

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

CARMELICE BOFF DE ALMEIDA

DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E TEMPO DE COCÇÃO EM
POPULAÇÕES MUTANTES DE FEIJÃO

LAGES, SC

2011

CARMELICE BOFF DE ALMEIDA

**DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E TEMPO DE COCÇÃO EM
POPULAÇÕES MUTANTES DE FEIJÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Jefferson Luís Meirelles
Coimbra

Co-orientador: Dr. Altamir Frederico
Guidolin

LAGES, SC

2011

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Almeida, Carmelice Boff de
Distribuição radicular e tempo de cocção em populações mutantes de
feijão. / Carmelice Boff de Almeida ; orientador: Jefferson Luís
Meirelles Coimbra. – Lages, 2011.
47f.

Inclui referências.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /
UDESC.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Sistema radicular. 3. Mutação induzida.
4. Tempo de cozimento . 5. Erro experimental . I. Título.

CDD – 635.652

CARMELICE BOFF DE ALMEIDA

**DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E TEMPO DE COCÇÃO EM
POPULAÇÕES MUTANTES DE FEIJÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Aprovada em: ____/____/____

Homologada em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Orientador/presidente: Dr. Jefferson Luís
Meirelles Coimbra (UDESC/Lages - SC)

Dr. Leo Rufato
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Produção Vegetal e Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias - UDESC/Lages - SC

Co-orientador/membro: Dr. Altamir
Frederico Guidolin (UDESC/Lages - SC)

Membro: Dr. Gilberto Luiz Dalagnol
(EPAGRI/Lages - SC)

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias - UDESC/Lages - SC

Membro: Dr. Sérgio Dias Lannes
(EPAGRI/Ituporanga - SC)

Lages, Santa Catarina, 20 de maio de 2011

Dedico

*A minha mãe Praxedes Boff, que
com sua simplicidade e sabedoria
conferiu-me esta conquista.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e pelos ensinamentos a cada novo obstáculo, pois é só mais um desafio antes da conquista.

À Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, pela oportunidade do mestrado.

Aos professores Jefferson Luís Meirelles Coimbra e Altamir Frederico Guidolin pelos ensinamentos e orientações durante toda nossa convivência.

Ao Dr. Altair Delfino da Rocha Faes pela irradiação das sementes no Centro de Oncologia da Universidade Federal de Pelotas - UFPel.

À minha mãe Praxedes Boff, meu irmão João Paulo e todos meus familiares que sempre estiveram presentes em todos os momentos de minha vida com muita dedicação, carinho e paciência, sendo de fundamental importância para que esta jornada fosse concluída.

Ao meu marido Evandro Luiz Schoninger pelo incentivo, compreensão, carinho e apoio nos momentos difíceis.

Ao pessoal do laboratório pelo auxílio, amizade e pelos momentos de convivência.

À todos meus amigos do IMEGEM, em que compartilhamos momentos de trabalho, alegrias e ansiedade, mas sem perdermos o carinho e amizade.

À todos que contribuíram nesta caminhada, meu sincero MUITO OBRIGADA.

RESUMO

ALMEIDA, Carmelice Boff. **Distribuição radicular e tempo de cocção em populações mutantes de feijão**. 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

Considerando o gradiente de nutrientes em profundidade do solo e a disponibilidade hídrica, é de suma importância a presença de um amplo e bem distribuído sistema radicular nas camadas do solo. Deste modo, a criação de genótipos com sistema radicular bem desenvolvido é de interesse aos programas de melhoramento de feijão. Outra característica almejada e de relevância aos programas de melhoramento é o reduzido tempo de cocção dos grãos de feijão, pois a mesma é crucial para a aceitação de uma cultivar. No entanto, para a atuação do melhorista é necessária disponibilidade de variabilidade genética, podendo esta ser gerada por meio da mutação induzida. Neste sentido, os objetivos deste trabalho foram: *i*) avaliar o efeito da mutação induzida na distribuição do sistema radicular de feijão no perfil do solo; *ii*) identificar a existência de correlação entre o caráter distribuição radicular e as demais características de interesse agrônomo em populações mutantes de feijão; *iii*) verificar a ocorrência de variação no método empregado para a determinação do tempo de cocção de feijão. Para tanto, foram realizados dois experimentos na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV). No primeiro experimento, as populações mutantes Pérola, IAPAR 81, IPR Chopim e IPR Uirapuru nas gerações M₁, M₃ e M₄ e nas doses 0, 100 e 200 Gy foram conduzidas a campo em delineamento de blocos casualizados com duas repetições. A avaliação do sistema radicular foi realizada pelo método do perfil nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo. Os demais caracteres foram mensurados ao término do ciclo da cultura, sendo eles: estatura de planta, altura de inserção do primeiro legume, diâmetro do caule, número de legumes por planta, número de grãos por legume, massa de 100 grãos e rendimento de grãos. No segundo experimento foi realizado o teste de cocção de grãos advindos de 36 populações mutantes de feijão por meio do aparelho cozedor de Mattson, em delineamento de blocos casualizados, com dois blocos e duas repetições por unidade experimental. Os dados foram analisados considerando no modelo estatístico informações sobre o erro experimental, o erro de amostragem e as repetições como um fator de variação. Três diferentes resíduos foram empregados nas análises, sendo, o erro total, o erro experimental e o erro de amostragem. A mutação induzida foi eficiente em proporcionar variabilidade e incremento na distribuição radicular das populações de feijão. O caráter distribuição radicular e rendimentos de grãos apresentaram correlação positiva. Resultados discrepantes foram obtidos com o uso dos diferentes resíduos para os dados referentes ao tempo de cocção. A técnica utilizada para a determinação do tempo de cocção apresentou variação intrínseca ao método, evidenciando a necessidade de estimar o erro de amostragem para evitar que o mesmo componha o erro experimental, além da necessidade de rigor nas especificações dos modelos estatísticos e na escolha do resíduo apropriado para testar as hipóteses.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Sistema radicular. Mutação induzida. Tempo de cozimento. Erro experimental.

