, em regiões com dias curtos, possibilitou o cultivo da soja no cerrado (Silva & Malavolta 2000). Ao que tudo indica, o aumento da produtividade de grãos em feijão cultivado foi conseguida com o atraso no início da floração (García et al. 1997). Santos & Vencovsky (1986), estudando 21 populações segregantes de feijão, observaram correlação significativa e positiva entre o número de dias para o início da floração e a produtividade de grãos ( $r= 0,507$ ). Corrêa et al. (2012), ao avaliarem as correlações entre os caracteres produtivos do feijão, verificaram que as cultivares de ciclo mais tardio tendem a ser mais produtivas, fato este, também, observado por Machado et al. (2008).

Em plantas de feijão, tanto o caráter número de dias da emergência para o início da floração (Santos & Vencovsky 1986) quanto o número de dias da emergência a maturação (Lopes et al. 2001), apresentaram alta herdabilidade, com predomínio de efeitos gênicos aditivos e pouco sensíveis às variações do ambiente. Portanto, são caracteres que apresentam facilidades para a seleção, o que não é observado para a produtividade de grãos em feijão, que é um caractere quantitativo (Ramalho et al. 1993) e, por isso, apresenta ganhos de pequena magnitude com a seleção. Acrescenta-se que a determinação do número de dias da emergência para o início da floração e do número de dias da emergência à maturação é fácil e de rápida mensuração, portanto, com possibilidade de ser implementado na rotina dos programas de melhoramento. Entretanto, os caracteres número de dias da emergência a

floração e o número de dias da emergência a maturação apresentaram correlações negativas com a massa de 100 sementes  $r = -0,767$  e  $r = -0,497$ , respectivamente (Tabela 5). Ao se considerar que a massa das sementes é de relevante importância para a aceitação de uma nova cultivar, atenção especial deverá ser dada a esse caráter, para que não haja rejeição do produto.

Tabela 5. Estimativas de correlação de Pearson entre os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de 100 sementes (M100S, g) e produtividade de grãos (PROD,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011, de safrinha de 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM.

|       | AUV                 | COR                 | NDF                  | CICLO                | NVP                  | NSP                  | NSV                  | M100S                | PROD                 |
|-------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| A1V   | 0,304 <sup>ns</sup> | 0,452 <sup>ns</sup> | -0,191 <sup>ns</sup> | -0,031 <sup>ns</sup> | -0,449 <sup>ns</sup> | -0,393 <sup>ns</sup> | -0,277 <sup>ns</sup> | 0,538 <sup>*</sup>   | 0,012 <sup>ns</sup>  |
| AUV   |                     | 0,351 <sup>ns</sup> | 0,662 <sup>*</sup>   | 0,529 <sup>*</sup>   | 0,291 <sup>ns</sup>  | 0,299 <sup>ns</sup>  | 0,254 <sup>ns</sup>  | -0,100 <sup>ns</sup> | 0,246 <sup>ns</sup>  |
| COR   |                     |                     | -0,226 <sup>ns</sup> | -0,275 <sup>ns</sup> | -0,298 <sup>ns</sup> | -0,399 <sup>ns</sup> | -0,433 <sup>ns</sup> | 0,579 <sup>*</sup>   | -0,316 <sup>ns</sup> |
| NDF   |                     |                     |                      | 0,767 <sup>*</sup>   | 0,754 <sup>*</sup>   | 0,824 <sup>*</sup>   | 0,700 <sup>*</sup>   | -0,767 <sup>*</sup>  | 0,563 <sup>*</sup>   |
| CICLO |                     |                     |                      |                      | 0,301 <sup>ns</sup>  | 0,527 <sup>*</sup>   | 0,699 <sup>*</sup>   | -0,497 <sup>*</sup>  | 0,578 <sup>*</sup>   |
| NVP   |                     |                     |                      |                      |                      | 0,866 <sup>ns</sup>  | 0,449 <sup>*</sup>   | -0,826 <sup>*</sup>  | 0,379 <sup>ns</sup>  |
| NSP   |                     |                     |                      |                      |                      |                      | 0,807 <sup>*</sup>   | -0,891 <sup>*</sup>  | 0,657 <sup>*</sup>   |
| NSV   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                      | -0,726 <sup>*</sup>  | 0,841 <sup>*</sup>   |
| M100S |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                      | 0,578 <sup>*</sup>   |

\* Significativo pelo teste  $t$  em nível de 5% de probabilidade; ns= não significativo; n = 120 observações.

O diagnóstico de multicolinearidade revelou a presença de colinearidade forte, com número de condição igual a 403. Dessa forma, é importante eliminar caracteres que possam resultar em efeitos diretos e indiretos viesados na análise de trilha. Com a exclusão dos caracteres massa de 100 sementes e número de sementes por planta, os quais possuíam correlação simples com a produtividade de grãos (variável explicativa), o número de condição foi reduzido para 93, o que permitiu a realização da análise de trilha sem colinearidade e alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,80$ ) (Tabela 6).

Segundo os resultados da análise de trilha (Tabela 6), o número de sementes por vagem apresentou maior efeito direto sobre a produtividade de grãos (0,989) e maior coeficiente de correlação de Pearson ( $r= 0,841$ ). Porém, conforme mencionado anteriormente, esse caráter é limitado para a seleção indireta de linhagens superiores da espécie em estudo. O número de dias da emergência à floração apresentou o segundo maior efeito direto, porém de sinal negativo sobre a produtividade de grãos (-0,578). A mesma variável apresentou moderado coeficiente de correlação com a produtividade de grãos ( $r= 0,563$ ), no entanto, com sinal positivo, indicando que a correlação existente entre estas é ocasionada pelo efeito de outras variáveis.

Tabela 6. Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da altura de inserção da primeira vagem (A1V), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), coloração do tegumento das sementes (COR, valor de L), número de dias da emergência à floração (NDF, dias), número de dias da emergência à maturação (CICLO, dias), número de vagens por planta (NVP) e número de sementes por vagem (NSV) sobre a produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010/2011, de safrinha de 2011 e de safra 2011/2012. Santa Maria - RS, UFSM.

| Efeito                             | A1V                 | AUV                 | COR                  | NDF                | CICLO              | NVP                 | NSV                |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Direto sobre PROD                  | 0,398               | 0,032               | -0,012               | -0,578             | 0,157              | 0,477               | 0,989              |
| Indireto via A1V                   |                     | 0,121               | 0,180                | -0,076             | -0,012             | -0,179              | -0,110             |
| Indireto via AUV                   | 0,009               |                     | 0,011                | 0,021              | 0,017              | 0,009               | 0,008              |
| Indireto via COR                   | -0,005              | -0,004              |                      | 0,003              | 0,003              | 0,003               | 0,005              |
| Indireto via NDF                   | 0,110               | -0,383              | 0,130                |                    | -0,444             | -0,436              | -0,405             |
| Indireto via CICLO                 | -0,005              | 0,083               | -0,043               | 0,120              |                    | 0,047               | 0,110              |
| Indireto via NVP                   | -0,214              | 0,139               | -0,142               | 0,359              | 0,144              |                     | 0,214              |
| Indireto via NSV                   | -0,282              | 0,258               | -0,441               | 0,714              | 0,713              | 0,457               |                    |
| Total (Cor. Pearson)               | 0,012 <sup>ns</sup> | 0,246 <sup>ns</sup> | -0,316 <sup>ns</sup> | 0,563 <sup>*</sup> | 0,578 <sup>*</sup> | 0,379 <sup>ns</sup> | 0,841 <sup>*</sup> |
| Coeficiente de determinação = 0,80 |                     |                     |                      |                    |                    |                     |                    |

\* Significativo pelo teste  $t$  (valor-p = 0,05); ns= não significativp; n = 120 observações.

Os demais caracteres não apresentaram coeficientes de correlação (positivos ou negativos) favoráveis à seleção de linhagens de feijão com alta produtividade de grãos. Efeitos indiretos positivos e negativos de baixa magnitude, também, foram observados entre a

produtividade de grãos e os caracteres agromorfológicos de linhagens de feijão carioca e preto (Ribeiro et al. 2001).

## 2.4 CONCLUSÕES

Interação linhagem x ambiente significativa ocorre para a coloração do tegumento das sementes, o número de dias da emergência à floração, número de vagens por planta, número de sementes por planta, massa de 100 sementes e produtividade de grãos.

As linhagens CHC 01175, LP 08-90, SM 1107, CNFP 10104 e SM 1810 apresentam elevada produtividade de grãos nos três ambientes de cultivo.

A produtividade de grãos apresentou estimativa de correlação linear positiva com o número de dias da emergência a floração ( $r = 0,563$ ), o número de dias da emergência a maturação ( $r = 0,578$ ), o número de sementes por planta ( $r = 0,657$ ), o número de sementes por vagem ( $r = 0,841$ ) e a massa de 100 sementes ( $r = 0,578$ ).

Coefficiente de correlação linear positivo ( $r = 0,563$ ) e elevado efeito direto, porém de sinal negativo ( $-0,578$ ) foi verificado entre a produtividade de grãos e o número de dias da emergência à floração.

Os caracteres morfológicos não apresentam estimativas de coeficiente de correlação favoráveis à seleção de linhagens de feijão com superioridade para a produtividade de grãos.

## 2.5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas.

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARILI, L. D. et al. Correlação fenotípica entre componentes do rendimento de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.32, n.4, p.1263- 1274, 2011.

BERTOLDO, J. G. et al. Efeito de diferentes concentrações salinas na redução do tempo de cocção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotemas*, v.21, p.39-44, 2008. Disponível em: [www.biotemas.ufsc.br/volumes/pdf/volume213/p39a44.pdf](http://www.biotemas.ufsc.br/volumes/pdf/volume213/p39a44.pdf). Acessado em: 22 març. 2011.

BLAIR, M. W. et al. Genetic diversity, inter-gene pool introgression and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Central Africa. *Theoretical Applied Genetic*, v. 121, n. 2, p. 237-248, 2010.

BRACKMANN, A. et al. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.6, p.911-915, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso de feijão (Phaseolus vulgaris), para a inscrição no Registro Nacional de Cultivares – RCN. Anexo IV*. Brasília: MAPA, 2006. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 jun. 2011.

CABRAL et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. *Revista Ciência Agronômica*, Ceará, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.

CARGNELUTTI FILHO et al. *Determinação da temperatura base e graus-dia para cultivares de feijão*. In: Congresso Nacional de Pesquisa em Feijão, 2005, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2005, 1. CD.

CIAT. *Standart system for the evaluation of bean germoplasm*. Cali: CIAT, 1987. 54p.

COIMBRA, J. L. M. et al. Seleção para caracteres adaptativos em acessos de feijão usando REML/BLUP. *Magistra*, v. 20, n. 8, p. 177-185, 2008.

COMISSÃO TÉCNICA SUL BRASILEIRA DE FEIJÃO (CTSBF). *Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira 2009*. Florianópolis: Epagri. 2010. 164 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento*, Brasília: Conab, 2012, 43p. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos\\_6.5.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos_6.5.10.pdf). Acesso em: 08 mai. 2012.

CORRÊA et al. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. *Revista Ceres*. v. 59, n.1, Viçosa, jan./fev. 2012.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. V.2. Viçosa: UFV, 2003. 582p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, UFV, 2004, 300p.

CRUZ, C. D. *Programa Genes: estatística experimental e matrizes*. Viçosa: UFV, 2006, 285p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2009. *Undernourishment around the world: counting the hungry: latest estimates*. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents>>. Acesso em: 26 agosto 2012.

FARIA, A. P. et al. Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.31, n.4, p.579-585, 2009.

FERREIRA, D. F. *Estatística Básica*. 2ª ed. Editora UFLA, Lavras, 2009.

GARCÍA, E. H. et al. Morphological and agronomic traits of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany*, Oxford, v. 79, n. 2, p. 207-213, 1997.

GOMES, F. P. *A estatística moderna na agropecuária*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 162 p.

GONÇALVES, S. L. et al. Probabilidade de ocorrência de temperaturas superiores a 30°C no florescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado na safra das águas no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v.5, n.1, p.99-107, 1997.

HOOGERHEIDE, E. S. S. et al. Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.10, p.1401- 1405, 2007.

LUCIANO MORAIS LIÃO, L. M. et al. Perfil químico de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) pela técnica de *High Resolution Magic Angle Spinning* (HR-MAS). *Química Nova*, v. 33, n. 3, p. 634-638, 2010.

LOPES, A. C. A. et al. Variabilidade entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 3, p. 515-520, 2001.

MACHADO, C. F. et al. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. *Revista Ciência Agronômica*, Ceará, v. 39, n. 1, p. 114-123, 2008.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Zoneamento agrícola de risco climático: cultivares de feijão – ano – safra 2011/2012*. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 22 agosto 2012.

MELO, C. L. et al. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.5, p.715-723, maio 2007.

MENDES, M. P. et al. Genetic control of the number of days to flowering in common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 8, n. 4, p. 279-282, 2008.

MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

PEREIRA, H. S. et al. Estratificação ambiental na avaliação de genótipos de feijoeiro comum tipo Carioca em Goiás e no Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.6, p.554-562, 2010a.

PEREIRA, H. S, et al. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 6, p. 571-578, 2010b.

PERIN, A. et al. Efeito do tamanho da semente na acumulação de biomassa e nutrientes e na produtividade do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1711-1718, 2002.

RAMALHO, M. A. P. et al. *Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia: Editora UFG, 1993.

RAMALHO, M. A. P. et al. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas Regiões sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais, *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.22, n.2, p.176-181, 1998.

RESENDE, M.D.V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2002, 975 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Correlações genéticas de caracteres agromorfológicos e suas implicações na seleção de genótipos de feijão preto. *Revista Científica Rural*, Bagé, v. 6, n. 1, p. 168-176, 2001.

RIBEIRO, N. D. et al. Progresso genético em caracteres agronômicos no melhoramento do feijoeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, n.4, p.629-633, 2003.

RIBEIRO, N. D. et al. Variabilidade genética para ciclo em feijão dos grupos preto e carioca. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.10, n.1, p. 19-29, 2004.

RIBEIRO, N. D. et al. Classificação de lotes comerciais de feijão por meio da claridade do tegumento dos grãos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2042-2045, 2008a.

RIBEIRO, N. D. et al. Genetic progress in traits of yield, phenology and morphology of common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 8, n. 3, p. 236-242, 2008b.

RIBEIRO N. D. et al. Critério de seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 212-222, 2010.

SAEG. *Sistema para Análises Estatísticas*, versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV - Viçosa, 2007.



SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agronômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Prática*, v. 10, n.3, p. 265-272, 1986.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SEAB). *Perfil da Agricultura Paranaense*. Disponível em: [www.pr.gov.br](http://www.pr.gov.br). Acessado em: 25 de agost. de 2012.

SILVA, A. R.; MALAVOLTA, E. A conquista do cerrado. In: PATERNIANI, E. (Ed.). *Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária*. Brasília: Embrapa Comunicação para a Transferência de Tecnologia, p.31-44, 2000.

TORGA, P. P. et al. *Interação Genótipos x Ambientes em Feijoeiro-Comum do Grupo Preto na Região Central do Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011.

VIEIRA, C. et al. *Feijão*, 2a Edição, Editora UFV, Viçosa, MG, 2006.

### 3 ARTIGO 2

#### Características morfológicas e qualidade sanitária e fisiológica de sementes de linhagens avançadas de feijão

Resumo - Para fins de comercialização, a caracterização da qualidade fisiológica das sementes é baseada fundamentalmente no teste de germinação. Entretanto, uma avaliação segura da qualidade de um lote de sementes exige que a mesma seja complementada pelos testes de vigor e de sanidade. Em vista disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar as características morfológicas e a qualidade sanitária e fisiológica de sementes de linhagens avançadas de feijão, investigar a associação entre esses caracteres e identificar testes de vigor mais discriminativos para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão. Para tanto, foram avaliadas 12 linhagens avançadas de feijão de diferentes obtentores e quatro linhagens comerciais (testemunhas), no cultivo de safra 2011/2012. Foi observado que existe variabilidade genética para se proceder à seleção de linhagens quanto às características morfológicas, de qualidade sanitária e fisiológica de sementes. Dois patógenos associados às sementes de feijão foram encontrados, *Fusarium* sp. e *Macrophomina phaseolina*. As linhagens Pérola, TB 02-24, LP 07-80, LP 08-90, CNFP 10104, Carioca, TB 02-07 e SM 1810 apresentam maior germinação e vigor e as linhagens, Guapo Brilhante, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-2-3 mostram-se com menor germinação e vigor. O teste de envelhecimento acelerado é o mais indicado para estimar o vigor de sementes de feijão.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, teste de germinação, testes de vigor, teste de sanidade, variabilidade genética, correlações.

#### Morphological characters and sanitary and physiological quality of the inbred common bean lines seeds

Abstract - For marketing purposes, the characterization of physiological quality of the seeds is fundamentally based on germination test. However, a reliable assessment of the quality of a batch of seed requires that it be supplemented by vigor and sanitary tests. In view of this, the objective of this study was to evaluate the morphological traits and sanitary and physiological quality of the inbred common bean lines seeds, investigate the association between these characters and identify more discriminative vigor tests to evaluate the physiological quality of bean seeds. Thus, we evaluated 12 inbred common bean lines from different breeders and four commercial cultivars (controls) in growing season 2011/2012. According to the results, genetic variability exists to make selection of lines as the morphological traits and sanitary and physiological quality. Two pathogens associated with bean seeds were found, *Fusarium* sp. and *Macrophomina phaseolina*. The Pérola, TB 02-24, LP 07-80, LP 08-90, CNFP 10104, Carioca, TB 02-07 and SM 1810 lines had higher germination and vigor and Guapo Brilhante, Gen-P 5-4-3-2 and Gen Pr 14-2-3 lines showed up with less germination and vigor. The accelerated aging test is the most appropriate to estimate the effect of bean seeds.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, germination test, vigor test, sanitary test, genetic variability, correlations.

### 3.1 Introdução

47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (Fao, 2009), no entanto, a área destinada ao cultivo dessa leguminosa encontra-se em acentuada depressão. Segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento, a expectativa de cultivo para as três safras no ano de 2012 era de 2,90 milhões de hectares, portanto, 22,3% menor do que na safra anterior, com uma produtividade média projetada para 890 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 4,8% inferior ao obtido no ano anterior (Conab, 2012).

Nos últimos anos, o aumento do número de pesquisas com feijão contribuiu para uma acentuada evolução na produção da cultura. Porém, a produtividade de grãos continua sendo considerada baixa e muito influenciada por fatores bióticos e abióticos. Além disso, a utilização de grãos na implementação das lavouras é prática comum na cultura do feijão (Yokoyama et al., 2000). No ano agrícola de 2012, no Brasil, apenas 12% da área destinada a produção de feijão foi cultivada com sementes legais, sendo esta é uma das principais causas da baixa produtividade na cultura do feijão (Menten et al., 2006). A taxa de utilização de sementes legais de feijão foi de 18%, portanto seriam necessárias 220,2 toneladas de sementes (demanda potencial) para cultivar os 3,7 milhões de hectares de feijão no Brasil, enquanto que a demanda efetiva é de apenas 39,6 toneladas (Abrasem, 2012).

O uso de sementes com qualidade genética, sanitária, física e fisiológica é essencial para garantir o estabelecimento de um estande adequado de plantas e conseqüentemente incrementar a produção. A falta de investimentos em tecnologia e o uso de sementes não melhoradas têm afetado negativamente a produtividade de feijão (Bertolin et al., 2011). Além disso, a semente é responsável pela transferência das inovações tecnológicas e dos ganhos genéticos resultantes dos trabalhos de melhoramento (Santos et al., 2007).

Para fins de comercialização, a caracterização da qualidade fisiológica das sementes é realizada pelo teste de germinação, o qual é desenvolvido sob condições controladas, possibilitando avaliar o potencial germinativo das sementes (Brasil, 2009). Contudo, o teste de germinação não fornece informações sobre o vigor das sementes e os resultados obtidos nem sempre se correlacionam com a emergência das plântulas no campo, podendo então superestimar os valores reais, levando a necessidade da condução de testes complementares, denominados de testes de vigor (Gheller, 2008). Além disso, o teste de germinação não detecta diferenças em termos de deterioração, não avalia o potencial de armazenamento e o desempenho das sementes em condições de campo. Nesse caso, não possui sensibilidade para avaliar com boa precisão o estado fisiológico das sementes.

81 O vigor das sementes é reconhecido como parâmetro utilizado na caracterização do  
82 potencial fisiológico das mesmas, indicando os lotes com maior ou menor probabilidade de  
83 sucesso após a semeadura em campo ou durante o armazenamento, sob diferentes condições  
84 de ambiente (Botelho et al., 2010). Alguns autores, ao avaliar a qualidade fisiológica de  
85 sementes de feijão, observaram a ocorrência de variabilidade genética entre as cultivares  
86 estudadas, para este caráter, sendo essa variabilidade uma importante ferramenta para a  
87 seleção de cultivares com potencial de alto desempenho agrônomico (Dutra & Teófilo, 2007;  
88 Mavi & Demir, 2007). Para tanto, diferentes testes foram utilizados, com o intuito de  
89 determinar a germinação e o vigor de sementes de feijão, como porcentagem de germinação,  
90 teor de água, massa de 100 sementes, envelhecimento acelerado, velocidade de emergência,  
91 condutividade elétrica e matéria seca de plântulas (Avaci et al., 2010; Maia et al., 2011).

92 Na procura por metodologia com sensibilidade suficiente para estimar com maior  
93 precisão a qualidade das sementes, tem sido desenvolvidos diversos testes de vigor, alguns  
94 deles associados a determinadas culturas, como, por exemplo, o teste de frio para milho  
95 (Cícero & Vieira, 1994), de envelhecimento acelerado para soja (Rossetto & Marcos Filho,  
96 1995) e de condutividade elétrica para ervilha (Caliari & Marcos Filho, 1990). Porém, no caso  
97 de feijão, são escassas as pesquisas em relação às metodologias adequadas para avaliar o  
98 vigor das sementes, bem como os estudos que avaliam o desempenho e a seleção de linhagens  
99 de feijão com potencial genético superior para a qualidade de sementes. Portanto, o objetivo  
100 do presente trabalho foi avaliar as características morfológicas e de qualidade sanitária e  
101 fisiológica de sementes de linhagens avançadas de feijão, investigar a associação entre esses  
102 caracteres e identificar testes de vigor mais discriminativos para avaliar a qualidade  
103 fisiológica de sementes de feijão.

104

105

## 3.2 Material e métodos

106

### 3.2.1 Produção das sementes a campo

108

109 As sementes de feijão foram produzidas na safra 2011/2012 (semeadura em 31 de  
110 outubro de 2011), na área experimental situada no Departamento de Fitotecnia, da  
111 Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria, Estado do Rio  
112 Grande do Sul, Brasil. O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido, segundo  
113 a classificação de Köppen (Moreno, 1961), com chuvas bem distribuídas durante o ano. A  
114 área possui solo classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico, possuindo a

115 seguinte composição química: pH: 5,4; matéria orgânica: 2,0%; cálcio: 5,2 cmol/dm<sup>3</sup>;  
116 magnésio: 2,3 cmol/dm<sup>3</sup>; alumínio: 0,2 cmol/dm<sup>3</sup>; fósforo: 6,0 mg/dm<sup>3</sup>; potássio: 0,102  
117 mg/dm<sup>3</sup>. O solo foi preparado pelo sistema de plantio convencional e a adubação foi realizada  
118 de acordo com a interpretação da análise química do solo.

119 O delineamento experimental utilizado a campo foi blocos casualizados, com quatro  
120 repetições, seguindo os requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso  
121 (VCU), para a inscrição de cultivares de feijão no Registro Nacional de Cultivares –  
122 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA) (Brasil, 2006). Cada  
123 parcela foi constituída por quatro linhas de 4 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m,  
124 totalizando uma área útil de 4 m<sup>2</sup> que correspondem as duas linhas centrais, uma vez que as  
125 linhas externas constituíram a bordadura.

126 Os tratamentos consistiram de 16 linhagens de feijão, sendo 12 linhagens avançadas,  
127 desenvolvidas por diferentes obtentores: TB 02-24 e TB 02-07 (Embrapa Clima Temperado),  
128 SM 1107 e SM 1810 (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária), CHC 01175 e CHP  
129 986620 (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), LP 08-90 e  
130 LP 07-80 (Instituto Agrônômico do Paraná), BRS MG Realce e CNFP 10104 (Embrapa Arroz  
131 e Feijão), GEN P5-4-3-1 e GEN Pr 14-2-3 (Instituto Agrônômico de Campinas) e quatro  
132 linhagens comerciais (cultivares testemunhas): Guapo Brilhante, BRS Valente, Carioca e  
133 Pérola. A densidade de semeadura foi ajustada de acordo com o hábito de crescimento de  
134 cada linhagem, sendo utilizadas, em média, 18 sementes por metro linear para linhagens com  
135 o hábito de crescimento do tipo I (determinado), 16 sementes por metro linear para linhagens  
136 do tipo II (indeterminado com guias curtas) e 13 sementes por metro linear para linhagens  
137 com hábito de crescimento do tipo III (indeterminado com guias longas). Assim, a expectativa  
138 de população de plantas foi de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup> para as linhagens do tipo I, 260.000  
139 plantas ha<sup>-1</sup> para as linhagens do tipo II e 220.000 plantas ha<sup>-1</sup> para as linhagens do tipo III.

140 A fim de fornecer a espécie cultivada vantagem competitiva sobre as espécies  
141 daninhas, foram efetuados controles mecânicos por meio de capinas manuais e/ou arranquios  
142 das plantas invasoras, quando estas ainda se encontravam em estágio inicial de  
143 desenvolvimento. As precauções dos danos causados por insetos foram realizadas durante  
144 todas as etapas de desenvolvimento das plantas de feijão, no sentido de diagnosticar com  
145 antecedência as incidências que pudessem ocasionar danos econômicos e, desta forma, foi  
146 realizado o controle químico de insetos, considerando a relação benefícios/riscos. Já, o  
147 controle de doenças não foi efetuado, pois se avaliou a ocorrência de doenças nas diferentes

148 linhagens. As irrigações foram feitas, principalmente, no período do estabelecimento do  
149 estande inicial da cultura, para não comprometer o desenvolvimento da mesma.

150 Ao final da maturação, as plantas foram colhidas manualmente, quando as sementes  
151 apresentaram em média 18% de umidade. Após, foram mantidas em casa-de-vegetação (45  
152 °C), até que as sementes apresentaram 13% de umidade, para evitar o processo de  
153 deterioração das sementes. Posteriormente, as plantas foram trilhadas de maneira manual e as  
154 sementes foram selecionadas, retirando-se as sementes quebradas e aquelas com danos  
155 causados por insetos. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente  
156 identificados e armazenados em câmara fria, por trinta dias, com temperatura média de 0,5 °C  
157 e umidade relativa do ar de 80%.

158

### 159 **3.2.2. Caracterização morfológica das sementes**

160

#### 161 *3.2.2.1 Determinação do peso de 1000 sementes*

162

163 Para a determinação do peso de 1000 sementes foram amostradas ao acaso quatro sub-  
164 amostras de 1000 sementes de cada linhagem. As sementes foram pesadas em balança de  
165 precisão 0,001 g, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

166

#### 167 *3.2.2.2 Determinação da coloração do tegumento das sementes*

168

169 Amostras de sementes de cada linhagem foram dispostas sobre placas de *petri* de 22  
170 cm de diâmetro e 3 cm de altura, de maneira que as mesmas cobrissem completamente o  
171 fundo do recipiente. A leitura da coloração do tegumento das sementes foi realizada com um  
172 colorímetro marca Minolta, modelo CR-310, através do sistema L-a-b. Para grãos de feijão  
173 dos grupos preto e carioca, importa a claridade dos grãos, razão pela qual foram apresentados  
174 apenas os valores 'L', pois este caracteriza a claridade da cor da amostra, variando do preto ao  
175 branco.

176

#### 177 *3.2.2.3 Determinação do conteúdo de lignina no tegumento*

178

179 O conteúdo de lignina no tegumento das sementes foi determinado utilizando-se  
180 quatro repetições de 20 sementes de cada linhagem, as quais foram, inicialmente, imersas em  
181 água por 12 horas. Na sequência, o tegumento das sementes foi removido e seco em estufa a

182 105 °C por 16 horas. A matéria seca obtida foi triturada, homogeneizada e submetida a  
183 sucessivas centrifugações (3300 rpm por quatro minutos) com diferentes soluções (tampão  
184 fosfato de sódio e potássio/ Triton X-100/ NaCl 1,0 M/ acetona), para a obtenção da parede  
185 celular. A quantificação da lignina foi realizada pelo método LTGA – ácido linotioglicólico  
186 (Capeleti et al., 2005).

187

#### 188 *3.2.2.4 Determinação da forma das sementes*

189

190 Com o auxílio de um paquímetro determinou-se a forma das sementes, utilizando-se  
191 quatro repetições de dez sementes de cada linhagem. Para tanto, foram realizadas as medições  
192 no sentido longitudinal da semente (comprimento, C), no sentido transversal da semente  
193 (largura, L) e na região mediana da semente, entre as faces superior e inferior (espessura, E).

194

#### 195 **3.2.3 Determinação da qualidade sanitária das sementes**

196

197 O teste de sanidade foi conduzido pelo método do papel filtro (“blotter test”).  
198 Considerou-se cada bloco conduzido a campo como sendo um lote de sementes, desta forma,  
199 cada lote era constituído pelas 16 linhagens e utilizaram-se quatro repetições de 100 sementes  
200 de cada linhagem. As amostras de sementes foram dispostas, individualmente, sobre uma  
201 camada de papel de filtro umedecido e, posteriormente, acondicionadas em caixas do tipo  
202 *gerbox* (20 sementes por caixa). As amostras permaneceram incubadas pelo período de sete  
203 dias, com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de  $20 \pm 2$  °C. Transcorrido esse período,  
204 efetuou-se a leitura individual, com auxílio de microscópio estereoscópico, verificando-se a  
205 incidência de fungos. Nos casos em que houve a presença de patógenos, realizou-se exame ao  
206 microscópio de luz para a sua identificação, possibilitando comparações com informações  
207 disponíveis na literatura. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes  
208 infectadas.

209

#### 210 **3.2.4 Determinação da qualidade fisiológica das sementes**

211

212 Para a determinação da qualidade fisiológica das sementes foram usados quatro lotes  
213 de sementes, que correspondem aos quatro blocos conduzidos a campo nos ensaios de VCU,  
214 contendo as 16 linhagens, descritas anteriormente. Os lotes de sementes foram submetidos a  
215 um conjunto de testes de germinação e de vigor. O teste de germinação foi conduzido de

216 acordo com as exigências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, seguindo  
217 as Regras de Análises de Sementes- RAS (Brasil, 2009), já os testes de vigor foram realizados  
218 conforme o Manual de vigor de sementes (Hampton, J.G.; Tekrony, D.M., 1995).

219

#### 220 *3.2.4.1 Germinação e primeira contagem*

221

222 Foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes para cada linhagem, de cada um  
223 dos quatro lotes. As sementes foram distribuídas em rolos de papel *germitest*, previamente  
224 umedecidos com água destilada, na proporção de duas vezes a massa do papel seco. Para cada  
225 litro de água foi adicionado 1 mL de hipoclorito de sódio (NaOCl), no intuito de evitar a  
226 proliferação de fungos. As sementes foram mantidas em germinador regulado a 25 °C por  
227 cinco dias para a avaliação da primeira contagem e por nove dias para a determinação da  
228 germinação (Brasil, 2009). Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem de  
229 plântulas normais. A primeira contagem, realizada no quinto dia após a instalação do teste, foi  
230 considerada como um teste de vigor.

231

#### 232 *3.2.4.2 Teste de envelhecimento acelerado*

233

234 No teste de envelhecimento acelerado, as sementes foram acondicionadas em caixas  
235 plásticas (minicâmaras) de 11 cm x 11 cm x 3 cm do tipo *gerbox*. Estas possuem uma bandeja  
236 telada e continham 40 mL de água destilada. Sobre a bandeja telada foram distribuídas,  
237 uniformemente, 200 sementes de cada linhagem, para cada um dos quatro lotes.  
238 Posteriormente, as caixas foram fechadas e mantidas em estufa a 42 °C durante 48 horas.  
239 Após o período de exposição ao teste, as sementes foram distribuídas em quatro repetições de  
240 50 sementes, sobre o papel *germitest*, previamente umedecido com água destilada, na  
241 proporção de duas vezes a massa do papel seco. Posteriormente, as sementes foram levadas ao  
242 germinador com temperatura de 25 °C, seguindo a metodologia descrita para o teste de  
243 germinação. A avaliação foi realizada no quinto dia após a instalação do teste (Hampton, J.G.;  
244 Tekrony, D.M., 1995). Os valores médios obtidos para cada tratamento foram expressos em  
245 porcentagem.

246

#### 247 *3.2.4.3 Teste de condutividade elétrica*

248



249 O teste de condutividade elétrica foi conduzido utilizando-se o sistema de massa, com  
250 quatro repetições de 50 sementes para cada uma das linhagens e para cada um dos quatro  
251 lotes. As sementes foram pesadas, com precisão de duas casas decimais e, em seguida,  
252 colocadas em copos plásticos de 200 ml, contendo 75 ml de água deionizada. As amostras  
253 foram mantidas em germinador à temperatura de 25 °C, e após 24 horas de embebição, a  
254 condutividade elétrica da solução foi determinada com o auxílio de um condutivímetro, sendo  
255 os resultados expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  (Hampton, J.G.; Tekrony, D.M., 1995).

256

#### 257 3.2.4.4 Comprimento de plântulas

258

259 Para determinar o comprimento médio das plântulas, as sementes foram dispostas em  
260 papel *germitest*, previamente umedecido com água destilada, na proporção de duas vezes a  
261 massa do papel seco. Para cada linhagem, de cada um dos quatro lotes, foram feitas quatro  
262 repetições de 20 sementes, as quais foram distribuídas no terço superior do papel, no sentido  
263 longitudinal e avaliadas no sexto dia após a semeadura. As avaliações consistiram em  
264 medições das plântulas com o auxílio de uma régua graduada em milímetros. Foram medidos  
265 os comprimentos da parte aérea e da raiz primária de dez plântulas normais tomadas ao acaso.  
266 O comprimento médio foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividindo-se  
267 pelo número de plântulas mensuradas, com resultados expressos em centímetros (cm). O  
268 comprimento total das plântulas foi determinado através do somatório do comprimento médio  
269 da parte aérea e do comprimento médio da raiz (Hampton, J.G.; Tekrony, D.M., 1995).