ABSTRACT

ALMEIDA, Carmelice Boff. **Root distribution and cooking time of mutant common bean populations.** 2011. 47 f. Dissertation (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

Considering the gradient of nutrients in soil depth and water availability is very important the presence of a wide and well distributed root system in soil layers. Thus, the genotypes creation with well developed root system is interest to bean breeding programs. The lower cooking time for common bean is other characteristic desired and relevant to breeding programs, because it is very important to acceptance of a cultivar. However, availability of genetic variability is required for the action of breeder, which may be generated by induced mutation. This study aimed: *i*) to evaluate the effect of induced mutation in the root distribution of common bean in the soil profile; *ii*) to identify the correlation among the character root distribution and the others agronomic traits in mutant common bean populations; *iii*) to verify the existence of variation in the method used to determine the bean cooking time. Two experiments were conducted at Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC (Santa Catarina State University - Brazil). In the first experiment, the mutant populations Pérola, IAPAR 81, IPR Chopim and IPR Uirapuru in M₁, M₃ and M₄ generations in level of 0, 100 and 200 G_v, were conducted in field in a randomized block design with two replications. The root system was assessed by profile method at 0-10, 10-20 and 20-30 cm soil layers. Plant height, height of first pod, stem diameter, number of pods per plant, number of grains per pod, weight of 100 grains and grain yield were analyzed to end of the crop cycle. In the second experiment, the grains from thirty six mutant common bean populations were subjected to the cooking test using the Mattson cooker apparatus, in a randomized block design with two blocks and two replications each experimental unit. The data were analyzed using three statistics models with information related to experimental error, to the sampling error and considering the replications as a variation factor. Three types of error were used in the statistics analysis, being the total error, experimental error and sampling error. The induced mutation provided variability and increased the root distribution of bean populations. The trait root distribution showed positive correlation with grain yield. Different results were obtained with use of three types of error for the cooking time data. The technique used to determination of the bean cooking time showed intrinsic variation to the method, being necessary to estimate the sampling error to purify the experimental error. Besides the need of criterion in the specification of statistics models and choice of appropriate error for testing the hypotheses.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Root system. Cooking time. Induced mutation. Experimental error.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação esquemática da obtenção das populações mutantes de feijão M₁, M₃ e M₄ cultivadas na safra 2009/10 18
- Figura 2 - Distribuição de raiz em populações mutantes de feijão em função das doses de raios gama (⁶⁰Co) nas gerações M₁, M₃ e M₄. Os gráficos A, B e C referem-se a presença de raiz do mutante Pérola, os D, E e F do mutante IAPAR 81 nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm respectivamente..... 21
- Figura 3 - Distribuição de raiz em populações mutantes de feijão em função das doses de raios gama (⁶⁰Co) nas gerações M₁, M₃ e M₄. Os gráficos A, B e C referem-se a presença de raiz do mutante IPR Chopim, os D, E e F do mutante IPR Uirapuru nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm respectivamente..... 24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise de deviance (ANODEV), grau de liberdade (GL), deviance, qui-quadrado (Chi-Sq) para a característica distribuição de raiz oriunda de quatro populações mutantes de feijão nas gerações M ₁ , M ₃ e M ₄	20
Tabela 2 -	Análise de variância para o caráter rendimento de grãos oriundo de quatro populações mutantes de feijão nas gerações M ₁ , M ₃ e M ₄	26
Tabela 3 -	Médias referentes a característica rendimento de grãos de quatro populações mutantes de feijão	26
Tabela 4 -	Coefficientes de correlação de Pearson entre os caracteres distribuição radicular nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de solo e estatura de planta (EP), diâmetro do caule (DC), inserção do primeiro legume (IPL), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL), peso de 100 grãos (PS) e rendimento de grãos (REND) de populações mutantes de feijão	27
Tabela 5 -	Análises de variância para a característica tempo de cocção proveniente de 36 populações de feijão, utilizando três tipos de resíduo.....	34
Tabela 6 -	Estimativa da diferença entre as médias referentes ao tempo de cocção das 24 populações de feijão <i>versus</i> suas respectivas testemunhas, com uso de três tipos resíduos	37
Tabela 7 -	Análise de variância para o caráter tempo de cocção oriundo de 36 populações mutantes de feijão, considerando as repetições como um fator de variação.	38
Tabela 8 -	Comparação das repetições nas 36 populações mutantes de feijão	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2	CAPÍTULO I: DISTRIBUIÇÃO RADICULAR EM POPULAÇÕES MUTANTES DE FEIJÃO.....	14
2.1	RESUMO.....	14
2.2	ABSTRACT.....	15
2.3	INTRODUÇÃO.....	15
2.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
2.6	CONCLUSÕES.....	28
3	CAPÍTULO II: EXISTE VARIABILIDADE PARA O CARÁTER TEMPO DE COCÇÃO EM FEIJÃO? DEPENDE DO ERRO!.....	29
3.1	RESUMO.....	29
3.2	ABSTRACT.....	29
3.3	INTRODUÇÃO.....	30
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.6	CONCLUSÃO.....	40
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42
	APÊNDICE.....	47

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os programas de melhoramento de plantas atuam no desenvolvimento de novas cultivares, buscando principalmente maior eficiência produtiva aliada a tolerância a estresses bióticos e abióticos (BORÉM, 2005), enfim, objetivam potencializar a produção nos diversos níveis tecnológicos de cultivo e atender as demandas de um dado momento. Neste aspecto, caracteres referentes ao desenvolvimento radicular têm sido incorporados na seleção de genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), despertando um novo direcionamento aos programas de melhoramento. Isto ocorre porque a água e os nutrientes minerais são essenciais ao vegetal, e a aquisição dos mesmos depende da capacidade da planta em desenvolver um extenso sistema radicular (TAIZ e ZEIGER, 2004), e assim, genótipos mais tolerantes a condições edafoclimáticas adversas podem atenuar as perdas e garantir o sucesso produtivo das lavouras.

As raízes permitem as plantas serem aptas a minerar o solo em busca de água e nutrientes, de modo que as baixas concentrações e a restrita mobilidade dos nutrientes contribuem para o desenvolvimento de sistemas radiculares com ampla superfície de raízes em contato com o solo (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Deste modo, o crescimento radicular é relevante para a aquisição de recursos do solo, porém, é especialmente importante para obtenção de nutrientes que se movem preferencialmente por difusão, como é o caso do fósforo (LYNCH, 2007). No entanto, o crescimento das raízes, em maior ou menor grau, é influenciado por aspectos tais como, densidade do solo, toxidez por alumínio, disponibilidade de fósforo e déficit hídrico (ZONTA et al., 2006). Mediante isso, a seleção de caracteres radiculares é de grande importância, pois o desenvolvimento de genótipos que apresentem sistema radicular com ampla distribuição em todas as camadas do solo pode propiciar benefícios aos mesmos quando expostos a situações adversas. Assim, ampla distribuição radicular pode condicionar a exploração de maior volume de solo, de forma que, a possibilidade de aquisição de água e nutrientes é aumentada, garantindo que o ciclo da cultura seja completado sem maiores comprometimentos. Portanto, um sistema radicular abundante e superficial é mais eficaz na absorção de nutrientes nos 20 cm superiores do solo (onde os

nutrientes encontram-se mais concentrados), enquanto que, raízes mais profundas favorecem o acesso a água e propiciam resistência a seca (HO et al., 2005).