270

#### 271 3.2.4.5 Massa seca de plântulas

272

273 A massa seca foi determinada nas plântulas provenientes do teste de comprimento de  
274 plântulas. Depois de medidos os comprimentos da parte aérea e da raiz de dez plântulas,  
275 tomadas ao acaso, conforme descrito no item anterior, estas foram destacadas das plântulas e  
276 pesadas separadamente em balança de precisão. Após, as amostras foram colocadas em sacos  
277 de papel e mantidas em estufa a 60 °C por 48 horas. Depois de decorrido este período, as  
278 partes aéreas e as raízes foram novamente pesadas e o valor da massa seca determinado pela  
279 diferença dos pesos obtidos antes e depois da secagem em estufa, sendo o resultado expresso  
280 em gramas por plântula (g). A massa seca total foi estimada através do somatório da massa  
281 seca da parte aérea e da raiz (Hampton, J.G.; Tekrony, D.M., 1995).

282

#### 283 3.2.4.6 Emergência de plântulas a campo

284

285 A avaliação da emergência de plântulas a campo foi realizada utilizando quatro  
286 repetições de 100 sementes de cada linhagem, para cada um dos quatro lotes. Estas sementes  
287 foram semeadas em canteiros com dimensões de 7,9 m x 0,90 m, espaçadas em 0,12 m na  
288 fileira e a 0,05 m entre as fileiras, a uma profundidade média de 0,03 m. Quinze dias após a  
289 semeadura foi realizada a determinação da porcentagem de emergência das plântulas  
290 (Hampton, J.G.; Tekrony, D.M., 1995).

291

#### 292 3.2.5 Análises estatísticas

293

294 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância de acordo com o  
295 delineamento inteiramente casualizado e usando o teste F a 5% de probabilidade de erro. As  
296 variáveis, cujos resultados foram expressos em porcentagem, tiveram seus dados  
297 transformados em arcoseno  $\sqrt{x}/100$ . Considerou-se o efeito de linhagens como fixo. A  
298 comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

299 A análise de correlação linear de Pearson foi realizada entre o teste de emergência das  
300 plântulas a campo e os testes de germinação e de vigor das sementes. A significância do  
301 coeficiente de correlação linear foi verificada pelo teste *t* de Student. Para os coeficientes de  
302 correlação linear, as estimativas por intervalo foram obtidas a 95% de confiança. As análises  
303 foram realizadas utilizando-se planilha eletrônica Office Excel e o software Genes (Cruz,  
304 2006).

305

306

### 3.3 Resultados e discussão

307

308 Na análise de variância observou-se efeito significativo para linhagens em relação a  
309 todos os caracteres estudados, exceto para incidência de *Macrophomina phaseolina* e teste de  
310 condutividade elétrica (Tabela 1). As exceções podem estar associadas ao alto coeficiente de  
311 variação experimental obtido no presente estudo para ambas os caracteres, 41,20% (incidência  
312 de *Macrophomina phaseolina*) e de 26,34% (teste de condutividade elétrica). Como o  
313 coeficiente de variação é uma estatística de precisão que está associada à média e a variância  
314 residual dos experimentos (Cargnelutti Filho & Storck, 2009), seus valores podem estar  
315 relacionados aos valores médios das variáveis, ou ainda, podem ser em função da não  
316 uniformidade do comportamento das sementes de uma mesma linhagem dentro dos testes.

317 Como houve efeito significativo para as linhagens em relação aos caracteres em  
318 estudo, pode-se constatar a existência de diferenças entre as linhagens avançadas de feijão que  
319 estão sendo estudadas quanto as características morfológicas, a qualidade sanitária e  
320 fisiológica das sementes. Variabilidade genética entre linhagens de feijão para estes mesmos  
321 caracteres, também foi observada por Esteves et al. (2002), Maia et al. (2011) e por Olivo et  
322 al. (2011).

323 A linhagem BRS MG Realce destacou-se por apresentar a maior peso de 1000  
324 sementes (313,0 g), diferindo significativamente das demais (Tabela 2). Esta linhagem  
325 pertence ao grupo gênico Andino e de acordo com a classificação proposta por Blair et al.  
326 (2010), apresentou grãos de tamanho médio (25 a 40 g 100 grãos<sup>-1</sup>). A linhagem TB 02-24,  
327 que, também, faz parte do grupo gênico Andino, pode ser classificada como de grãos médios.  
328 As demais linhagens apresentaram grãos pequenos (massa de 100 grãos inferior a 25 g) (Blair  
329 et al.,2010).

330 A aplicação do teste Skott-Knott possibilitou a classificação das linhagens de feijão  
331 em seis grupos quanto à coloração do tegumento das sementes (Tabela 2). Segundo Ribeiro et  
332 al. (2008), os grãos do tipo carioca que apresentam valores de “L” superior a 55 têm maior  
333 valor no mercado. Sendo assim, neste estudo, as linhagens do tipo carioca, Pérola, CHC  
334 01175, Gen P5-4-3-1, LP 07-80 e Carioca, enquadram-se nesta exigência comercial. Já, com  
335 relação às sementes do tipo preto, as linhagens CNFP 10104, TB 02-07 e SM 1810, que  
336 pertencem a este grupo comercial, poderão não ter aprovação no mercado, pois apresentaram  
337 valores de “L” superiores a 22, fator que configura a grande porcentagem de grãos  
338 arroxeados, o que, normalmente, é relacionado à qualidade inferior e à necessidade de maior  
339 tempo para o cozimento (Ribeiro et al. 2003).

340 Os teores de lignina variaram de 5,59 (BRS MG Realce) a 12,11% (SM 1810) (Tabela  
341 2). As linhagens LP 08-90, TB 02-07, SM 1810, CHP 986620 e BRS Valente apresentaram os  
342 maiores valores de lignina. De acordo com Panobianco et al. (1999), as linhagens com teores  
343 de lignina superiores a 5%, apresentam maior resistência ao impacto mecânico. Portanto,  
344 todas as linhagens avaliadas no presente estudo apresentam características de grãos que  
345 possibilitam a colheita mecanizada. Silva (2011), ao estudarem diferentes cultivares de feijão  
346 caupi, constataram que as sementes não pigmentadas apresentaram deterioração mais rápida,  
347 comparativamente, as sementes pigmentadas. Na oportunidade, os referidos autores  
348 concluíram ser a associação coloração de tegumento e teor de lignina preponderante na  
349 determinação da resistência ou tolerância a danos no tegumento, sendo as sementes de  
350 tegumento claro, suscetíveis; enquanto as de tegumento escuro, resistentes. Fato que vem ao

351 encontro com os resultados obtidos neste estudo, uma vez que o grupo que apresentou os  
352 maiores teores de lignina é formado por sementes do grupo comercial preto.

353 O comprimento das sementes variou de 1,19 (BRS MG Realce) a 1,03 cm (Guapo  
354 Brillante). As medidas de largura foram desde 0,73 a 0,64 cm e a espessura foi de 0,57 a 0,45  
355 cm. A média geral do comprimento, largura e da espessura das sementes das cultivares  
356 testadas foi 1,08; 0,68 e 0,51 cm, respectivamente. Melo et al. (2010) encontraram médias  
357 semelhantes ao estudarem feijão caupi, demonstrando também a variabilidade para estes  
358 caracteres. O tamanho da semente é um atributo importante no aspecto visual para a  
359 comercialização e essencial para regulagem das semeadoras, que permitirão a emergência de  
360 estandes ajustados e, em muitos casos, economia de sementes por unidade de área. Além  
361 disso, o tamanho das sementes de feijão torna-se um aspecto importante para a cultura por  
362 esta ser comercializada em kg, e muitas vezes, o tamanho exerce influências diretas sobre o  
363 peso das mesmas.

364 A linhagem BRS MG Realce apresentou o maior valor para comprimento de sementes,  
365 fato que pode ter contribuído para o maior valor de massa de 100 sementes (Tabela 2). Olivo  
366 et al. (2011), ao estudarem os caracteres tamanho e massa das sementes de feijão, constataram  
367 que nem sempre as sementes de maior tamanho apresentam maior massa, pois as mesmas  
368 poderão apresentar tecidos formados, principalmente, por células lacunosas, ou seja, mais  
369 leves. No entanto, quando a relação de tamanho é utilizada para comparar diferentes  
370 linhagens, como é o caso do presente estudo, os resultados devem ser interpretados com  
371 cautela, porque além das diferenças genéticas, outros fatores tais como, as condições de  
372 produção e o processamento podem interferir nos resultados (Lemos et al., 2004).

373 Quanto a qualidade sanitária, dois patógenos associados às sementes de feijão foram  
374 encontrados *Fusarium* sp. e *Macrophomina phaseolina* (Tabela 2). A incidência de *Fusarium*  
375 sp. não foi uniforme entre as linhagens. Para este fungo a aplicação do teste de Scott-Knott  
376 possibilitou a formação de dois grupos, sendo as linhagens BRS MG Realce, TB 02-24 Gen  
377 P5-4-3-1 e CHP 986620 as que apresentaram a maior incidência deste patógeno. Referindo-se  
378 aos padrões de sanidade de sementes, o Grupo Técnico Permanente em Sanidade de Sementes  
379 (GTPSS), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), propôs tolerância  
380 zero para *Colletotrichum lindemuthianum*, *Fusarium* sp., *Sclerotinia sclerotiorum* e  
381 *Xanthomonas* pv, por considerar que o uso de sementes sadias ou adequadamente tratadas é a  
382 principal medida de controle para o manejo integrado de doenças (Menten et al., 2006).  
383 Portanto, faz-se necessário a utilização de tratamento das sementes destas linhagens  
384 estudadas, através da utilização de produtos químicos, como medida preventiva de controle de

385 doenças, a fim de que as sementes possam desenvolver todo seu potencial. Dados do  
386 Laboratório de Patologia de Sementes da ESALQ/USP mostraram que de 299 amostras de  
387 sementes de feijão, analisadas de 2000 a 2005, 4,0% eram portadoras de *Fusarium* sp, sendo  
388 que este patógeno causou inibição na germinação de sementes de feijão, e mesmo as que  
389 germinam, apresentaram crescimento do fungo sobre os cotilédones e folhas primárias, além  
390 de necrose na radícula (Carvalho et al., 2011).

391 Com relação ao teste de germinação, foi possível detectar a existência de variabilidade  
392 genética entre as linhagens estudadas. Conforme os resultados deste teste, as linhagens GEN  
393 Pr 14-2-3, GEN P5-4-3-1 e Guapo Brilhante apresentaram desempenho inferior (Tabela 3),  
394 não atingindo o padrão mínimo exigido para a comercialização como sementes (80%) (Mapa,  
395 2005). Nas demais linhagens, a germinação variou entre 86 (BRS MG Realce e BRS Valente)  
396 e 98% (TB 02-07), permitindo a comercialização de sementes destas linhagens. Outros  
397 autores ao estudarem a qualidade de sementes de feijão submetidas ao teste de germinação,  
398 também, observaram diferença significativa entre os lotes avaliados, podendo ser citados  
399 Marques et al. (2006) que avaliaram sementes de feijão com valores de germinação abaixo do  
400 padrão, sendo a média 64% na cultivar Pérola produzida em Minas Gerais e 62% na cultivar  
401 Talismã, do Estado de Goiás. Assim, como Jauer et al. (2002) que observaram em feijão,  
402 germinação superior a 80 % nas cultivares IAPAR 44, TPS Bionobre e TPS Nobre, e  
403 observaram diferenças significativas entre estas.

404 Por meio do teste de comparação de médias dos dados de germinação, de primeira  
405 contagem de germinação, de envelhecimento acelerado e de emergência de plântulas a campo,  
406 foi possível observar que as linhagens TB 02-07, SM 1810, Carioca, LP 08-90, SM 1107, LP  
407 07-80, Pérola, CNFP 10104 e TB 02-24 apresentaram maior germinação e vigor (Tabela 3).  
408 As linhagens apresentaram potencial semelhante quando avaliadas pelos testes de germinação  
409 e de primeira contagem de germinação, sendo as maiores diferenças constatadas nos  
410 resultados de envelhecimento acelerado e emergência de plântulas a campo, evidenciando que  
411 estes dois últimos testes estratificaram melhor os grupos de linhagens. Dutra & Teófilo  
412 (2007), Mavi & Demir (2007) observaram que lotes de sementes com qualidade semelhante  
413 diagnosticada através de teste de germinação apresentaram diferenças de qualidade através  
414 dos testes de envelhecimento acelerado.

415 O teste de condutividade elétrica não foi eficiente para estratificar as linhagens de  
416 feijão em estudo, não diagnosticando efeito significativo entre as mesmas. Este resultado  
417 difere dos encontrados por Dias et al. (1998) que, ao trabalharem com feijão-de-vagem e  
418 quiabo, concluíram que o teste de condutividade elétrica mostrou-se eficiente para a avaliação

419 da qualidade fisiológica das sementes destas culturas, estratificando de maneira eficiente as  
420 diferentes linhagens testadas e fornecendo informações rápidas que auxiliaram na agilização  
421 dos programas de controle de qualidade de sementes. Contudo, Souza et al. (2006), ao  
422 estudarem a eficiência do teste de condutividade elétrica para a avaliação da qualidade  
423 fisiológica de sementes de mamona, constataram que o método não foi eficiente em separar  
424 lotes com diferentes níveis de qualidade.

425 Os testes de comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, comprimento total,  
426 massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total, os quais, assim como o teste  
427 padrão de germinação, são conduzidos em condições ideais, não foram eficientes em  
428 estratificar os lotes de sementes, pois os resultados não foram concordantes. Devido a não  
429 consistência das informações geradas por estes testes, não foi possível associar seus  
430 resultados com as informações obtidas nos demais testes de vigor. Portanto, os testes que  
431 envolvem medição e determinação de massa de plântulas não avaliaram de maneira adequada  
432 a qualidade fisiológica das sementes de feijão (Tabela 3). De maneira similar, Borsato et al.  
433 (2000) observaram que os testes comprimento da parte aérea, comprimento da raiz e  
434 comprimento total não foram eficientes para determinar a qualidade fisiológica de sementes  
435 de aveia-branca. Vanzolini et al. (2007), ao estudarem a qualidade fisiológica em sementes de  
436 soja, verificaram que estes mesmos testes aparentemente foram mais sensíveis para detectar  
437 diferenças sutis de vigor, contudo, apresentaram maiores coeficientes de variação.

438 Os coeficientes de correlação de Pearson variaram de -0,438 a 0,991 (Tabela 4).  
439 Estimativas de correlação de alta magnitude foram observadas entre a variável emergência de  
440 plântulas a campo com a germinação ( $r = 0,651$ ), primeira contagem de germinação ( $r =$   
441  $0,602$ ), envelhecimento acelerado ( $r = 0,793$ ) e condutividade elétrica ( $r = 0,635$ ), segundo a  
442 classificação de Carvalho; Lorencetti & Benin (2004). Constatou-se, ainda, que os  
443 coeficientes para esses pares de caracteres apresentaram associação linear positiva, indicando  
444 a existência de uma relação diretamente proporcional entre os mesmos, o que leva a inferir  
445 que é possível fazer a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão, utilizando-se o  
446 teste de mais fácil execução. Resultado similar foi relatado por Bertolin et al. (2011), ao  
447 avaliarem diferentes testes de vigor para a determinação da qualidade fisiológica de sementes  
448 de feijão. No entanto, ao considerar-se a associação entre a condutividade elétrica e a  
449 produtividade, constatou-se que o teste não segue a mesma tendência da emergência das  
450 plântulas a campo, uma vez que a correlação apresentou sinal positivo, fato não desejável,  
451 pois neste caso, há uma relação inversa, quanto maior a condutividade elétrica, menor a  
452 qualidade das sementes.

453 A alta correlação do teste de germinação com a emergência de plântulas a campo  
454 (Tabela 4) sugere que as condições de campo foram razoavelmente satisfatórias neste ano  
455 agrícola, permitindo assim, que os resultados obtidos no teste de emergência das plântulas em  
456 campo seguissem tendência similar àqueles revelados pelo teste de germinação. Quando as  
457 condições de campo foram favoráveis ao cultivo de algodão (Freitas et al., 2000), ou ainda ao  
458 cultivo de soja (Schuab et al., 2006) os resultados do teste de germinação, também,  
459 apresentaram alta associação com a emergência das plântulas a campo.

460 O teste de envelhecimento acelerado mostrou ser o melhor teste para estudar o vigor  
461 de sementes de feijão, uma vez que o mesmo apresentou o maior coeficiente de correlação  
462 linear com a emergência de plântulas a campo (Tabela 4). Resposta similar foi observada para  
463 sementes feijão (Alizaga et al., 1990), algodão (Freitas et al., 2000), alface (Contreras &  
464 Barros, 2005) e alcachofra (Lazarotto et al., 2008). Bertolin et al. (2011), ao avaliarem  
465 diferentes lotes de sementes de feijão, constataram que o teste de envelhecimento acelerado é  
466 mais eficiente que o teste de germinação para determinar a qualidade fisiológica em sementes  
467 de feijão.