As cultivares com amplo sistema radicular podem favorecer pequenos produtores de feijão, sobretudo em sistemas de cultivo que apresentem limitações quanto ao uso de tecnologias, com mínima entrada de insumos, pois segundo Aguiar et al. (2008) a participação das pequenas áreas (menos de 50 ha) é expressiva, sendo responsável por aproximadamente 80% da produção nacional. Em contrapartida, em sistemas com níveis tecnológicos mais elevados, altos níveis de nutrientes no solo, onde as demandas nutricionais são supridas por meio da fertilização e irrigação, um sistema radicular relativamente pequeno (poucas raízes e superficial) pode ser suficiente para atender as exigências da planta (TAIZ e ZEIGER, 2004; EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Outra característica de interesse dos programas de melhoramento de feijão é o tempo de cocção dos grãos, em que, menores tempos de cozimento são almejados. Este fato ocorre, principalmente devido ao limitado tempo para o preparo das refeições nos dias atuais (COSTA et al., 2001). Deste modo, cultivares de fácil cozimento apresentam maior aceitabilidade por parte dos consumidores (VIEIRA et al., 2005), pois, longo período de cocção é uma das principais restrições para a aceitação e uso de grãos na alimentação (WANG e DAUN, 2005).

A determinação do tempo de cocção é comumente realizada por meio do aparelho cozedor de Mattson (PROCTOR e WATTS, 1987). A metodologia empregada na avaliação desse caráter deve ser capaz de identificar as possíveis diferenças entre os genótipos. Contudo, é nítida a ocorrência de tamanhos distintos dos grãos e diferença na capacidade de absorção de água dos mesmos, gerando variação no método empregado. Assim, o pesquisador deve estar ciente quanto as limitações da metodologia, sendo conveniente a obtenção de informações quanto ao erro oriundo da técnica utilizada, de modo que, a discriminação dos genótipos (tratamentos) não seja equivocada.

Para identificar genótipos com caracteres superiores, é essencial que o melhorista disponha de variabilidade genética, uma vez que, na ausência da mesma não seria possível a obtenção de progresso no melhoramento de plantas (COIMBRA et al., 2004). Uma ferramenta utilizada para aumentar a variabilidade genética é a mutação induzida, haja visto que as mutações espontâneas são raras e com baixa frequência (GAUL, 1964), aproximadamente 10^{-6} por geração (BORÉM e MIRANDA, 2007). Deste modo, o uso de agentes mutagênicos pode ser de fundamental importância para a criação de genes ligados a características de interesse

agronômico (COIMBRA et al., 2005), pois, os mesmos proporcionam e intensificam as alterações no genoma, as quais podem ser benéficas e empregadas na seleção de caracteres desejáveis. Portanto, as mutações induzidas podem propiciar modificações em genótipos que apresentam uma gama de características agronomicamente importantes e, desta forma, alterar o caráter de interesse.

Neste sentido, este trabalho baseou-se nas seguintes hipóteses: *i*) a indução de mutação por meio de raios gama (^{60}Co) proporciona incremento na característica distribuição radicular em feijão; *ii*) existe correlação entre a característica distribuição radicular e os demais caracteres de importância agrônômica; *iii*) o método de avaliação do tempo de cocção de feijão possui variação que interfere nos resultados obtidos. Com base nestas hipóteses, os objetivos foram: *i*) avaliar o efeito da mutação induzida na distribuição do sistema radicular de feijão no perfil do solo; *ii*) verificar a existência de correlação entre o caráter distribuição radicular e outras características de relevância agrônômica em populações mutantes de feijão; *iii*) identificar a ocorrência de variação no método utilizado para a avaliação do tempo de cocção de feijão.

2 CAPÍTULO I: DISTRIBUIÇÃO RADICULAR EM POPULAÇÕES MUTANTES DE FEIJÃO

2.1 RESUMO

A criação de genótipos com um extenso sistema radicular e ampla distribuição no gradiente do solo pode refletir no sucesso dos sistemas agrícolas. Este trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição radicular no perfil do solo em populações mutantes de feijão com diferentes níveis de heterozigose, assim como, verificar a correlação deste caráter com os demais caracteres agronômicos. O estudo foi desenvolvido na Universidade do Estado de Santa Catarina, nas dependências do Instituto de Melhoramento e Genética Molecular da UDESC (IMEGEM). Para tanto, foram submetidas a irradiação sementes de feijão dos genótipos Pérola e IAPAR 81 (grão carioca), IPR Chopim e IPR Uirapuru (grão preto), com o agente mutagênico físico raios gama (^{60}Co) nas doses 0, 100 e 200 Gy. As populações mutantes nas gerações M_1 , M_3 e M_4 foram conduzidas a campo em delineamento de blocos casualizados com duas repetições, e os tratamentos arranjados em esquema fatorial 4x3x3. O sistema radicular foi avaliado pelo método do perfil nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de solo. A estatura de planta, a altura de inserção do primeiro legume, o diâmetro do caule, o número de legumes por planta, o número de grãos por legume, a massa de 100 grãos e o rendimento de grãos foram analisados ao término do ciclo da cultura. A mutação induzida proporcionou variabilidade para a característica distribuição radicular. As populações mutantes Pérola e IPR Uirapuru são promissoras quanto ao incremento de raiz na camada de 20-30 cm de solo. O caráter distribuição de raiz na camada de 20-30 cm apresentou correlação positiva com o rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Raiz. Mutação induzida.

2.2 ABSTRACT

The genotypes generation with extensive root system and wide root distribution in the soil gradient may reflect in success of agricultural systems. This study aimed to evaluate the root distribution of mutant common bean populations with different levels of heterozygosity, as well as, to verify the correlation among the character root distribution and the others agronomic traits. The experiment was developed in Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC (Santa Catarina State University - Brazil), in the premises of Instituto de Melhoramento e Genética Molecular (IMEGEM) - Molecular Genetics and Breeding Institute. Thus, seeds of Pérola and IAPAR 81 (carioca grain), IPR Chopim and IPR Uirapuru (black grain) genotypes were submitted to irradiation with physical mutagen gamma rays (^{60}Co) at doses 0, 100 and 200 Gy. The mutant populations in M₁, M₃ and M₄ generations were conducted in field in a randomized block design with two replications, and the treatments was arranged in a 4x3x3 factorial. The root system was assessed by the profile method at soil layers of 0-10, 10-20 and 20-30 cm. Plant height, height of first pod, stem diameter, number of pods per plant, number of grains per pod, weight of 100 grains and grain yield were analyzed to end of the crop cycle. The induced mutation provided variability for trait root distribution. The Pérola and IPR Uirapuru mutant populations are promising due to increase of root in soil layer of 20-30 cm. The trait root distribution in the layer of 20-30 cm showed positive correlation with grain yield.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Root. Induced mutation.