468 Neste aspecto, os resultados desta pesquisa demonstraram a existência de alguns testes  
469 de execução simples, capazes de fornecer informações de grande utilidade em programas de  
470 melhoramento genético de feijão, sendo o caso do teste de envelhecimento acelerado.

471

472

### 3.4 Conclusão

473

474 1. As linhagens de feijão apresentam variabilidade genética quanto às  
475 características morfológicas e de qualidade sanitária e fisiológica de sementes.

476 2. As linhagens TB 02-07, SM 1810, Carioca, LP 08-90, SM 1107, LP 07-80,  
477 Pérola, CNFP 10104 e TB 02-24 apresentam melhor qualidade fisiológica de sementes. As  
478 linhagens Gen Pr14-2-3, Gen P5-4-3-1 e Guapo Brilhante apresentam germinação abaixo do  
479 padrão mínimo para comercialização de sementes.

480 3. Dois patógenos foram encontrados nas sementes em estudo fazendo-se  
481 necessário a utilização de tratamento químico como medida preventiva de controle de  
482 doenças.

483 4. O teste de envelhecimento acelerado é o mais indicado para estimar o vigor de  
484 sementes de feijão devido a sua maior correlação com a emergência de plântulas a campo.

485

486

### 3.5 Agradecimentos

487  
488 Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à  
489 Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas  
490 concedidas.

491

492

### 3.5 Referências

493

494 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. Abrasem, 2012. 23p. Disponível  
495 em: <http://www.abrasem.com.br/category/estatisticas/>. Acesso em: 8 jan. 2012.

496

497 ALIZAGA, R. L.; MELLO, E. D. C.; SANTOS, D. S. Avaliação de testes de vigor em  
498 sementes de feijão e suas relações com a emergência a campo. **Revista Brasileira de**  
499 **Sementes**, v. 12, p. 44-58, 1990.

500

501 AVACI, A. B.; MACHADO, S. R.; NÓBREGA, L. H. P.; RODA, D. M.; CHRIST, D.  
502 Qualidade fisiológica de sementes de feijão envelhecidas em condições de alta temperatura e  
503 umidade relativa. **Exatas Terra, Ciências Agrárias e Engenharia**. v. 16, p. 33-38, 2010.

504

505 BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; MOREIRA, E. R. Parâmetros do teste de envelhecimento  
506 acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**,  
507 v. 33, p. 104- 112, 2011.

508

509 BLAIR, M. W.; GONZALEZ, L. F.; KIMANI, P. M.; BUTARE, L. Genetic diversity, inter-  
510 gene pool introgression and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from  
511 Central Africa. **Theoretical Applied Genetic**, v. 121, p. 237-248, 2010.

512

513 BORSATO, A.V.; BARROS, A. S.; AHRENS, D. C.; DIAS, M. C. L. Avaliação de testes de  
514 vigor para sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.  
515 22, p.163-168, 2000.

516

517 BOTELHO, F. J. E.; GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, J. A.; EVANGELISTA, J. R. E.;  
518 ELOI, T. de A.; BALIZA, D. P. Desempenho fisiológico de sementes de feijão colhidas em  
519 diferentes períodos do desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 900-907, 2010.

520

521 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de**  
522 **sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa  
523 Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p. Disponível em:  
524 <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

525

526 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Requisitos mínimos para a**  
527 **determinação do Valor de Cultivo e Uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição**  
528 **no Registro Nacional de Cultivares – RCN**. Anexo IV. Brasília: MAPA, 2006. Disponível  
529 em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

530

531 CALIARI, M. F.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre métodos para avaliação da  
532 qualidade fisiológica de sementes de ervilha (*Pisum sativum* L.). **Revista Brasileira de**  
533 **Sementes**, v. 12, p. 52-75, 1990.



- 534  
535 CAPELETI, I.; FERRARESE, M. L. L.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FERRARESE-FILHO,  
536 O. A new procedure for quantification of lignin in soybean (*Glycine Max* (L.) Merrill) seed  
537 coat and their relationship with the resistance to mechanical damage. **Seed Science &**  
538 **Technology**, v. 33, p. 511-515, 2005.
- 539  
540 CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em  
541 ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,  
542 v. 44, p. 111-117, 2009.
- 543  
544 CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da**  
545 **correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2004, 142 p.
- 546  
547 CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVA, M. C. Controle de  
548 *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli* *in vitro* e em sementes, e promoção do crescimento inicial  
549 do feijoeiro comum por *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, p. 111-  
550 117, 2011.
- 551  
552 CÍCERO, S. M.; VIEIRA, R. D. Teste de frio. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de.  
553 **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994, p.151-164.
- 554  
555 COMISSÃO ESTADUAL DE SEMENTES E MUDAS. **Recomendações técnicas para o**  
556 **cultivo de feijão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: PALLOTTI, 2011. 80p.
- 557  
558 COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra**  
559 **brasileira**: grãos, oitavo levantamento. Brasília: Conab, 2012. 43p. Disponível em:  
560 [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos\\_6.5.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos_6.5.10.pdf). Acesso em: 08 mai.  
561 2012.
- 562  
563 CONTRERAS, S.; BARROS, M. Pruebas de vigor en semillas de Lechuga y su correlación  
564 con emergencia. **Ciencia y Investigacion Agrária**, v. 32, p. 3-11, 2005.
- 565  
566 CRUZ, C. D. **Programa Genes**: estatística experimental e matrizes. Editora UFV, Viçosa,  
567 2006, 285p.
- 568  
569 DIAS, D. C. F. S.; VIEIRA, A. N.; BHÉRING, M. C. Condutividade elétrica e lixiviação de  
570 potássio para avaliação do vigor de sementes de hortaliças: feijão-de-vagem e quiabo. **Revista**  
571 **Brasileira de Sementes**, v. 20, p. 170-175, 1998.
- 572  
573 DUTRA, A. S.; TEÓFILO, E. M. Envelhecimento acelerado para avaliar o vigor de sementes  
574 de feijão caupi. **Revista Brasileira de sementes**, v. 29, p. 193-197, 2007.
- 575  
576 ESTEVES, A. M.; ABREU, C. M. P.; SANTOS, C. D.; CORRÊA, A. D. Comparação  
577 química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência**  
578 **Agrotecnologia**, v. 26, p. 999-1005, 2002.
- 579  
580 FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT. 2009.  
581 Undernourishment around the world: counting the hungry: latest estimates. Disponível em:  
582 <http://www.fao.org/documents>. Acesso em: 26 agosto 2012.
- 583

- 584 FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; SOUZA, F. S.; PIEDADE, A. R.; LEMOS, L. B.  
585 Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão  
586 adubados via foliar com cálcio e boro. **Científica**, v. 34, p. 174-186, 2006.  
587
- 588 FREITAS, R. A.; DIAS, D. C. F.; REIS, M. S.; CECON, P. R. Correlação entre testes para  
589 avaliação da qualidade de sementes de algodão e a emergência das plântulas em campo.  
590 **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, p. 97-103, 2000.  
591
- 592 GHELLER, J. L. **Qualidade de sementes de feijão produzidas em sistema orgânico no**  
593 **oeste do Paraná**. 2008, 77p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual do Oeste do  
594 Paraná. Marechal Cândido Rondon.  
595
- 596 HAMPTON, J. G.; TEKRONY, D. M. **Handbook of vigour test methods**. 3 ed. Zürich:  
597 ISTA, 1995. 117p.  
598
- 599 JAUER, A.; MENEZES, N. L.; GARCIA, D. C. Tamanho das sementes na qualidade  
600 fisiológica de cultivares de feijoeiro comum. **Revista da FZVA**, v. 9, p. 65-72. 2002.  
601
- 602 LAZAROTTO, M.; QUADROS, K, M.; MUNIZ, M. F. B.; BLUME E. Correlação entre  
603 testes para avaliação da qualidade de sementes de alcachofra (*Cynara scolymus* L.) e a  
604 germinação. **Revista da FZVA**. v.15, p. 43-53. 2008.  
605
- 606 LEMOS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. Características  
607 agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa**  
608 **agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 319-326, 2004.  
609
- 610 MAVI, K.; DEMIR, I. Controlled deterioration and accelerated ageing tests to predict  
611 seedling emergence of watermelon under stressful conditions and seed longevity. **Seed**  
612 **Science and Technology**, v. 35, p. 445-459, 2007.  
613
- 614 MAIA, L. G. S.; SILVA, C. A.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Variabilidade  
615 genética associada à germinação e vigor de sementes de linhagens de feijoeiro comum.  
616 **Ciência Agrotecnologia**, v. 35, p. 361-367, 2011.  
617
- 618 MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N°25, de  
619 16 de dezembro de 2005. Anexo XII - **Padrões para produção e comercialização de**  
620 **sementes de soja**. Disponível em:  
621 [http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/padroes\\_soja.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/padroes_soja.pdf). Acesso em: 20 de abril  
622 de 2012.  
623
- 624 MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005.  
625 495p.  
626
- 627 MARQUES, R. O.; ALVES, V. M.; LIMA, M. L. P et al. Avaliação sanitária e fisiológica de  
628 feijão oriundos de Unai – MG, Paracatu-MG e Cristalina- GO. **Summa Phytopathologica**, v.  
629 32, p. 44, 2006.
- 630 MELO, R. A. **Caracterização morfo-agronômica e molecular, processamento mínimo e**  
631 **utilização de raios X em sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.)**. 2010. 101p.  
632 **Tese** (Doutorado) – ESALQ/USP.  
633

- 634 MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D.; NOVEMBRE, A. D.; ITO, M. A. Qualidade das  
635 sementes de feijão no Brasil. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, p. 22-27, 2006.
- 636
- 637 MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura,  
638 1961. 42 p.
- 639
- 640 OLIVO, F.; TUNES, L.; OLIVO, M.; PESKE, I. B. Espessura do tegumento e qualidade  
641 física e fisiológica de sementes de feijão. **Revista Verde**, v. 6, p. 89 – 88, 2011.
- 642
- 643 PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.  
644 Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignin content. **Seed  
645 Science and Technology**, v. 27, p. 945-949, 1999.
- 646
- 647 PEREIRA JÚNIOR, T. J. de P.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; COELHO, R. R.;  
648 CARNEIRO, J. E. de S.; ANDRADE, M. J. B. de; REZENDE, A. M. **Informações técnicas  
649 para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2007-2009**. Viçosa, MG:  
650 EPAMIG, 2008.
- 651
- 652 RIBEIRO, N. D.; POSSEBON, S. B.; STORCK, L. Progresso genético em caracteres  
653 agronômicos no melhoramento do feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 33, p. 629-633, 2003.
- 654
- 655 RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; FILHO, A. C.; JOST, E.; POERSCH, N. L.;  
656 MALLMANN, C. A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o  
657 melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1393-1399, 2007.
- 658
- 659 RIBEIRO, N. D.; STORCK, L.; POERSCH, N. Classificação de lotes comerciais de feijão  
660 por meio da claridade do tegumento dos grãos. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2042-2045, 2008.
- 661
- 662 ROSSETTO, C. A. V.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre os métodos de  
663 envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação da qualidade fisiológica  
664 de sementes de soja. **Scientia Agrícola Journal**. v. 52, p. 123- 131, 1995.
- 665
- 666 SALES, M. P.; GERHARDT, I. R.; SÁ, M. F. G.; XAVIER FILHO, J. Cowpea seed coat  
667 chemical analysis in relation to Storage seed quality. **African Crop Science Journal**, v. 08,p.  
668 283-294, 2000.
- 669
- 670 SANTOS, E. L.; PÓLA, J. N.; BARROS, A. S. R.; PRETE, C. E. Qualidade fisiológica e  
671 composição química das sementes de soja com variação na cor do tegumento. **Revista  
672 Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 20-26, 2007.
- 673
- 674 SCHUAB, S. R. P.; BRACCINI, A. L.; NETO, J. B. F.; SCAPIM, C. A.; MESCHÉDE, C. K.  
675 Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a emergência das plântulas em  
676 campo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, p. 553-561, 2006.
- 677
- 678 SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analysis method for grouping mans in the analysis of  
679 variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.
- 680 SILVA, G. C.; GOMES, D. P.; KRONKA, A.; MORAES, M. H. Qualidade fisiológica e  
681 sanitária de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes do estado de Goiás.  
682 **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, p. 29-34, 2008.
- 683

- 684 SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; BRAZACA, S. G. C. Caracterização físico-química,  
685 digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.).  
686 **Alimentos e Nutrição**, v. 20, p. 591-598, 2009.
- 687  
688 SILVA, A. C. **Características agronômicas e qualidade de sementes de feijão-caupi em**  
689 **Vitória da Conquista, Bahia**. 84p., 2011. **Dissertação** (Mestrado)- Universidade Estadual do  
690 Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.
- 691  
692 SOUZA, L. A.; CARVALHO, M. L.; CLADEIRA, C. M.; BALDONI, A.; OLIVEIRA, V. R.  
693 Teste de condutividade elétrica individual na valiação da qualidade fisiológica de sementes de  
694 mamona. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: ENERGIA E  
695 RICINOQUÍMICA, 6, 2006, Salvador, BA. **Anais**. Salvador: Embrapa, 2006. 880p. p.408-  
696 411.
- 697  
698 VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A.; SILVA, A. C. T.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento  
699 de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de**  
700 **Sementes**, v. 29, p. 90-96, 2007.
- 701  
702 YOKOYAMA, L. P.; WETZEL, C. T.; VIEIRA, E. H. N.; PEREIRA, G. V. Sementes de  
703 feijão: Produção, uso e comercialização. In: VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. (Ed.). **Sementes**  
704 **de Feijão**: produção e tecnologia. Goiás: EMBRAPA Arroz e feijão, p. 249-270, 2000.

**Tabela 1** - Análise de variância contendo as fontes de variação (FV), os graus de liberdade (GL), os quadrados médios (QM), o coeficiente de variação (CV) em porcentagem, e as médias para os caracteres: peso de 1000 sementes (P1000, g), coloração do tegumento das sementes (COR, L), conteúdo de lignina no tegumento (LIG), comprimento das sementes (C, cm), largura das sementes (L, cm), espessura das sementes (E, cm), incidência de *Fusarium* sp. (F, %), incidência de *Macrophomina phaseolina* (M, %), germinação (G, %), primeira contagem de germinação (PCG, %), envelhecimento acelerado (EA, %), condutividade elétrica (CE,  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), comprimento da parte aérea (CPA, cm), comprimento da raiz (CR, cm), comprimento total da plântula (CT, cm), massa seca da parte aérea (MSPA, g), massa seca da raiz (MSR, g), massa seca total (MST, g) e emergência de plântulas a campo (EMERG, %) de 16 linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivo de safra de 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM.

| FV        | GL | Quadrado Médio |                      |         |         |         |        |        |                     |          |          |
|-----------|----|----------------|----------------------|---------|---------|---------|--------|--------|---------------------|----------|----------|
|           |    | P1000          | COR                  | LIG     | C       | L       | E      | F      | M                   | G        | PCG      |
| Linhagens | 15 | 26,42 *        | 911,6 *              | 19,16 * | 0,01 *  | 0,00 *  | 0,04 * | 0,41 * | 40,37 <sup>ns</sup> | 275,56 * | 282,69 * |
| Erro      | 48 | 22,18          | 0,89                 | 0,13    | 0,00    | 0,00    | 0,01   | 0,22   | 8,33                | 95,45    | 93,37    |
| Média     |    | 231,3          | 35,58                | 8,86    | 1,08    | 0,68    | 0,51   | 0,29   | 3,02                | 89,52    | 87,64    |
| CV %      |    | 6,44           | 2,65                 | 4,08    | 3,59    | 4,11    | 4,60   | 26,13  | 41,20               | 10,91    | 11,03    |
|           | GL | EA             | CE                   | CPA     | CR      | CT      | MSPA   | MSR    | MST                 | EMERG    |          |
| Linhagens | 15 | 354,40 *       | 652,72 <sup>ns</sup> | 7,65 *  | 11,54 * | 34,86 * | 0,01 * | 0,00 * | 0,01 *              | 249,61 * |          |
| Erro      | 48 | 154,10         | 636,8                | 1,88    | 2,63    | 6,94    | 0,00   | 0,00   | 0,00                | 124,63   |          |
| Média     |    | 84,22          | 95,87                | 7,34    | 9,17    | 16,49   | 0,28   | 0,10   | 0,38                | 82,35    |          |
| CV %      |    | 14,74          | 26,34                | 18,71   | 17,7    | 15,98   | 25,63  | 46,67  | 28,32               | 13,56    |          |

\* Significativo pelo teste  $F$  (valor-p < 0,05).

**Tabela 2** - Valores médios obtidos para os caracteres: peso de 1000 sementes (P1000, g), coloração do tegumento das sementes (COR, L), conteúdo de lignina no tegumento (LIG, %), comprimento das sementes (C, cm), largura das sementes (L, cm), espessura das sementes (E, cm), incidência de *Fusarium* sp.(F, %) e incidência de *Macrophomina phaseolina* (M, %) de 16 linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivo de safra de 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM.

| Linhagens       | P1000    | COR     | LIG      | C                  |
|-----------------|----------|---------|----------|--------------------|
| BRS MG Realce   | 313,0 a* | 56,57 b | 5,59 e   | 1,19 a             |
| TB 02-24        | 276,3 b  | 29,62 d | 6,54 d   | 1,09 b             |
| Pérola          | 242,3 b  | 56,79 b | 7,86 c   | 1,11 b             |
| CHC 01175       | 248,7 b  | 55,06 c | 8,03 c   | 1,10 b             |
| GEN P5-4-3-1    | 247,0 b  | 58,64 a | 6,91 d   | 1,10 b             |
| GEN Pr 14-2-3   | 225,0 c  | 19,87 f | 9,71 b   | 1,06 b             |
| LP 07-80        | 224,7 c  | 58,11 a | 6,52 d   | 1,08 b             |
| LP 08-90        | 223,0 c  | 20,86 f | 12,07 a  | 1,09 b             |
| CNFP 10104      | 222,7 c  | 24,10 e | 8,47 c   | 1,06 b             |
| Carioca         | 220,7 c  | 57,90 a | 6,20 d   | 1,07 b             |
| TB 02-07        | 213,0 c  | 22,31 f | 11,88 a  | 1,08 b             |
| SM 1810         | 210,0 c  | 24,05 e | 12,11 a* | 1,04 b             |
| CHP 986620      | 209,7 c  | 21,34 f | 11,81 a  | 1,04 b             |
| BRS Valente     | 208,7 c  | 21,81 f | 12,05 a  | 1,08 b             |
| Guapo Brilhante | 205,0 c  | 21,12 f | 10,27 b  | 1,03 b             |
| SM 1107         | 201,7 c  | 21,12 f | 5,71 e   | 1,05 b             |
| Média           | 231,3    | 35,58   | 8,86     | 1,08               |
| CV%             | 6,44     | 2,65    | 4,08     | 3,59               |
| Linhagens       | L        | E       | F        | M                  |
| BRS MG Realce   | 0,67 b   | 0,53 b  | 0,63 a   | 3,75 <sup>ns</sup> |
| TB 02-24        | 0,72 a   | 0,57 a  | 0,88 a   | 4,00               |
| Pérola          | 0,71 a   | 0,54 b  | 0,38 b   | 0,88               |
| CHC 01175       | 0,69 a   | 0,51 b  | 0,00 b   | 1,63               |
| GEN P5-4-3-1    | 0,70 a   | 0,52 b  | 1,00 a   | 5,50               |
| GEN Pr 14-2-3   | 0,68 a   | 0,52 b  | 0,13 b   | 10,38              |
| LP 07-80        | 0,66 b   | 0,53 b  | 0,13 b   | 0,88               |
| LP 08-90        | 0,67 b   | 0,47 c  | 0,00 b   | 0,25               |
| CNFP 10104      | 0,73 a   | 0,50 c  | 0,00 b   | 1,63               |
| Carioca         | 0,65 b   | 0,47 c  | 0,00 b   | 0,25               |
| TB 02-07        | 0,71 a   | 0,52 b  | 0,00 b   | 0,13               |
| SM 1810         | 0,65 b   | 0,48 c  | 0,38 b   | 1,63               |
| CHP 986620      | 0,66 b   | 0,50 c  | 0,50 a   | 4,38               |
| BRS Valente     | 0,69 a   | 0,45 c  | 0,25 b   | 2,00               |
| Guapo Brilhante | 0,64 b   | 0,48 c  | 0,13 b   | 9,75               |
| SM 1107         | 0,66 b   | 0,53 b  | 0,38 b   | 1,38               |
| Média           | 0,68     | 0,51    | 0,29     | 9,43               |
| CV%             | 4,10     | 4,60    | 16,20    | 30,23              |

\*Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferiram significativamente pelo teste Scott-Knott (valor-p =0,05). <sup>ns</sup> = sem diferenças entre linhagens (teste F, 5%).

**Tabela 3** - Valores médios obtidos para os caracteres, germinação (G, %), primeira contagem de germinação (PCG, %), envelhecimento acelerado (EA, %), condutividade elétrica (CE,  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), comprimento da parte aérea (CPA, cm), comprimento da raiz (CR, cm), comprimento total da plântula (CT, cm), massa seca da parte aérea (MSPA, g), massa seca da raiz (MSR, g), massa seca total (MST, g) e emergência de plântulas a campo (EMERG, %) de 16 linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivo de safra de 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM.

| Linhagens       | G       | PCG    | EA     | CE                  | CPA    | CR      |
|-----------------|---------|--------|--------|---------------------|--------|---------|
| TB 02-07        | 98 a*   | 97 a   | 95 a   | 84,44 <sup>ns</sup> | 7,67 b | 10,71 a |
| SM 1810         | 97 a    | 95 a   | 92 a   | 79,78               | 8,37 a | 8,68 b  |
| Carioca         | 97 a    | 95 a   | 94 a   | 78,82               | 8,82 a | 11,90 a |
| LP 08-90        | 97 a    | 95 a   | 94 a   | 104,1               | 9,04 a | 11,25 a |
| SM 1107         | 96 a    | 94 a   | 91 a   | 97,48               | 7,63 b | 9,39 a  |
| LP 07-80        | 96 a    | 95 a   | 92 a   | 104,45              | 7,62 b | 9,69 a  |
| Pérola          | 93 a    | 91 a   | 90 a   | 80,64               | 7,28 b | 8,48 b  |
| CNFP 10104      | 93 a    | 90 a   | 84 a   | 79,27               | 6,10 c | 8,00 b  |
| CHC 01175       | 91 a    | 89 a   | 88 a   | 112,47              | 6,72 c | 10,02 a |
| TB 02-24        | 90 a    | 88 a   | 87 a   | 96,53               | 7,38 b | 7,99 b  |
| CHP 986620      | 89 a    | 87 a   | 76 b   | 106,79              | 5,61 c | 7,97 b  |
| BRS Valente     | 86 a    | 84 a   | 77 b   | 106,9               | 9,58 a | 10,75 a |
| BRS MG Realce   | 86 a    | 84 b   | 79 b   | 97,88               | 7,47 b | 10,27 a |
| GEN Pr 14-2-3   | 77 b    | 73 b   | 71 b   | 85,99               | 4,02 d | 4,91 c  |
| GEN P5-4-3-1    | 75 b    | 74 b   | 64 b   | 117,43              | 6,28 c | 8,29 b  |
| Guapo Brilhante | 72 b    | 72 b   | 76 b   | 100,01              | 7,77 b | 8,43 b  |
| Média           | 90      | 88     | 84     | 95,57               | 7,34   | 9,17    |
| CV%             | 9,70    | 9,78   | 13,64  | 26,94               | 15,44  | 13,42   |
| Linhagens       | CT      | MSPA   | MSR    | MST                 | EMERG  |         |
| TB 02-07        | 18,32 b | 0,13 a | 0,28 b | 0,41 a              | 92 a   |         |
| SM 1810         | 17,06 b | 0,10 b | 0,23 b | 0,24 c              | 85 a   |         |
| Carioca         | 20,73 a | 0,10 b | 0,35 a | 0,36 b              | 85 a   |         |
| LP 08-90        | 20,29 a | 0,09 b | 0,27 b | 0,36 b              | 88 a   |         |
| SM 1107         | 17,02 b | 0,12 a | 0,26 b | 0,38 b              | 84 a   |         |
| LP 07-80        | 17,31 b | 0,08 b | 0,23 b | 0,31 b              | 81 a   |         |
| Pérola          | 15,54 c | 0,10 b | 0,30 a | 0,40 a              | 93 a   |         |
| CNFP 10104      | 14,10 c | 0,06 b | 0,25 b | 0,31 b              | 85 a   |         |
| CHC 01175       | 16,73 b | 0,08 b | 0,31 a | 0,39 b              | 76 b   |         |
| TB 02-24        | 15,37 c | 0,08 b | 0,39 a | 0,47 a              | 82 a   |         |
| CHP 986620      | 13,58 c | 0,14 a | 0,29 a | 0,43 a              | 89 a   |         |
| BRS Valente     | 20,33 a | 0,14 a | 0,35 a | 0,49 a              | 71 b   |         |
| BRS MG Realce   | 17,74 b | 0,11 b | 0,21 b | 0,32 b              | 89 a   |         |
| GEN Pr 14-2-3   | 8,94 d  | 0,07 b | 0,20 b | 0,27 c              | 84 a   |         |
| GEN P5-4-3-1    | 14,58 c | 0,10 b | 0,21 b | 0,31 b              | 64 b   |         |
| Guapo Brilhante | 16,2 b  | 0,11 b | 0,31 a | 0,42 a              | 72 b   |         |
| Média           | 16,49   | 0,10   | 0,28   | 0,36                | 82     |         |
| CV%             | 11,67   | 29,38  | 23,63  | 26,50               | 11,45  |         |

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente pelo teste Scott-Knott (valor-p = 0,05).<sup>ns</sup> = sem diferenças entre linhagens (teste F, 5%).

**Tabela 4** – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres emergência de plântulas a campo (EMERG), germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), comprimento total da plântula (CT) e massa seca total (MST) de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2011/2012. Santa Maria- RS, UFSM.

|       | G       | PCG     | EA      | CE                   | CT                  | MST                 |
|-------|---------|---------|---------|----------------------|---------------------|---------------------|
| EMERG | 0,651 * | 0,602 * | 0,793 * | 0,635 *              | 0,013 <sup>ns</sup> | 0,087 <sup>ns</sup> |
| G     |         | 0,991 * | 0,903 * | -0,396 <sup>ns</sup> | 0,504 *             | 0,185 <sup>ns</sup> |
| PCG   |         |         | 0,912 * | -0,345 <sup>ns</sup> | 0,552 *             | 0,205 <sup>ns</sup> |
| EA    |         |         |         | -0,438 <sup>ns</sup> | 0,589 *             | 0,192 <sup>ns</sup> |
| CE    |         |         |         |                      | 0,079 <sup>ns</sup> | 0,213 <sup>ns</sup> |
| CT    |         |         |         |                      |                     | 0,355 <sup>ns</sup> |

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



## 4 ARTIGO 3

### Seleção combinada para produtividade, qualidade de cozimento e minerais em grãos de feijão

**Resumo** - O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade genética das linhagens de feijão quanto à produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais em grãos, estudar a associação linear entre esses caracteres e utilizar o índice Z para selecionar as linhagens com superioridade para a maioria dos caracteres. Para tanto, foram avaliadas 16 linhagens de feijão em duas épocas de cultivo. As linhagens de feijão apresentaram variabilidade genética para a produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de cálcio e de ferro em grãos. Correlações de baixa magnitude foram obtidas entre as variáveis em estudo, indicando a inexistência de relação causal. A seleção da linhagem Gen Pr 14-2-3 é recomendável, pois forneceu aos maiores valores de índice  $\bar{Z}$  para a maioria dos caracteres.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Variabilidade genética. Correlação de Pearson. Índice Z.

### Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in common bean grains

**Abstract** - The objective of this study was to evaluate the genetic variability of common bean lines as grain yield, cooking time and minerals concentration in grains, study the linear correlation among these characters and use the Z index to select the common bean lines with superiority for most characters. For this, 16 common bean lines were evaluated in two growing seasons. The common bean lines showed genetic variability for grain yield, cooking time and calcium and iron concentrations in grains. Correlation of low magnitude was found between the study variables, indicating the no existence of casual correlation. The selection of the Gen Pr 14-2-3 line is recommended because it provided the highest Z index values for most characters.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Genetic variability. Pearson correlation. Index Z

## 36 **4.1 Introdução**

37

38         Dentre as principais leguminosas cultivadas no mundo, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)  
39 é a mais consumida, sendo um dos principais alimentos da dieta da população brasileira  
40 (TALUDER *et al.*, 2010). O feijão é produto de elevada importância nutricional, econômica e  
41 social e seu valor nutricional está associado com a sua qualidade protéica (RIBEIRO *et al.*,  
42 2008), sendo o alimento a principal fonte de proteínas das populações de baixa renda, o que  
43 ocorre em diversos países da América Latina e da África Oriental e do Sul (BROUGHTON *et*  
44 *al.*, 2003), sobretudo por apresentar preço relativamente baixo quando comparado com outros  
45 alimentos de similar valor nutricional (PEREIRA, 1999). Além disso, é importante fonte de  
46 ferro, zinco e cobre (BEEBE *et al.*, 2000; MESQUITA *et al.*, 2007), que são minerais  
47 essenciais para a manutenção da atividade física, da capacidade de trabalho e contribuem para  
48 o perfeito funcionamento do sistema imunológico (CUNHA; CUNHA, 1998).

49         Apesar dos benefícios que a ingestão de feijão traz à saúde humana, segundo a  
50 Companhia Nacional de Abastecimento, desde a década de 70 houve redução no seu consumo  
51 em quase 50% (CONAB, 2012), pois, aos poucos, o feijão vem sendo substituído por outros  
52 produtos de rápido preparo. Portanto, para aumentar a probabilidade de aceitação de uma  
53 nova cultivar de feijão é importante que, além do valor nutritivo, seja também avaliado o  
54 tempo de cozimento. Isso porque, grãos que em poucos minutos de cozimento adquirem a  
55 maciez adequada para o consumo são preferidos, pois há uma diminuição no tempo de  
56 preparo da refeição e no gasto com energia (RODRIGUES *et al.*, 2005). Além disso, períodos  
57 prolongados de cozimento são desaconselháveis, por causarem alterações estruturais em nível  
58 celular, provocando a perda de nutrientes (WASSIMI *et al.*, 1988), além de elevar o custo de  
59 preparo do alimento e alterar a qualidade sensorial do mesmo.

60         A qualidade nutricional e tecnológica do feijão é constituída pelo conteúdo protéico,  
61 balanço de aminoácidos, tempo de cozimento e capacidade de hidratação dos grãos (DALLA

62 CORTE *et al.*, 2003; LEMOS *et al.*, 2004). Essas características são influenciadas por fatores  
63 genéticos, ambientais e pela interação genótipo x ambiente durante o desenvolvimento das  
64 plantas e dos grãos (RIBEIRO, 2010). Por isso, a identificação de germoplasma de feijão com  
65 qualidade nutricional e tecnológica de grãos é de relevante importância e precisa ser  
66 considerada pelos programas de melhoramento.

67 Variabilidade genética para o tempo de cozimento foi observada em feijão, com valores  
68 que variaram de 13 a 100 min (CARNEIRO *et al.*, 1999; CARBONELL *et al.*, 2003;  
69 DALLA CORTE *et al.*, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2004). Também, se observou variabilidade  
70 genética para a concentração de potássio, cálcio, ferro, zinco e cobre em germoplasma de  
71 feijão silvestre e de feijão cultivado em diferentes países (BEEBE *et al.*, 2000; GUZMÁN *et*  
72 *al.*, 2000; ISLAM *et al.*, 2002; MESQUITA *et al.*, 2007; BLAIR *et al.*, 2009; BLAIR *et al.*,  
73 2010; PINHEIRO *et al.*, 2010; AKOND *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2011; TALUDER *et*  
74 *al.*, 2011). A identificação de variabilidade genética para características tecnológicas e  
75 nutricionais dos grãos de feijão possibilita o melhoramento genético para a redução do tempo  
76 de cozimento e o aumento da concentração de minerais, representando avanços tecnológicos  
77 para a cultura.

78 Em gerações segregantes foram registrados incrementos de 33,6% na concentração de  
79 cálcio (JOST *et al.*, 2009a), de 94,0% na concentração de ferro (JOST *et al.*, 2009b) e de  
80 37,3% na concentração de zinco (ROSA *et al.*, 2010) em grãos de feijão. Também,  
81 estimativas de herdabilidade superiores a 50% foram encontradas para a concentração dos  
82 minerais - cálcio e de ferro, em gerações segregantes (JOST *et al.*, 2009a; JOST *et al.*, 2009b)  
83 e, superiores a 60% para o tempo de cozimento (BELICUAS *et al.*, 2001). Partindo destas  
84 constatações, esperam-se facilidades para a seleção desses caracteres, uma vez que,  
85 provavelmente, os mesmos sejam controlados por poucos genes. Portanto, há possibilidade de  
86 se obter cultivares de feijão com melhor qualidade nutricional e tecnológica, que atendam as

87 necessidades nutricionais e as atuais demandas do mercado consumidor, além de poderem ser  
88 utilizadas para minimizar os problemas de deficiências de minerais que afetam,  
89 aproximadamente, três bilhões de pessoas no mundo (FAO, 2011).

90 Como a produtividade de grãos ainda é a característica mais importante para os  
91 programas de melhoramento de feijão, o aumento na concentração de minerais e a redução no  
92 tempo de cozimento devem estar associados à alta produtividade de grãos. Correlações  
93 positivas foram obtidas entre as concentrações de minerais, ferro e zinco (BEEBE *et al.*,  
94 2000; WELCH *et al.*, 2000; CICHY *et al.*, 2009; PINHEIRO *et al.*, 2010; TRYPHONE;  
95 NCHIMBI-MSOLLA, 2010), zinco e cobre (PINHEIRO *et al.*, 2010), fósforo e zinco  
96 (BEEBE *et al.*, 2000; CICHY *et al.*, 2009) e cobre e fósforo (PINHEIRO *et al.*, 2010). Já, a  
97 associação entre a produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais  
98 nos grãos foi pouco explorada na seleção de linhagens de feijão.