2.3 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água e nutrientes é um fator crucial para o desenvolvimento das plantas, limitando a produtividade em diversos sistemas agrícolas (LYNCH, 1995). Contudo, a capacidade das plantas em absorver esses recursos está relacionada ao desenvolvimento de um sistema radicular extenso e com adequado posicionamento no perfil do solo (VIEIRA et al., 2007), bem como, a sua adaptação às restrições edáficas e a períodos de deficiência hídrica.

A disponibilidade hídrica e de nutrientes estão entre as principais características edafoclimáticas que afetam o desenvolvimento radicular, especialmente em sistemas de produção onde não se faz uso de irrigação e que apresentam baixa entrada de insumos. Grande parte do cultivo de feijão no Brasil é realizado com a utilização de baixo nível

tecnológico, tornando-se de grande importância um sistema radicular bem desenvolvido que possa explorar eficientemente o solo, pois, conforme Vieira et al. (2008), os problemas que mais afetam a produção de feijão no Brasil estão relacionados a doenças, seca e a baixa fertilidade do solo. Deste modo, a produtividade do feijão pode ser incrementada pela presença de um maior volume de raízes, principalmente em sistemas de cultivo de menor tecnologia, demonstrando assim, a importância do desenvolvimento de um sistema radicular mais profundo para obtenção de água e com raízes hábeis (mais ativas na absorção/raízes finas) para adquirir os recursos necessários ao desenvolvimento do vegetal.

A organização do sistema radicular se estabelece em nível hierárquico apresentando diferentes ordens de raízes com distintas características e funções, as quais determinam as regiões de obtenção de água e nutrientes, as adaptações a condições adversas e ao estabelecimento de relações com microrganismos (ZONTA et al., 2006). No entanto, apesar do sistema radicular ser controlado geneticamente, seu crescimento é altamente influenciado pelas condições edafoclimáticas. Este fato, resulta da plasticidade apresentada pelo sistema radicular e das interações com diversos fatores químicos, físicos e biológicos do solo (LYNCH, 1995).

A arquitetura do sistema radicular e a sua distribuição conferem a planta habilidade em obter água e nutrientes no gradiente do solo. A eficiência na captação desses recursos está associada a melhor exploração do solo, de modo que, quanto mais escassos os recursos maior será o investimento para o sistema radicular, proporcionando desenvolvimento mais amplo do mesmo (TAIZ e ZEIGER, 2004) e conseqüentemente, maior superfície radicular e volume de solo explorado (ZONTA et al., 2006).

Considerando a distribuição heterogênea dos recursos no solo, normalmente existe um gradiente de nutrientes no decorrer da profundidade. Desta forma, a superfície apresenta maior quantidade de nutrientes em relação as camadas inferiores, entretanto, com menor disponibilidade hídrica (LYNCH, 1995), sendo de substancial importância a presença de raízes em todo o gradiente de solo para garantir a obtenção desses recursos. Além disso, a mobilidade dos nutrientes no solo e suas baixas concentrações na solução também influenciam o desenvolvimento de um sistema radicular com grande área de contato (EPSTEIN e BLOOM, 2006), de modo especial ao fósforo que é relativamente imóvel no solo e normalmente em sistemas agrícolas sua disponibilidade é maior na superfície diminuindo com a profundidade (LYNCH e BROWN, 2001).

Neste aspecto, genótipos com sistema radicular de elevada distribuição (maior presença de raiz em um dado gradiente), podem apresentar um benefício na obtenção de nutrientes em condições de déficit hídrico. Em virtude disso, a criação de novos genótipos com um sistema radicular bem desenvolvido tem sido alvo dos programas de melhoramento, pois o sucesso nos sistemas produtivos está relacionado com a aquisição de nutrientes e com a redução do impacto aos estresses. Assim, qualquer progresso genético referente a resistência a estresses abióticos será de significativa importância, visto a crescente ênfase quanto a melhor eficiência no uso da água e nutrientes em sistemas de produção (DORLODOT et al., 2007). Para tanto, os programas de melhoramento fazem uso da mutação induzida. Eficiente ferramenta quando se tem a finalidade de criar variabilidade genética, pois proporciona a geração de novos alelos (SHU, 2009), ou quando se almeja alterar caracteres em cultivares que já apresentam uma soma de boas características agronômicas (TULMANN NETO e SABINO, 1994).

Mediante o exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da mutação induzida na distribuição do sistema radicular de feijão no perfil do solo, e também, verificar a existência de correlação deste caráter com as demais características de interesse agrônomo em populações mutantes de feijão com diferentes níveis de heterozigose.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Universidade do Estado de Santa Catarina, na área experimental do Instituto de Melhoramento e Genética Molecular da UDESC (IMEGEM), no município de Lages-SC, nos anos agrícolas 2006/07, 2007/08, 2008/09 e 2009/10. Para obtenção das populações mutantes foram irradiados quatro genótipos de feijão, sendo Pérola, IAPAR 81 (grupo comercial carioca), IPR Chopim e IPR Uirapuru (grupo preto), no Centro de Oncologia da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL).

Um total de 2.000 sementes de cada genótipo foram submetidas ao agente mutagênico físico raios gama proveniente de ^{60}Co , nas doses 0, 100 e 200 Gy (*Gray*), no ano de 2009, dando origem a geração M_1 , a qual foi conduzida a campo conjuntamente com as gerações M_3 e M_4 . Estas duas últimas gerações eram oriundas da irradiação realizada no ano de 2006 (Figura 1), em que, fez-se uso dos mesmos genótipos e do agente mutagênico nas mesmas doses. A geração M_1 foi conduzida a campo na safra 2006/07 com o intuito de avançar a geração para M_2 . As populações foram colhidas em *bulk* e novamente semeadas em 2007/08,

avançando para a geração M_3 . Uma quantia das sementes M_3 foram igualmente conduzidas a campo na safra 2008/09 para obtenção da geração M_4 , e também armazenadas para a constituição do experimento no ano agrícola 2009/10. Logo, na safra 2009/10 foram conduzidas a campo as três gerações de populações mutantes, M_1 , M_3 e M_4 em um Cambissolo Húmico com densidade do solo de $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0-30 cm.