99 Ao se considerar que a seleção é realizada, muitas vezes simultaneamente, para vários  
100 caracteres, é importante considerar a utilização de índices de seleção, pois estes funcionam  
101 como caráter adicional, resultante da combinação de determinadas características escolhidas  
102 pelo melhorista, nas quais se deseja exercer a seleção simultânea para a identificação de  
103 genótipos superiores, independentemente da existência ou não de correlações entre os  
104 caracteres (VILARINHO *et al.*, 2003). Na literatura são encontrados diversos índices de  
105 seleção, os quais podem ser utilizados no melhoramento de plantas (CRUZ *et al.*, 2004). O  
106 índice Z é um destes e, considera o somatório das variáveis padronizadas por parcela  
107 (MENDES *et al.*, 2009). As linhagens com as maiores somas do índice Z serão promissoras  
108 para a seleção, pois apresentarão superioridade para a maioria dos caracteres desejáveis.

109 A seleção combinada para produtividade de grãos, qualidade de cozimento e  
110 concentração de minerais é recente em feijão, sendo as pesquisas ainda incipientes. Nesse  
111 sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética das linhagens de feijão

112 quanto à produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais em  
113 grãos de feijão, além de estudar a associação linear entre esses caracteres e utilizar o índice Z  
114 para selecionar as linhagens avançadas com superioridade para a maioria dos caracteres.

115

## 116 **4.2 Material e métodos**

117

118 Os experimentos foram conduzidos em área da Universidade Federal de Santa Maria,  
119 Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Santa Maria está localizada na região da  
120 depressão central do RS a 95 m de altitude, latitude 29°42'S e longitude 53°43'W. O clima da  
121 região é do tipo Cfa, temperado chuvoso, com chuvas normalmente bem distribuídas ao longo  
122 dos anos, e subtropical do ponto de vista térmico, segundo a classificação de Köppen  
123 (MORENO, 1961).

124 A área experimental possui solo classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado alítico  
125 típico, com a seguinte composição química no cultivo da safra 2010/2011: pH: 5,8; matéria  
126 orgânica: 2%; cálcio: 5,9 cmol dm<sup>3</sup>; magnésio: 3,2 cmol dm<sup>3</sup>; alumínio: 0,2 cmol dm<sup>3</sup>;  
127 fósforo: 10,9 mg dm<sup>3</sup>; potássio: 0,17 mg dm<sup>3</sup>. Para a realização dos experimentos, o solo foi  
128 preparado pelo sistema de plantio convencional e a adubação foi realizada conforme a  
129 interpretação da análise química do solo no primeiro cultivo (safra 2010/1011). Na base foram  
130 aplicados 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-30-20 (nitrogênio, fósforo e potássio - NPK) e em  
131 cobertura foram adicionados 20 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, como uréia (45% de nitrogênio), no  
132 estágio de crescimento de primeira folha trifoliolada (V3). No cultivo subsequente (safrinha  
133 2011) foi realizada a adubação de manutenção, aplicando-se na base 190 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-  
134 30-20 e em cobertura, 20 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (uréia) aplicado no estágio de crescimento de  
135 primeira folha trifoliolada (V3).

136 A semeadura foi realizada de maneira manual, em duas épocas de cultivo: safra  
 137 (semeadura em 13 de outubro de 2010) e safrinha (semeadura em 16 de fevereiro de 2011).  
 138 As condições climáticas observadas durante o período de condução dos experimentos  
 139 encontram-se resumidas na tabela 1.

140

141 **Tabela 1** – Temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), temperatura média  
 142 (Tmed) e precipitação (Prec) média mensal nos períodos de cultivo de safra 2010/2011 e de  
 143 safrinha 2011. Santa Maria - RS, UFSM.

|            | -----Safrinha 2010/2011----- |      |       |       | -----Safrinha 2011----- |      |       |      |
|------------|------------------------------|------|-------|-------|-------------------------|------|-------|------|
|            | Out                          | nov  | Dez   | jan   | Fev                     | mar  | Abr   | mai  |
| T min (°C) | 14,4                         | 15,2 | 15,4  | 22,8  | 20,6                    | 17,2 | 14,0  | 7,0  |
| T max (°C) | 23,0                         | 29,0 | 29,4  | 29,2  | 27,8                    | 26,2 | 22,8  | 24,2 |
| T med (°C) | 18,6                         | 20,5 | 23,7  | 25,5  | 23,7                    | 21,2 | 17,9  | 14,6 |
| Prec (mm)  | 49,3                         | 71,3 | 157,9 | 127,1 | 165,8                   | 54,9 | 164,9 | 54,9 |

144

145 O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro  
 146 repetições, seguindo os requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso  
 147 (VCU), para a inscrição de cultivares de feijão no Registro Nacional de Cultivares –  
 148 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - RNC/MAPA (BRASIL, 2006). Cada  
 149 parcela foi constituída por quatro linhas de 4,0 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, e área  
 150 útil de 4,0 m<sup>2</sup>. Os tratamentos consistiram da avaliação de 16 linhagens de feijão, sendo 14  
 151 linhagens comuns às duas épocas de cultivo e duas linhagens incluídas na safrinha de 2011  
 152 (GEN P5-4-3-1 e GEN Pr 14-2-3). Destas, 12 são linhagens avançadas desenvolvidas por  
 153 diferentes obtentores: TB 02-24 e TB 02-07 (Embrapa Clima Temperado), SM 1107 e SM  
 154 1810 (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO), CHC 01175 e CHP  
 155 986620 (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI),  
 156 LP 08-90 e LP 07-80 (Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR), BRS MG Realce e CNFP  
 157 10104 (Embrapa Arroz e Feijão), GEN P5-4-3-1 e GEN Pr 14-2-3 (Instituto Agrônômico de  
 158 Campinas – IAC ) e quatro linhagens comerciais (cultivares testemunhas): Guapo Brillhante,

159 BRS Valente, Carioca e Pérola. Todas as linhagens avaliadas são do grupo gênico  
160 Mesoamericano, exceto a TB 02-24 e BRS MG Realce que são do grupo gênico Andino.

161 A densidade de semeadura foi ajustada de acordo com o hábito de crescimento (HC) de  
162 cada linhagem, sendo utilizadas 18 sementes por metro linear para as linhagens de HC  
163 determinado (tipo I), 16 sementes por metro linear para as linhagens de HC indeterminado  
164 com guias curtas (tipo II) e 13 sementes por metro linear para as linhagens de HC  
165 indeterminado com guias longas (tipo III), para uma expectativa de população de plantas de  
166 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>, 260.000 plantas ha<sup>-1</sup> e 220.000 plantas ha<sup>-1</sup>, para as linhagens do tipo I,  
167 II e III, respectivamente.

168 O controle de insetos e de plantas invasoras foi executado sempre que necessário, a fim  
169 de não comprometer o desenvolvimento da cultura. Desta forma, foi aplicado o inseticida  
170 Metamidofós na dose de 0,8 L ha<sup>-1</sup> sempre que a infestação atingiu, aproximadamente, 5% de  
171 dano. Já, o controle de doenças não foi efetuado, pois foi avaliada a reação das linhagens às  
172 principais doenças que podem ocorrer durante o desenvolvimento das plantas de feijão.  
173 Também, foram feitas irrigações por aspersão, principalmente, no período de estabelecimento  
174 do estande inicial da cultura, para não comprometer o desenvolvimento da mesma.

175 As plantas de feijão foram colhidas e trilhadas manualmente quando maduras.  
176 Máquinas e equipamentos agrícolas não foram utilizados na colheita e no beneficiamento dos  
177 grãos para evitar a contaminação das amostras por metais pesados. Após a remoção manual  
178 das impurezas e dos grãos quebrados, os grãos obtidos foram secos em estufa de secagem e de  
179 esterilização com circulação forçada (65 a 70 °C), marca Odontobras, modelo Odontobras 1.5,  
180 fabricada no Brasil, até atingirem umidade média de 13%, quando se determinou a  
181 produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>). Os grãos foram acondicionados em sacos de papel  
182 devidamente identificados e armazenados em câmara fria, com temperatura média de 5 °C e

183 umidade relativa do ar de 80% por aproximadamente um mês, antes da realização das análises  
184 para a determinação do tempo de cozimento e da concentração de minerais.

185 O tempo de cozimento dos grãos de feijão foi estimado de acordo com o procedimento  
186 descrito em Rodrigues *et al.* (2005), com auxílio de um cozedor de Mattson montado pela  
187 Embrapa Instrumentação. O aparelho possui 25 hastes de 90 g e 1,0 mm de diâmetro da ponta  
188 da haste. Para o desenvolvimento da técnica, foram separadas três amostras de 25 grãos, de  
189 cada linhagem. A cada 30 minutos, uma amostra aleatória foi colocada em maceração em 25  
190 ml de água destilada, por oito horas, à temperatura ambiente ( $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Após, os grãos  
191 foram levemente secos em papel toalha e posicionados sobre uma haste do cozedor e o  
192 aparelho foi colocado dentro de uma panela de alumínio, com capacidade para 7 litros,  
193 contendo 3 litros de água destilada em ebulição. A mesma era mantida aberta (sem tampa),  
194 em fogo médio e, à medida que ocorria o cozimento, o grão amolecia e a haste caía,  
195 perfurando o grão. O tempo médio de queda das 13 primeiras hastes foi considerado como  
196 tempo de cozimento de cada amostra, como sugerido por Ribeiro *et al.* (2007).

197 Para a determinação da concentração de minerais, foram utilizadas amostras de 5 g de  
198 grãos das diferentes linhagens. Estas amostras foram moídas em micromoinho analítico de  
199 faca, marca Quimis, modelo Q298A21, fabricado no Brasil, até a obtenção de uma farinha de  
200 feijão cru com partículas inferiores a 1 mm. Os minerais foram quantificados em 0,5 g de  
201 farinha de feijão onde a mesma foi digerida com ácido perclórico e ácido nítrico concentrado  
202 (1/5, w/v) a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 12 horas, de acordo com a metodologia descrita por Ribeiro *et al.*  
203 (2012). As concentrações de potássio, cálcio, ferro, zinco e cobre foram determinadas por  
204 espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICPE). O  
205 equipamento usado é da marca Shimadzu Instrumentos Científicos, modelo ICPE-9000,  
206 fabricado no Brasil. As concentrações de potássio e de cálcio foram expressas em  $\text{g kg}^{-1}$  de  
207 matéria seca de amostra e ferro, zinco e cobre, em  $\text{mg kg}^{-1}$  de matéria seca de amostra.



208 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente,  
209 à análise de variância conjunta, no delineamento de blocos casualizados, com quatro  
210 repetições para a variável produtividade de grãos, três repetições para o tempo de cozimento e  
211 duas repetições para a concentração de minerais. A homogeneidade das variâncias residuais  
212 foi verificada pelo teste F máximo de Hartley (CRUZ; REGAZZI, 1997). Utilizou-se o teste F  
213 a 5% de probabilidade de erro para testar as hipóteses dos efeitos principais e da interação  
214 linhagem x ambiente (LxA). O efeito das linhagens foi considerado fixo e os demais foram  
215 considerados como efeitos aleatórios (bloco, épocas e interação LxA). Em relação aos  
216 caracteres com interação significativa, efetuou-se a comparação das médias pelo teste de  
217 Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Os coeficientes de correlação linear de Pearson  
218 foram estimados entre os oito caracteres, verificando-se a significância dos coeficientes por  
219 meio do teste *t* de Student a 5% de probabilidade.

220 Os dados de produtividade de grãos, tempo de cozimento, concentração de potássio,  
221 cálcio, ferro, zinco e cobre foram padronizados por parcela, permitindo a comparação direta  
222 entre os mesmos. O índice de seleção (índice Z) foi estimado como descrito em Mendes *et al.*  
223 (2009). Considerando que os caracteres foram determinados em número diferente de  
224 repetições (J), utilizou-se a média do índice Z (índice  $\bar{Z}$ ) nos caracteres presentes nas J  
225 repetições, sendo, então, somada a constante igual a três, no intuito de evitar valores  
226 negativos. Gráficos foram confeccionados para verificar a contribuição de cada caractere  
227 padronizado no valor do índice  $\bar{Z}$ , permitindo a identificação visual das linhagens com as  
228 maiores médias do índice  $\bar{Z}$  para todos os caracteres, usando o mesmo procedimento adotado  
229 por Mendes *et al.* (2009). As análises foram realizadas com o auxílio da planilha eletrônica  
230 Office Excel e do programa Genes (CRUZ, 2006).

231

#### 232 **4.3 Resultados e discussão**

233

234 A variância do erro experimental das duas épocas de cultivo foi homogênea (valor-p  
 235 >0,05), possibilitando a realização da análise de variância conjunta, para todos os caracteres  
 236 avaliados. Na análise da variância constatou-se interação linhagem x época de cultivo  
 237 significativa (valor-p <0,05) em relação à produtividade de grãos, ao tempo de cozimento e a  
 238 concentração de potássio e de ferro nos grãos de feijão (TAB. 2). Para esses caracteres, a  
 239 resposta das linhagens de feijão não foi paralela com a variação do ambiente (época de  
 240 semeadura).

241

242 **Tabela 2** – Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) da análise de variância conjunta  
 243 dos dados de produtividade de grãos (produtividade, t ha<sup>-1</sup>), tempo de cozimento (cozimento,  
 244 minutos: segundos), concentração de minerais nos grãos: potássio (g kg<sup>-1</sup> de matéria seca –  
 245 MS), cálcio (g kg<sup>-1</sup> de MS), ferro (mg kg<sup>-1</sup> de MS), zinco (mg kg<sup>-1</sup> de MS) e cobre (g kg<sup>-1</sup> de  
 246 MS) e índice  $\bar{Z}$  de linhagens avançadas de feijão obtidas em cultivos de safra 2010 e de  
 247 safrinha 2011.

| Fonte de<br>variação | Produtividade |           | Cozimento |                       | Potássio |                    |
|----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------------------|----------|--------------------|
|                      | GL            | QM        | GL        | QM                    | GL       | QM                 |
| Linhagem (L)         | 15            | 0,70906*  | 15        | 57154,9*              | 15       | 6,26 <sup>ns</sup> |
| Época (E)            | 1             | 39,01998* | 1         | 13514,3 <sup>ns</sup> | 1        | 83,67*             |
| LxE                  | 13            | 0,27172*  | 13        | 36901,3*              | 13       | 8,80*              |
| Bloco/E              | 6             | 0,06079*  | 4         | 27839,6*              | 2        | 0,61 <sup>ns</sup> |
| Erro                 | 84            | 0,07147   | 56        | 10784,0               | 28       | 3,68               |
| Média                |               | 1,959     |           | 1016,5                |          | 11,39              |
| CV%                  |               | 13,6      |           | 10,2                  |          | 16,8               |

|              | Quadrado Médio |                    |                     |                    |                    |                    |
|--------------|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|              | GL             | Cálcio             | Ferro               | Zinco              | Cobre              | Índice $\bar{Z}$   |
| Linhagem (L) | 15             | 0,11*              | 925,7*              | 27,3 <sup>ns</sup> | 0,84 <sup>ns</sup> | 1,08*              |
| Época (E)    | 1              | 0,05 <sup>ns</sup> | 3553,7*             | 120,7*             | 5,83*              | 0,04 <sup>ns</sup> |
| LxE          | 13             | 0,09 <sup>ns</sup> | 1336,3*             | 10,3 <sup>ns</sup> | 0,79 <sup>ns</sup> | 0,34 <sup>ns</sup> |
| Bloco/E      | 2              | 0,01 <sup>ns</sup> | 128,5 <sup>ns</sup> | 6,6 <sup>ns</sup>  | 0,43 <sup>ns</sup> | 0,19 <sup>ns</sup> |
| Erro         | 28             | 0,046              | 312,1               | 20,2               | 0,76               | 0,37               |
| Média        |                | 1,55               | 88,78               | 28,65              | 3,68               | 2,99               |
| CV%          |                | 13,8               | 19,9                | 15,7               | 23,7               | 20,3               |

248 \* Significativo pelo teste F (valor-p <0,05); ns = não significativo; CV%: coeficiente de  
 249 variação.

250

251 Para efeito de generalização do comportamento das linhagens em diferentes ambientes,  
 252 a avaliação das linhagens em duas épocas no mesmo local tem significado semelhante à

253 avaliação das linhagens em dois locais na mesma época, o importante é que haja variação  
254 ambiental. No caso, a variação ambiental foi significativa (valor-p <0,05) para a  
255 produtividade de grãos e para as concentrações de potássio, de ferro, de zinco e de cobre nos  
256 grãos. Interação linhagens x ambientes significativa, também, foi previamente observada para  
257 a produtividade de grãos (PERINA *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2008), para o tempo de  
258 cozimento (RODRIGUES *et al.*, 2005) e para as concentrações de potássio e de ferro nos  
259 grãos de feijão (MORAGHAN; GRAFTON, 2001). A concentração de cálcio e o índice  
260  $\bar{Z}$  foram significativos apenas para linhagens.

261 No cultivo de safra 2010, sete linhagens (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM  
262 1810, SM 1107, CHP 986620 e LP 07-80) superaram as cultivares comerciais em  
263 produtividade de grãos (TAB. 3). No cultivo de safrinha 2011, por sua vez, nove linhagens  
264 (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, LP 07-80, TB 02-07, Gen P5-4-3-  
265 1 e Gen Pr14-2-3) apresentaram produtividade de grãos similar as cultivares comerciais de  
266 maior produtividade de grãos (Guapo Brilhante e Carioca).

267 Para a inscrição de uma nova cultivar de feijão no Registro Nacional de Cultivares –  
268 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA), não há a necessidade de  
269 comprovar que a produtividade de grãos das linhagens avançadas foi superior ao valor  
270 observado nas cultivares comerciais avaliadas no ensaio de valor de cultivo e uso (BRASIL,  
271 2006). No entanto, o coeficiente de variação deverá ser, no máximo, de 25%. No presente  
272 estudo, os coeficientes de variação obtidos para a produtividade de grãos foram de 12,0%  
273 (safra 2010) e de 15,9% (safrinha 2011), atendendo o padrão de precisão experimental  
274 requerido pelo RNC/MAPA. Todavia, a nova linhagem deverá ter pelo menos uma  
275 característica que a diferencie das demais cultivares comerciais para justificar a sua inscrição  
276 no RNC/MAPA. Os caracteres que conferem qualidade de cozimento e nutricional ao feijão  
277 representam vantagens mercadológicas para os produtores, por isso alguns programas de

278 melhoramento têm investido na seleção de linhagens com reduzido tempo de cozimento e alta  
 279 concentração de minerais nos grãos.

280

281 **Tabela 3** - Médias da produtividade de grãos (produtividade, kg ha<sup>-1</sup>), do tempo de cozimento  
 282 dos grãos (cozimento, minutos: segundos) e da concentração de potássio (g kg<sup>-1</sup> de matéria  
 283 seca - MS), cálcio (g kg<sup>-1</sup> de MS) e ferro (mg kg<sup>-1</sup> de MS) nos grãos de feijão de linhagens  
 284 avançadas obtidas em cultivos de safra 2010 (safra 1) e de safrinha 2011 (safra 2).

| Linhagens        | Produtividade |         | Cozimento |         | Potássio |         | Cálcio | Ferro   |         |
|------------------|---------------|---------|-----------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|
|                  | Safra 1       | Safra 2 | Safra 1   | Safra 2 | Safra 1  | Safra 2 | Média  | Safra 1 | Safra 2 |
| CNFP 10104       | 3102 a*       | 1679 a  | 23:23 a   | 17:58 a | 9,1 a    | 14,7 a  | 1,5 a  | 67,3 c  | 76,1 b  |
| CHC 01175        | 3066 a        | 1466 a  | 17:50 b   | 16:43 b | 9,3 a    | 14,1 a  | 1,6 a  | 127,0 b | 84,6 b  |
| LP 08-90         | 3060 a        | 1603 a  | 16:03 b   | 16:05 b | 11,7 a   | 14,9 a  | 1,4 a  | 80,9 c  | 82,9 b  |
| SM 1810          | 2913 a        | 1394 a  | 15:24 b   | 14:15 b | 9,1 a    | 12,8 a  | 1,6 a  | 132,5 b | 64,3 b  |
| SM 1107          | 2798 a        | 1762 a  | 17:30 b   | 15:21 b | 10,6 a   | 15,0 a  | 1,7 a  | 90,4 c  | 76,7 b  |
| CHP 986620       | 2782 a        | 1308 b  | 19:16 b   | 16:11 b | 9,1 a    | 9,5 b   | 1,3 a  | 67,5 c  | 78,6 b  |
| LP 07-80         | 2742 a        | 1611 a  | 14:00 b   | 12:39 b | 9,3 a    | 9,3 b   | 1,3 a  | 179,5 a | 77,1 b  |
| Guapo Brillhante | 2608 b        | 1445 a  | 16:19 b   | 19:39 a | 9,5 a    | 9,4 b   | 1,6 a  | 86,3 c  | 78,4 b  |
| TB 02-07         | 2551 b        | 1420 a  | 18:11 b   | 16:39 b | 12,5 a   | 9,7 b   | 1,7 a  | 73,3 c  | 103,1 a |
| Carioca          | 2438 b        | 1511 a  | 15:42 b   | 15:58 b | 9,2 a    | 12,4 a  | 1,4 a  | 98,0 c  | 74,2 b  |
| BRS Valente      | 2360 c        | 1009 b  | 16:36 b   | 17:10 b | 9,4 a    | 14,9 a  | 1,8 a  | 75,1 c  | 64,8 b  |
| Pérola           | 2158 c        | 1096 b  | 16:52 b   | 17:43 a | 11,4 a   | 12,3 a  | 1,7 a  | 86,9 c  | 72,3 b  |
| BRS MG Realce    | 1934 c        | 1319 b  | 17:15 b   | 19:27 a | 9,0 a    | 13,5 a  | 1,5 a  | 86,7 c  | 118,0 a |
| TB-02-24         | 1454 d        | 1174 b  | 15:56 b   | 20:26 a | 12,4 a   | 9,0 b   | 1,6 a  | 106,5 c | 72,4 b  |
| Gen P5-4-3-1     | -             | 1442 a  | -         | 16:50 b | -        | 13,4 a  | 1,9 a  | -       | 78,5 b  |
| Gen Pr 14-2-3    | -             | 1577 a  | -         | 15:57 b | -        | 14,8 a  | 1,5 a  | -       | 102,9 a |
| Média            | 2569          | 1426    | 17:09     | 16:45   | 10,1     | 12,5    | 1,5    | 97,0    | 81,6    |
| CV% <sup>1</sup> | 12,0          | 15,9    | 10,1      | 11,3    | 16,1     | 16,4    | 13,8   | 22,3    | 15,1    |

285 \* Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott  
 286 (valor-p =0,05). <sup>1</sup>CV%: coeficiente de variação.

287

288 O tempo de cozimento dos grãos variou de 12 min e 39 s (LP 07-80, safrinha 2011) a 23  
 289 min e 23 s (CNFP 10104, safra 2010) (TAB. 3). De acordo com Rodrigues *et al.* (2005), as  
 290 cultivares Pérola e TPS Nobre, também, apresentaram cozimento rápido (15 min e 24 s a 20  
 291 min e 37 s), quando foram obtidas em cinco diferentes épocas de cultivo no Estado do Rio  
 292 Grande do Sul. No presente estudo, todas as linhagens de feijão apresentaram reduzido tempo  
 293 de cozimento, portanto atendem a demanda dos consumidores, que em função das atividades  
 294 fora do lar e do pouco tempo disponível para cozinhar, preferem os grãos de feijão de rápido

295 preparo. São desejáveis cultivares de feijão com tempo de cozimento menor do que 30  
296 minutos, pois significa economia de energia e de capital (RODRIGUES *et al.*, 2005).

297 A concentração de potássio variou de 9,0 (BRS MG Realce) a 12,5 g kg<sup>-1</sup> de matéria  
298 seca - MS (TB 02-07) e, embora tenha sido constatada diferença significativa pelo teste F para  
299 linhagens, a aplicação do teste Scott-Knott não resultou em estratificação entre os  
300 tratamentos, para o mesmo nível de significância no cultivo de safra 2010 (TAB. 3). No  
301 cultivo de safrinha 2011, dois grupos foram formados para a concentração de potássio nos  
302 grãos de feijão e, o teste os classificou em alto (12,3 a 15,0 g kg<sup>-1</sup> de MS) e baixo (9,0 a 9,7 g  
303 kg<sup>-1</sup> de MS). A identificação de linhagens de feijão com concentração elevada de potássio nos  
304 grãos (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, Carioca, BRS Valente,  
305 Pérola, BRS MG Realce, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-2-3) é de grande importância para a  
306 formulação de dietas para pessoas que praticam atividade física intensa e, por isso, requerem  
307 concentrações mais elevadas de potássio na alimentação (LINDINGER, 1995). Já, as  
308 linhagens de feijão com baixa concentração de potássio nos grãos poderiam ser utilizadas em  
309 dietas formuladas com restrição deste mineral, que são prescritas para pacientes com  
310 comprometimento renal (FRANCO, 2003), onde o controle adequado de sua ingestão é  
311 essencial para a manutenção de teores plasmáticos (CUPARI *et al.*, 2004).

312 A concentração de cálcio variou de 1,3 (CHP 986620 e LP 07-80) a 1,9 g kg<sup>-1</sup> de MS  
313 (Gen Pr5-4-3-1), mas a aplicação do teste Scott-Knott não possibilitou a estratificação entre as  
314 linhagens, no mesmo nível de significância. Valores de cálcio similares foram descritos  
315 previamente em gerações precoces de feijão (JOST *et al.*, 2009a) e em grãos de 29 linhagens  
316 avançadas de feijão, de diferentes cores de tegumento, cultivadas no Brasil, Estados Unidos e  
317 na Colômbia (AKOND *et al.*, 2011). A ingestão inadequada deste mineral durante o período  
318 de crescimento pode resultar em deficiência no futuro, o que muitas vezes pode ocasionar no  
319 desenvolvimento de osteoporose que é um distúrbio osteometabólico caracterizado pela

320 diminuição da densidade mineral óssea, levando a um aumento da fragilidade esquelética e do  
321 risco de fraturas (TOSTESON *et al.*, 2008). Apesar de não ser o único tratamento, os  
322 alimentos ricos em cálcio são ótimos auxiliares na prevenção e no combate à osteoporose.

323 A concentração de ferro nos grãos apresentou ampla variação entre as linhagens nas  
324 duas épocas de cultivo (TAB. 3). Valores entre 67,3 (CNFP 10104) a 179,5 mg kg<sup>-1</sup> de MS  
325 (LP 07-80) foram registrados no cultivo de safra 2010 e entre 64,3 (SM 1810) a 118,0 mg kg<sup>-1</sup>  
326 de MS (BRS MG Realce) foram verificados no cultivo de safrinha 2011. A concentração de  
327 ferro em grãos de feijão é afetada pela interação linhagens x ambientes de cultivo como foi  
328 observado no presente estudo e por Araújo *et al.* (2003). No entanto, todas as linhagens  
329 avaliadas apresentaram alta concentração de ferro nos grãos nas duas épocas de cultivo,  
330 considerando a classificação proposta por Tryphone e Nchimbi-Msolla (2010) para grãos de  
331 feijão. Valores elevados de ferro nos grãos de linhagens de feijão cultivadas no Brasil foram  
332 descritos previamente por Jost *et al.* (2009b) e por Mesquita *et al.* (2007). Por isso, todas as  
333 linhagens avaliadas neste estudo podem ser usadas em programas de biofortificação. O uso de  
334 grãos destas linhagens em uma ou duas refeições diárias poderá contribuir para minimizar os  
335 problemas decorrentes da carência de ferro no organismo humano.

336 A produtividade de grãos apresentou correlação negativa e de baixa magnitude com a  
337 concentração de potássio em grãos de feijão ( $r = -0,3497$ ) (TAB. 4). Como consequência, a  
338 seleção de linhagens de feijão com alta produtividade de grãos terá pequena contribuição para  
339 a diminuição da concentração de potássio nos grãos.

340

341

342

343

344

345 **Tabela 4** - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres  
 346 produtividade de grãos (produtividade), tempo de cozimento (cozimento) e concentração de  
 347 minerais nos grãos: potássio, cálcio, ferro, zinco e cobre de linhagens avançadas de feijão  
 348 obtidas em cultivos de safra 2010 e de safrinha 2011

|               | Cozimento | Potássio | Cálcio | Ferro    | Zinco   | Cobre   |
|---------------|-----------|----------|--------|----------|---------|---------|
| Produtividade | 0,1605    | -0,3497* | 0,1566 | 0,2486   | 0,3486* | 0,2729* |
| Cozimento     |           | -0,1163  | 0,1071 | -0,1467* | -0,0604 | -0,0033 |
| Potássio      |           |          | 0,0097 | -0,1210  | 0,2121  | 0,0713  |
| Cálcio        |           |          |        | -0,0008  | 0,2224  | 0,0499  |
| Ferro         |           |          |        |          | 0,2026  | 0,1025  |
| Zinco         |           |          |        |          |         | 0,3954* |

349 \* Significativo pelo teste  $t$  (valor-p =0,05).  
 350

351 Estimativa de correlação positiva e de baixa magnitude foi constatada entre a  
 352 produtividade de grãos e as concentrações de zinco ( $r= 0,3486$ ) e de cobre ( $r= 0,2729$ ). Além  
 353 disso, as concentrações de zinco e de cobre correlacionaram-se positivamente ( $r= 0,3954$ ),  
 354 embora em baixa magnitude. Correlação positiva entre zinco e cobre, também, foi observada  
 355 em linhagens de feijão cultivadas em Portugal (PINHEIRO *et al.*, 2010). Quando ocorre  
 356 associação positiva entre dois caracteres, o aumento de um caráter resulta em incrementos no  
 357 outro. No presente estudo, a magnitude das associações entre a produtividade de grãos e as  
 358 concentrações de zinco e de cobre foram baixas, não sendo favoráveis à seleção indireta.  
 359 Portanto, recomenda-se ao programa de melhoramento que a concentração de minerais nos  
 360 grãos de feijão seja avaliada nas linhagens selecionadas para alta produtividade de grãos.  
 361 Assim, será possível selecionar, entre as linhagens mais produtivas, aquelas com maior valor  
 362 nutricional. Um coeficiente de correlação significativo é um indicativo de associação entre  
 363 variáveis, no entanto, não fornece subsídio algum da relação da causa e efeito. Da mesma  
 364 forma, coeficientes de correlação de baixa magnitude não representam falta de associação  
 365 entre caracteres, mas sim inexistência de relação causal (CARVALHO; LORENCETTI;  
 366 BENIN, 2004).

367 As sete linhagens com as maiores médias de índice  $\bar{Z}$  para a maioria dos caracteres  
 368 foram representadas graficamente na Figura 1. A linhagem CNFP 10104 apresentou a maior

369 média de índice  $\bar{Z}$ , seguida pelas linhagens SM 1107, Gen Pr 14-2-3, CHC 01175, Gen P5-4-  
370 3-1, TB 02-07 e LP 08-90. A linhagem Gen Pr 14-2-3 apresentou maiores índice  $\bar{Z}$  para a  
371 produtividade de grãos e para as concentrações de potássio, ferro, zinco e cobre nos grãos e  
372 menor índice  $\bar{Z}$  para o tempo de cozimento. Portanto, a seleção da linhagem Gen Pr 14-2-3 é  
373 recomendada, pois foram observados índices  $\bar{Z}$  favoráveis a seleção para a maioria dos  
374 caracteres.

375 A linhagem Gen Pr 14-2-3 poderá ser utilizada em cruzamentos dirigidos com a  
376 linhagem SM 1107 ou com a Gen P5-4-3-1, pois estas apresentaram os maiores índice  $\bar{Z}$   
377 para a concentração de cálcio nos grãos. A seleção dos recombinantes obtidos poderá resultar  
378 em uma nova cultivar de feijão com maior produtividade de grãos, reduzido tempo de  
379 cozimento e alto valor nutritivo.

380 O desenvolvimento de cultivares de feijão biofortificadas pode representar avanços  
381 significativos para a melhoria da qualidade nutricional das dietas, contribuindo para a  
382 diminuição das carências de minerais que causam riscos para a saúde, como aquelas  
383 observadas nas situações de deficiência de cálcio, ferro, potássio e zinco no organismo  
384 humano. Como o feijão é a principal fonte de proteína utilizada diariamente na alimentação  
385 humana em vários países (BROUGHTON *et al.*, 2003), a biofortificação terá um grande  
386 impacto na melhoria da qualidade de vida de parcela significativa da população, portanto  
387 precisa ser considerada pelo melhoramento genético.