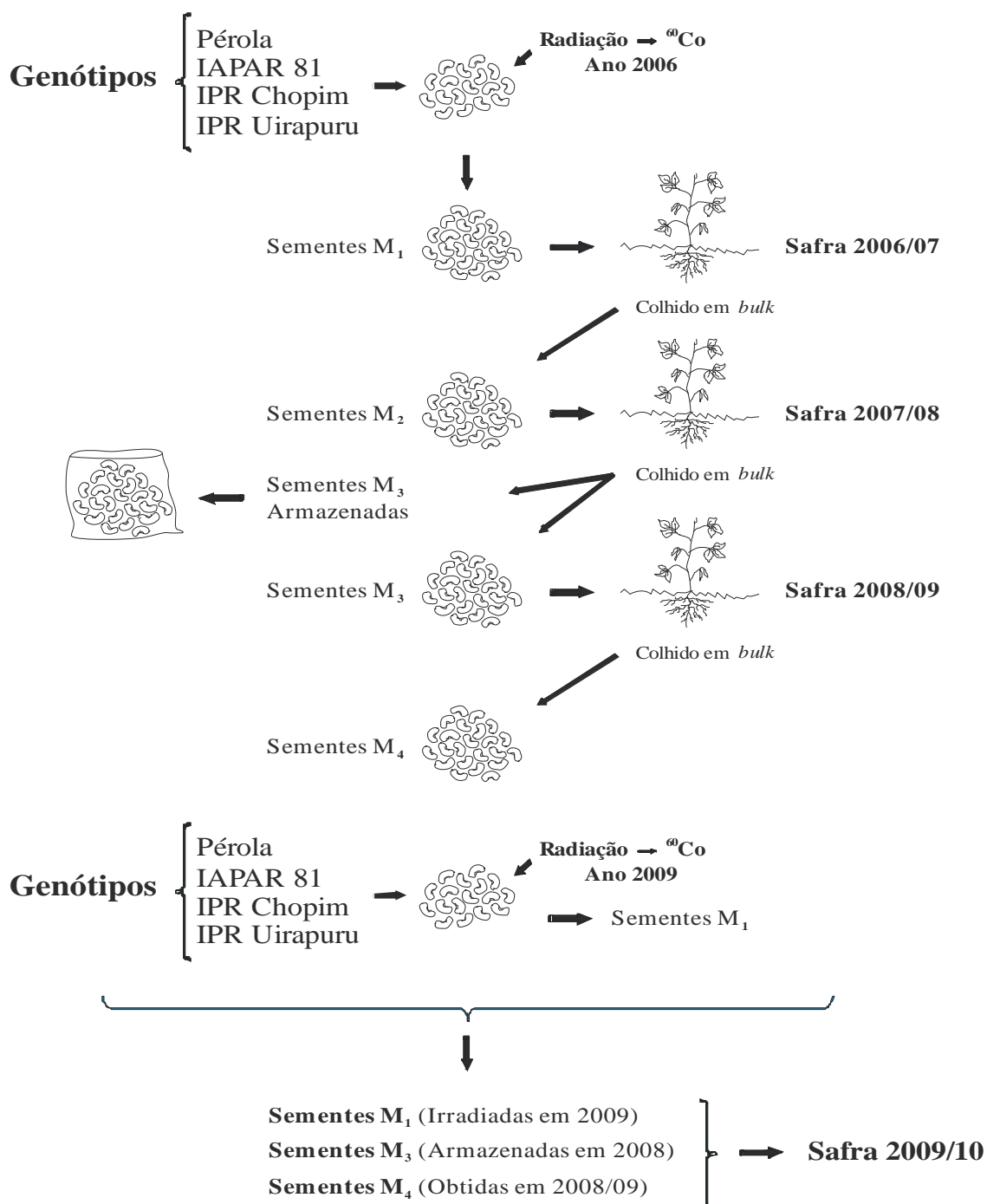


Figura 1 - Representação esquemática da obtenção das populações mutantes de feijão M_1 , M_3 e M_4 cultivadas na safra 2009/10.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial de 4x3x3 com duas repetições, onde os fatores mutante, doses e geração são cruzados e o fator profundidade é aninhado aos níveis de cada fator. A unidade experimental foi constituída de 4 linhas de 4 m de comprimento espaçadas em 0,5 m, com densidade de sementeira de 15 plantas por metro linear. Como área útil considerou-se as duas linhas centrais desprezando 0,4 m de cada extremidade.

O sistema radicular das populações mutantes foi avaliado por meio do método de perfil estabelecido por Böhm (1979). Quando as populações mutantes estavam em pleno florescimento foi realizada a abertura de perfis perpendiculares a linha de sementeira, a cerca de 5 cm das plantas, e as raízes foram expostas com auxílio de hastes pontiagudas. Subsequente, foi disposto um retângulo de dimensões 0,5 m de largura por 0,3 m de altura, o qual era subdividido em quadrículas de 0,05 m de lado para fotografar a distribuição radicular das plantas. Com a imagem digital foi possível avaliar as quadrículas por meio de presença (1) e ausência (0) das raízes nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm (Apêndice A).

Os dados foram analisados por meio da teoria de modelos lineares generalizados, com auxílio do software SAS 9.1.3 no procedimento GENMOD assumindo distribuição binomial dos mesmos (SAS INSTITUTE INC., 2007) e considerando o modelo estatístico descrito na equação a:

$$a) y_{ijk} = \mu + b + m(p)_i + ger(p)_j + d(p)_k + m*ger(p)_l + m*d(p)_m + ger*d(p)_n + m*ger*d(p)_o + e_{ijklmno}$$

Onde, y_{ijk} : refere-se a variável distribuição radicular; μ : efeito referente a média geral; b : efeito associado ao bloco; $m(p)_i$: efeito do i -ésimo nível do fator m (mutante) aninhado ao fator p (profundidade); $ger(p)_j$: efeito do j -ésimo nível do fator ger (geração) aninhado em p ; $d(p)_k$: efeito do k -ésimo nível do fator d (dose) aninhado em p ; $m*ger(p)_l$: efeito do l -ésimo nível da interação entre os fatores $m*ger$ aninhado a p ; $m*d(p)_m$: efeito do m -ésimo nível da interação $m*d$ aninhado em p ; $ger*d(p)_n$: efeito do n -ésimo nível da interação $ger*d$ aninhado a p ; $m*ger*d(p)_o$: efeito do o -ésimo nível da interação $m*ger*d$ aninhado em p ; $e_{ijklmno}$: efeito associado ao erro experimental.

Posteriormente foram testados por meio de contraste os polinômios linear e quadrático desdobrando o efeito das doses sobre a característica distribuição radicular, a fim de ajustar as respectivas regressões logísticas.

Ao final do ciclo da cultura foram avaliadas as parcelas, quanto as seguintes características: estatura de planta (cm), altura de inserção do primeiro legume (cm), diâmetro

do caule (mm), número de legumes por planta, número de grãos por legume, massa de 100 grãos (g) e rendimento de grãos (kg ha^{-1}). Estes dados foram submetidos a análise de correlação de Pearson. Ainda, para o caráter rendimento de grãos foi realizado análise de variância pelo teste F e para o efeito principal do fator mutante procedeu-se o teste de comparação de médias a 5% de probabilidade de erro, conforme o modelo estatístico exposto na equação b:

$$b) y_{ijk} = \mu + b + m_i + ger_j + d_k + m*ger_l + m*d_m + ger*d_n + m*ger*d_o + e_{ijklmno}$$

Onde, y_{ijk} : refere-se a variável rendimento de grãos; μ : efeito da média geral; b : efeito associado ao bloco; m_i : efeito do i -ésimo nível do fator m (mutante); ger_j : efeito do j -ésimo nível do fator ger (geração); d_k : efeito do k -ésimo nível do fator d (dose); $m*ger_l$: efeito do l -ésimo nível da interação entre os fatores $m*ger$; $m*d_m$: efeito do m -ésimo nível da interação $m*d$; $ger*d_n$: efeito do n -ésimo nível da interação $ger*d$; $m*ger*d_o$: efeito do o -ésimo nível da interação $m*ger*d$; $e_{ijklmno}$: efeito associado ao erro experimental.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variação efetuada por meio dos modelos lineares generalizados, para o caráter distribuição de raiz, verificou-se efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro para todas as fontes de variação avaliadas (Tabela 1). Assim, como as populações mutantes apresentaram distribuição radicular diferencial em relação as doses do agente mutagênico e ao avanço das gerações, procedeu-se a decomposição dos graus de liberdade da interação de terceiro grau.

Tabela 1 - Análise de deviance (ANODEV), grau de liberdade (GL), deviance, qui-quadrado (Chi-Sq) para a característica distribuição de raiz oriunda de quatro populações mutantes de feijão nas gerações M₁, M₃ e M₄.

Fontes de Variação	GL	Deviance	Chi-Sq	Pr > Chi-Sq
Bloco	-	37400	-	-
Mutante (P)	11	33320	4080,43	<,0001
Geração (P)	6	33231	88,91	<,0001
Dose (P)	6	32987	243,65	<,0001
M*Ger (P)	18	32704	283,47	<,0001
M*D (P)	18	32435	269,13	<,0001
Ger*D (P)	12	32199	236,05	<,0001
M*Ger*D (P)	36	31410	788,32	<,0001

M: Mutante; Ger: Geração; D: Dose; P: Profundidade.

Na camada de 0-10 cm de solo, o mutante Pérola apresentou incremento na característica distribuição radicular nas gerações M_1 e M_3 (Figura 2A). Entretanto, na geração M_4 a distribuição radicular demonstrou comportamento quadrático decrescendo com o aumento das doses de raios gama (^{60}Co). Nas demais camadas de solo, 10-20 e 20-30 cm, Figuras 2B e 2C respectivamente, este mutante respondeu positivamente na geração M_3 até aproximadamente a dose de 100 Gy, porém, decresceu consideravelmente com o aumento das doses acima de 100 Gy. Já na geração M_4 , observou-se diminuição de raiz com o aumento das doses de radiação na camada de 10-20 cm (Figura 2B), e incremento na camada de 20-30 cm (Figura 2C).