388

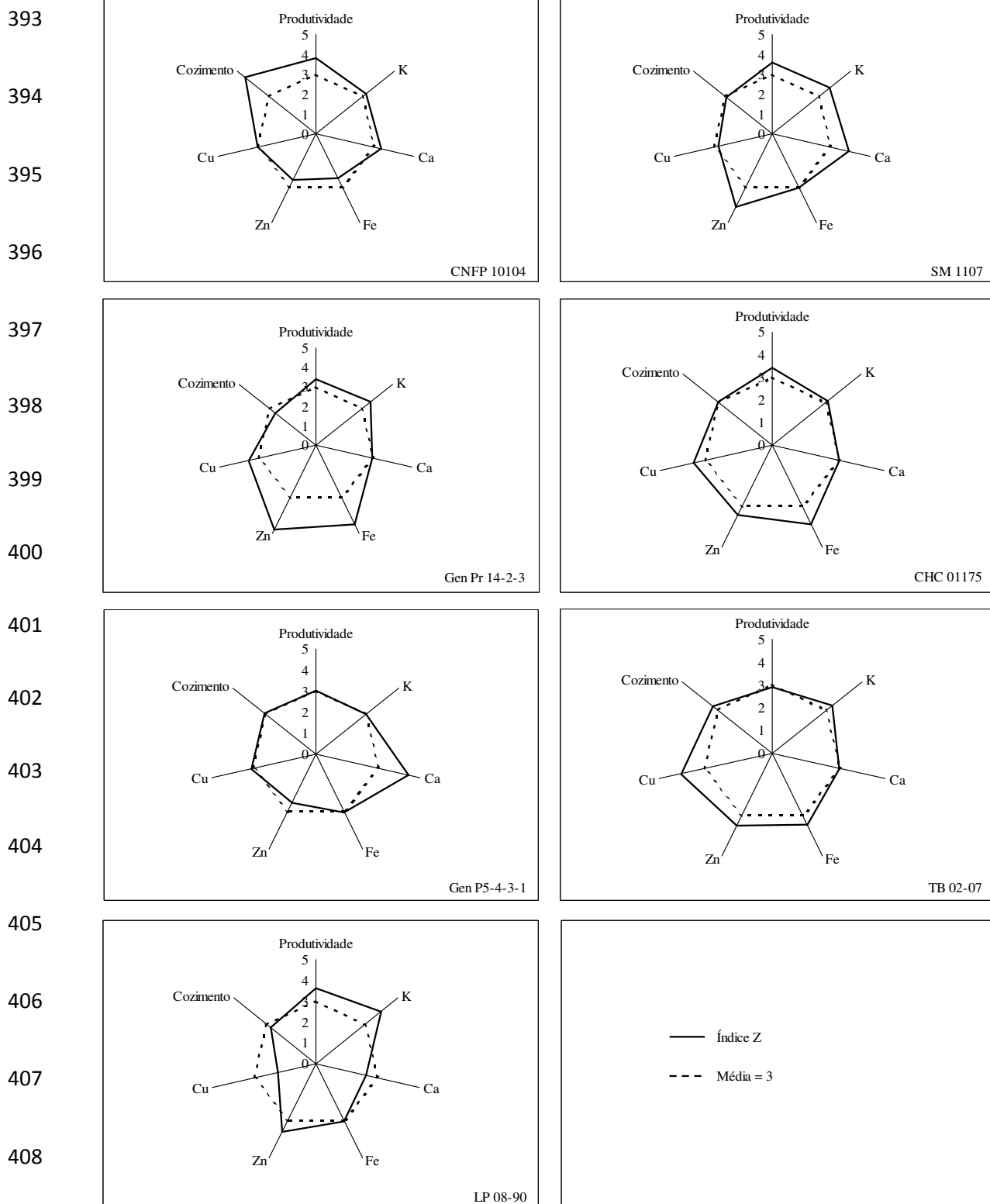
389

390

391

392





409

410 **Figura 1** - Representação do índice  $\bar{Z}$  para produtividade de grãos (produtividade), tempo de

411 cozimento (cozimento), concentração de potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe), zinco (Zn) e

412 cobre Cu) nos grãos das sete linhagens de feijão que apresentaram as maiores estimativas

413 médias do índice  $\bar{Z}$ .

414

#### 415 4.4 Conclusões

416

417 1. As linhagens de feijão apresentam variabilidade genética para produtividade de grãos,  
418 tempo de cozimento e concentração de cálcio e de ferro nos grãos.

419 2. Estimativas de correlação de baixa magnitude foram obtidas entre a produtividade de grãos  
420 e as concentrações de potássio ( $r = -0,3497$ ), de zinco ( $r = 0,3486$ ) e de cobre ( $r = 0,2729$ ).

421 3. A linhagem Gen Pr 14-2-3 apresenta maior índice  $\bar{Z}$  para produtividade de grãos, tempo  
422 de cozimento e concentração de potássio, ferro, zinco e cobre nos grãos e a sua seleção é  
423 recomendada para os programas de biofortificação.

424

#### 425 4.5 Agradecimentos

426

427 Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à  
428 Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas  
429 concedidas. Ao Sr. Fabiano Kauer (Shimadzu) pelo suporte técnico nas análises de ICPE-  
430 OES.

431

#### 432 4.6 Referências bibliográficas

433

434 AKOND, A. S. M. *et al.* Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid)  
435 constituents in common bean. **American Journal of Food Technology**, v. 6, n. 12, p. 243-  
436 251, 2011.

437

438 ARAÚJO, R. *et al.* Genotype x environment interaction effects on the iron content of common  
439 bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 04, p. 269-274, 2003

440

441 BEEBE, S.; GONZALEZ, V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean.  
442 **Food and Nutrition Bulletin**, v. 2, n. 01, p. 387-391, 2000.

443

- 444 BELICUAS, P. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Controle genético da capacidade  
445 de cozimento dos grãos de feijão. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO  
446 DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: SBMP, 2001.CD-ROOM.  
447
- 448 BLAIR, M. W. *et al.* Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean  
449 (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, v. 2, n. 03, p. 197-207, 2009.  
450
- 451 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: **Requisitos mínimos para a**  
452 **determinação do Valor de Cultivo e Uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição**  
453 **no Registro Nacional de Cultivares – RCN.** Anexo IV. Brasília: MAPA, 2006. Disponível  
454 em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 jun. 2012.  
455
- 456 BROUGHTON, W. J. *et al.* Beans (*Phaseolus spp.*): model food legumes. **Plant Soil**, v. 25,  
457 n. 2, p. 55-128, 2003.  
458
- 459 CARBONELL, S. A. M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e  
460 linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 60, n. 02, p. 69-77, 2003.  
461
- 462 CARNEIRO, J. D. S. *et al.* Potencial tecnológico dos grãos de linhagens de feijão (*Phaseolus*  
463 *vulgaris* L.). *In*: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO FEIJÃO, 6., 1999, Goiânia,  
464 GO. **Anais...** Goiânia: Embrapa, 1999. 880p. p. 408-411.  
465
- 466 CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da**  
467 **correlação no melhoramento vegetal.** Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2004, 142 p.  
468
- 469 CICHY, K. A. *et al.* QTL analysis of seed iron, zinc, and phosphorus levels in a Andean bean  
470 population. **Crop Science**, v. 4, n. 09, p. 1742-1750, 2009.  
471
- 472 CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira:**  
473 **grãos, nono levantamento.** Brasília: Conab, 2011. 47 p. Disponível em:  
474 <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2012.  
475
- 476 CUNHA, D. F.; CUNHA, S. F. C. Microminerais. *In*: OLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S.  
477 **Ciências nutricionais.** Sarvier, São Paulo, 1998, p. 141-165.  
478
- 478 CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.**  
479 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.  
480
- 481 CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de**  
482 **plantas.** Editora UFV, Viçosa, 2004, 585p.  
483
- 484 CRUZ, C. D. **Programa Genes:** estatística experimental e matrizes. Editora UFV, Viçosa,  
485 2006, 285p.  
486
- 487 CUPPARI, L. *et al.* Vegetables for low potassium diet. Nutrire: **Revista Sociedade**  
488 **Brasileira de Alimentos e Nutrição**, v. 28, n. 03, p. 1-7, 2004.  
489
- 490 DALLA CORTE, A. *et al.* Environment effect on grain quality in early common bean cultivars  
491 and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 03, p. 193-202, 2003.  
492

- 493 FAO - **Undernourishment around the world**: counting the hungry: latest estimates.  
494 Disponível em: <<http://www.fao.org/documents>>. Acesso em: 26 agosto 2012.  
495
- 496 FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. Rio de Janeiro;  
497 Atheneu, 2003, 230p.  
498
- 499 GUZMÁN-MALDONADO, S. H. *et al.* Protein and mineral content of a novel collection of  
500 wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the Science of Food and**  
501 **Agriculture**, v. 80, n. 6, p. 1874-1881, 2000.  
502
- 503 ISLAM, F. M. A. *et al.* Seed composition and disease resistance differences among gene  
504 pools in cultivated common bean. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 4, n. 09, p.  
505 285-293, 2002.  
506
- 507 JOST, E. *et al.* Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, v. 3, n.  
508 09, p. 31-37, 2009a.  
509
- 510 JOST, E. *et al.* Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento  
511 genético. **Bragantia**, v. 6, n. 08, p. 35-42, 2009b.  
512
- 513 LEMOS, L. B. *et al.*, Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do  
514 grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 04, p. 319-326, 2004.  
515
- 516 LINDINGER, M. I. Potassium regulation during exercise and recovery in humans:  
517 implications for skeletal and cardiac muscle. **Journal of Molecular and Cellular**  
518 **Cardiology**, v. 2, n. 07, p. 1011-1022, 1995.  
519
- 520 MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de  
521 populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 4, n. 04,  
522 p. 312-318, 2009.  
523
- 524 MESQUITA, F. R. *et al.* Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e  
525 digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, p. 1114-1121, 2007.  
526
- 527 MORAGHAN, J. T.; GRAFTON, K. Genetic diversity and mineral composition of common  
528 bean seed. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 8, n. 01, p. 404-408, 2001.  
529
- 530 MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura,  
531 1961. 42 p.  
532
- 533 PEREIRA, P. A. A. A cultura do feijão no Brasil: situação atual e perspectivas. *In*: Fancelli,  
534 A. L.; Dourado Neto, D. (coords.). **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**.  
535 Piracicaba: Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999. p.1-8.  
536
- 537 PEREIRA, T. *et al.* Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de  
538 Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 3, n. 03, p. 477-485, 2011.  
539
- 540 PERINA, E. F. *et al.* Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro  
541 (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise multivariada da “performance” genotípica.  
542 **Ciência e Agrotecnologia**, v. 3, n. 04, p. 398-406, 2010.

- 543 PINHEIRO, C. *et al.* Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L.  
544 germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 2, n. 03, p. 319-325, 2010.  
545
- 546 RIBEIRO, N. D. *et al.* Padronização de metodologia para avaliação do tempo de cozimento  
547 dos grãos de feijão. **Bragantia**, v.66, n.02, p.335-346, 2007.  
548
- 549 RIBEIRO, N. D. *et al.* Adaptação e estabilidade de produção de cultivares e linhagens-elite de  
550 feijão no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 3, n. 08, p. 2434-2440, 2008a.  
551
- 552 RIBEIRO, N. D. *et al.* Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações  
553 para o melhoramento genético. **Bragantia**, v. 6, n. 07, p. 267-272, 2008b.  
554
- 555 RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento  
556 genético. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 1367-1376, 2010.  
557
- 558 RIBEIRO, N. D. *et al.* Mineral concentrations in the embryo and seed coat of common bean  
559 cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 89-95, 2012.  
560
- 561 RODRIGUES, J. A. *et al.* Standardization of imbibition time of common bean grains to  
562 evaluate cooking quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 04, p.465-  
563 471, 2005a.  
564
- 565 RODRIGUES, J. A. *et al.* Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de  
566 cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v.35, n. 01, p. 209-214, 2005b.  
567
- 568 ROSA *et al.* Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic  
569 improvement. **Euphytica**, v. 17, n. 05, p. 207-213, 2010.  
570
- 571 TALUDER, Z. I. *et al.* Genetic diversity and selection of genotypes to enhance Zn and Fe  
572 content in common bean. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 9, n. 04, p. 49-60, 2010.  
573
- 574 TOSTESON, A. N. *et al.* Cost-effective osteoporosis treatment thresholds: the United States  
575 perspective. **Osteoporos**, v. 19, n. 04, p. 437-47, 2008.  
576
- 577 TRYPHONE, G. M.; MISOLLA, S. Diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)  
578 genotypes in iron and zinc contents under greenhouse conditions. **African Journal of**  
579 **Agricultural Research**, v. 5, n. 01, p. 738-747, 2010.  
580
- 581 VILARINHO, A. A. *et al.* Eficiência da seleção de progênies S1 e S2 de milho-pipoca,  
582 visando à produção de linhagens. **Bragantia**, v. 62, n. 01, p. 9-17, 2003.  
583
- 584 WASSIMI, N. N.; HOSFIELD, G. L.; UEBERSAX, M. A. Combining ability of tannin  
585 content and protein characteristics of raw and cooked dry beans. **Crop Science**, v. 2, n. 08, p.  
586 452-458, 1988.  
587
- 588 WELCH, R. M.; HOUSE, W. A.; BEEBE, S. Genetic selection for enhanced bioavailable  
589 levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food**  
590 **Chemistry**, v. 4, n. 08, p. 3576-3580, 2000.  
591

## 5 DISCUSSÃO

Com base nos três estudos realizados pode-se observar que, de maneira geral, existe variabilidade genética entre as linhagens avançadas de feijão analisadas com relação aos caracteres agronômicos, de sementes, nutricionais e tecnológicos. Esta variabilidade é fundamental para o apoio e desenvolvimento dos programas de melhoramento e para a sustentabilidade da agricultura de subsistência. Nos programas de melhoramento de plantas, a informação quanto à variabilidade genética e divergência dentro de uma espécie é essencial para o uso racional dos recursos genéticos (LOARCE et al., 1996).

Ao se analisar os resultados obtidos nos três experimentos, pode-se constatar que as linhagens LP 08-90, CNFP 10104 e SM 1810 apresentaram boas características agronômicas (primeiro experimento), destacando-se pela elevada produtividade de grãos, além de possuir alta germinação e vigor de sementes (segundo experimento). Segundo Menten et al. (2006) o componente genético é o fator que estabelece a qualidade das sementes e, a partir da semente melhorada geneticamente a interferência na qualidade da semente é decorrente, principalmente, dos fatores relacionados à sua produção e conservação. Assim, um dos fatores que mais contribuiu para a baixa produtividade do feijão no Brasil foi à utilização de grãos, ao invés de sementes, para a instalação da cultura (YOKOYAMA et al., 2000). O uso de sementes com qualidade genética, sanitária, física e fisiológica é essencial para a obtenção de boa produtividade e, conseqüentemente, retorno financeiro.

Contudo, as linhagens LP 08-90, CNFP 10104 e SM 1810 não se acentuaram com relação aos caracteres nutricionais e/ou tecnológicos (terceiro experimento). Ambas apresentaram reduzidas concentrações do mineral ferro e, a linhagem CNFP 10104 apresentou o maior tempo de cozimento, aspecto decisivo no momento da escolha do consumidor. Esses resultados podem ser explicados pela interação linhagem x ambiente significativa que ocorreu para ambos os caracteres. Existe influência do efeito das linhagens, do ambiente e mesmo da interação linhagem x ambiente sobre o acúmulo de ferro nos grãos (BARAMPAMA e SIMARD, 1993; RIBEIRO, 2010) e, sobre o tempo de cozimento (SCHOLZ e FONSECA JÚNIOR, 1999). Ainda neste experimento, verificou-se que a linhagem Gen Pr 14-2-3 sobressaiu com relação as demais, apresentando maior índice Z e, sendo então recomendada para programas de biofortificação.

## 6 CONCLUSÕES

Interação linhagem x ambiente significativa ocorre para a coloração do tegumento das sementes, o número de dias da emergência à floração, o número de vagens por planta, o número de sementes por planta, a massa de 100 sementes, a produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de potássio e de ferro nos grãos de feijão.

As linhagens CHC 01175, LP 08-90, SM 1107, CNFP 10104 e SM 1810 apresentam elevado desempenho agrônomico nos três ambientes de cultivo.

As linhagens LP 08-90, CNFP 10104 e SM 1810 apresentaram boas características agrônomicas e alta germinação e vigor de sementes.

A linhagem Gen Pr 14-2-3 apresenta reduzido tempo de cozimento e alta concentração dos minerais potássio, cálcio e ferro nos grãos.

A produtividade de grãos apresenta correlação positiva de elevada a intermediária magnitude com o número de sementes por vagem ( $r= 0,841$ ), o número de dias da emergência a floração ( $r= 0,563$ ), o número de dias da emergência a maturação ( $r= 0,578$ ), o número de sementes por planta ( $r= 0,657$ ) e a massa de 100 sementes ( $r= 0,578$ ) e baixa correlação com o tempo de cozimento e com a concentração dos minerais potássio, cálcio, ferro, zinco e cobre em feijão.

A seleção indireta para o tempo de cozimento e a concentração de minerais nos grãos de feijão é ineficiente para aumentar a produtividade de grãos em linhagens de feijão.

A linhagem Gen Pr 14-2-3 apresenta maior índice  $\bar{Z}$  para produtividade de grãos, tempo de cozimento e concentração de potássio, ferro, zinco e cobre nos grãos e a sua seleção é recomendada para os programas de biofortificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, Barking**, v. 47, n. 2, p. 159-167, 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anexo IV. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a anscrição no Registro Nacional de Cultivares – RNC**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 12 abr. 2011.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT. 2009. Disponível em: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org) Acessado em: 24 de març. 2011.

LOARCE, Y.; GALLEGO, R.; FERRER, E. A comparative analysis of the genetic relationship between rye cultivars using RFLP and RAPD markers. **Euphytica**, Wageningen, v. 88, n. 8, p. 107-115, 1996.

MENTEN, J. O. M et al. Qualidade das sementes de feijão no Brasil. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, n. 8, p. 22-27, 2006.

PEREIRA, P. A. A. A cultura do feijão no Brasil: situação atual e perspectivas. In: Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. (coords.). **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**. Piracicaba: Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999. p. 1-8.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 8, p. 1367- 1376, 2010.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 550-558, 2003.

RODRIGUES et al., Divergência genética entre cultivares locais e cultivares melhoradas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1275-1284, 2002.

SCHOLZ, M. B. S.; FONSECA, JÚNIOR, N. S. Efeito de ambientes, dos genótipos e da interação genótipos x ambientes na qualidade tecnológica de feijão do grupo de cores no Estado do Paraná. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO FEIJÃO, 6, 1999, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, Embrapa, 1999. 880p., p. 339- 342.



TALUDER, Z. I.; et al. Genetic diversity and selection of genotypes to enhance Zn and Fe content in common bean. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 90, n. 1, p. 49-60, 2010.

YOKOYAMA, L. P.; WETZEL, C. T.; VIEIRA, E. H. N. Sementes de feijão: produção, uso e comercialização. In: VIEIRA, E. H. N. & RAVA, C. A. (eds.). **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, p. 249-270, 2000.