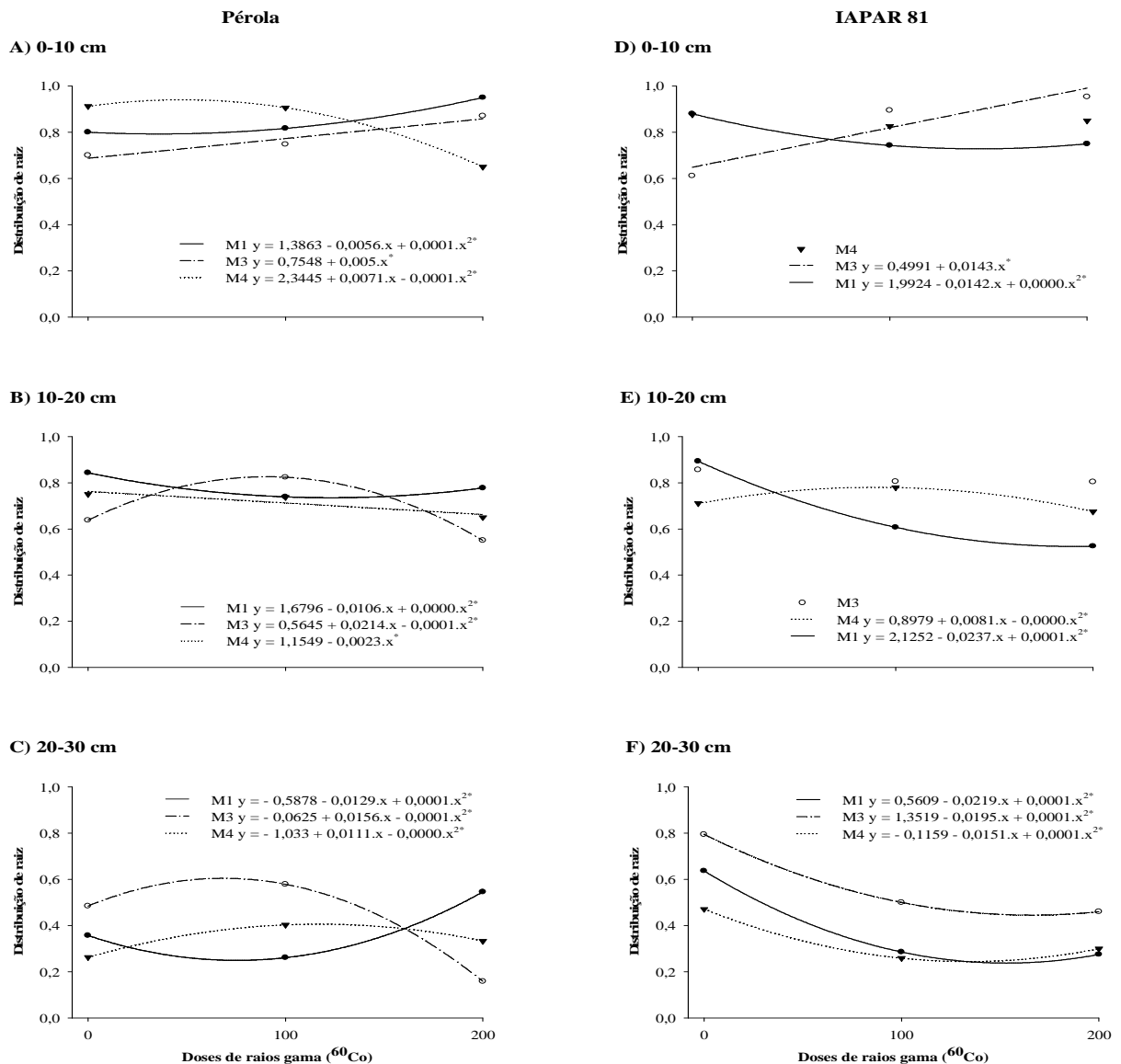


Figura 2 - Distribuição de raiz em populações mutantes de feijão em função das doses de raios gama (^{60}Co) nas gerações M_1 , M_3 e M_4 . Os gráficos A, B e C referem-se a presença de raiz do mutante Pérola, os D, E e F do mutante IAPAR 81 nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm respectivamente.

Entretanto, ao comparar a distribuição de raiz do mutante Pérola nas gerações M_3 e M_4 , nas camadas de solo de 10-20 e 20-30 cm (Figura 2B e C), verificou-se que o incremento de raiz é mais relevante na geração M_3 em relação a M_4 , podendo este fato ser um indicativo de que o aumento nesta característica pode exaurir com o avanço das gerações. Isto pode ser consequência da amostragem realizada para compor a geração subsequente, pois conforme Borém e Miranda (2007), no método *bulk* a constituição da próxima geração é oriunda de uma amostra de sementes da geração anterior e, deste modo, nem todos os alelos estarão representados na geração seguinte.

A utilização do método *bulk* para a condução das populações mutantes pode apresentar desvantagem devido a amostragem para compor a próxima geração, pois, é possível que os indivíduos com alta frequência de mutação possam produzir uma quantidade menor de sementes em comparação aos não mutantes. Logo, quando é realizada a amostragem de sementes, a probabilidade destas serem oriundas de plantas M_1 com menor produtividade é reduzida em relação aos indivíduos que apresentaram maior produção (FEHR, 1987). Neste aspecto, Cheah e Lim (1982), verificaram que a condução da população por meio do método de única semente foi a melhor forma de realizar a triagem e obtenção de mutantes na geração M_2 .

É interessante ressaltar o significativo incremento de raiz observado na camada de 20-30 cm de solo na geração M_1 (Figura 2C). No entanto, é conhecido que muitas das respostas obtidas nesta geração são atribuídas a efeitos fisiológicos causados pela exposição a radiação, contudo, os mesmos são restritos a esta geração (BORÉM e MIRANDA, 2007). Desta forma, é necessário avançar as gerações para que as alterações na constituição genética sejam transmitidas para as gerações seguintes e assim, obter a confirmação ou não da mutação, mesmo porque, as mutações induzidas frequentemente são de natureza recessiva e necessitam que os alelos estejam em homozigose para serem detectadas (CHEAH e LIM, 1982). Neste aspecto, a metodologia para condução das populações M_2 e subsequente avanço das gerações é de suma importância para permitir o reconhecimento e a seleção desses mutantes (SHU, 2009), com o novo alelo responsável pelo favorecimento da característica de interesse.

A distribuição de raiz para o mutante IAPAR 81 apresentou um incremento linear na geração M_3 na camada de 0-10 cm de solo (Figura 2D), enquanto, na camada de 20-30 cm este comportamento positivo não foi mais observado, onde a distribuição radicular decresceu com o aumento das doses para as três gerações (Figura 2F). A dose zero (população não irradiada) demonstrou considerável distribuição de raiz nesta mesma camada, no entanto, esta

resposta não se manteve ao longo das doses e das gerações, e nem conduziu ao incremento. Esta ausência de mutantes para maior número de raízes na camada de 20-30 cm de solo pode ser devido ao tamanho da população analisada. Este fato também foi observado em arroz por Fu et al. (2008), em que um reduzido número de plantas mutantes foram identificadas para os caracteres comprimento de entrenó e cor da casca e conseqüentemente uma menor frequência de mutação, em virtude do limitado tamanho da população M_2 avaliada. Todavia, é interessante destacar que a baixa frequência de mutação requer o cultivo e avaliação de um elevado número de indivíduos para se obter o mutante com os caracteres desejáveis (SHU, 2009), pois, uma população composta por um número maior de indivíduos apresenta maior probabilidade de ocorrência de mutantes (CHEAH e LIM, 1982). Entretanto, isto reflete em aumento de custos quando o caráter de interesse depende de uma análise fenotípica muito laboriosa (SHU, 2009), ou da disponibilidade de tempo e mão-de-obra para a abertura de um grande número de perfis de solo para exposição das raízes, como realizado no presente estudo.

Na camada de 0-10 cm, a população mutante IPR Chopim respondeu de maneira semelhante nas gerações M_3 e M_4 (Figura 3A), apresentando comportamento quadrático positivo na distribuição radicular em resposta as doses de até 100 Gy. Este fato, também foi observado na camada de 10-20 cm de solo na geração M_4 (Figura 3B), demonstrando que para estas duas camadas o incremento na distribuição radicular por meio da mutação induzida foi mantido ao decorrer das gerações. Na camada de 20-30 cm o mutante IPR Chopim (Figura 3C), na geração M_1 apresentou resposta linear positiva para a distribuição de raiz em função das doses de radiação. Em contrapartida, na geração M_3 houve um decréscimo linear na variável raiz de acordo com o aumento das doses. Na geração M_4 houve resposta quadrática inicialmente positiva, porém a distribuição de raiz também decresceu ao longo das doses, indicando que este mutante, para a camada de 20-30 cm, ainda não apresentou considerável incremento em sua distribuição radicular. Contudo, o mesmo é bastante promissor se destinado a lavouras de alta tecnologia, pois o incremento na presença de raiz nas primeiras camadas pode resultar em um maior volume de solo explorado nestas camadas e possibilitar maior obtenção de nutrientes disponíveis.

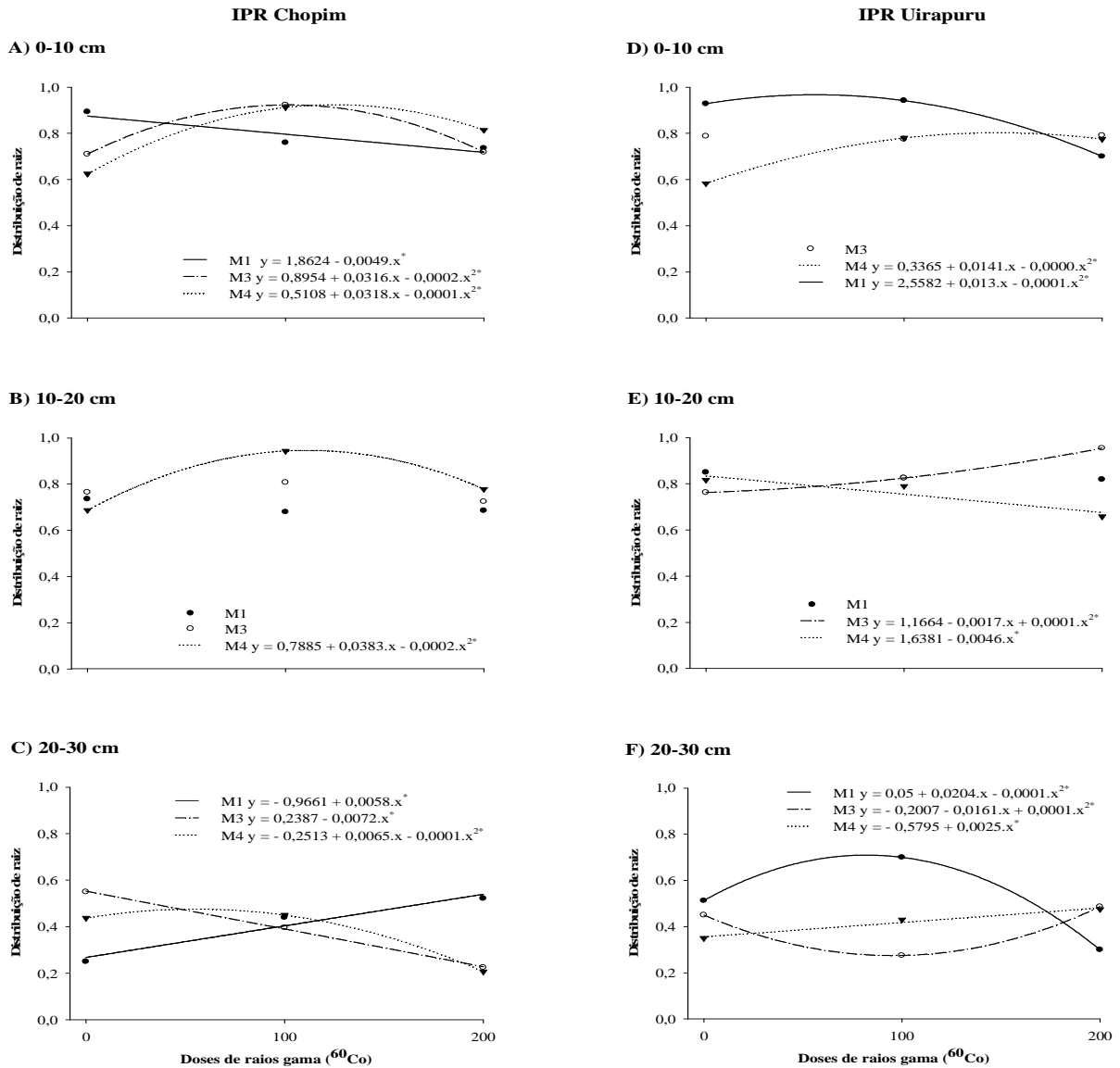


Figura 3 - Distribuição de raiz em populações mutantes de feijão em função das doses de raios gama (^{60}Co) nas gerações M_1 , M_3 e M_4 . Os gráficos A, B e C referem-se a presença de raiz do mutante IPR Chopim, os D, E e F do mutante IPR Uirapuru nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm respectivamente.

O mutante IPR Uirapuru na camada de 0-10 cm de solo (Figura 3D) apresentou comportamento quadrático onde houve incremento de raiz na geração M_1 até a dose de 100 Gy, ocorrendo posteriormente decréscimo na variável com o aumento das doses. A geração M_4 nesta mesma camada, também apresentou resposta quadrática, contudo, de forma positiva ao aumento das doses. Com relação a camada 10-20 cm (Figura 3E), este mesmo mutante demonstrou aumento na distribuição de raiz na geração M_3 . Entretanto, na geração M_4 este incremento não foi mais observado, pois ocorreu um comportamento linear com decréscimo de raiz com o aumento das doses.

Na camada de 20-30 cm houve resposta positiva e significativa na distribuição radicular de forma linear na geração M₄ (Figura 3F), demonstrando que o mutante IPR Uirapuru pode ser promissor, em virtude deste incremento, para lavouras menos tecnificadas. Desta forma, as perspectivas são positivas quanto a presença de mutação para esta característica, bem como, a continuidade da mesma no decorrer das gerações, evidenciando assim, possível sucesso no incremento de raiz na camada de 20-30 cm de solo, e conseqüentemente a obtenção de um genótipo com capacidade de responder em condições edafoclimáticas adversas. Portanto, o desenvolvimento do sistema radicular é crucial para o melhor crescimento das plantas e certamente um importante contribuinte para melhoria da produtividade obtida pelas culturas (HERDER et al., 2010).

É interessante ressaltar que os mutantes Pérola e IPR Uirapuru apresentaram-se promissores em relação a distribuição radicular na camada de 20-30 cm de solo. Este fato demonstra que, a mutação induzida proporcionou variação para a característica distribuição radicular. Deste modo, é possível a atuação do melhorista na seleção e criação de genótipos que apresentem caracteres favoráveis para determinadas condições de cultivo do feijão. Haja visto que, a variabilidade é crucial para a execução dos programas de melhoramento, pois os mesmos estão fundamentados na utilização da variação natural de uma espécie. Neste aspecto, a mutação induzida é considerada uma alternativa para incrementar a ocorrência de variabilidade genética de um germoplasma, assim como, fazer uso dessa variação em hibridação e recombinação (BROCK, 1971).

Para o caráter rendimento de grãos observou-se apenas efeito principal para o fator mutante (Tabela 2), não havendo interação entre os fatores. Na comparação de médias entre as populações mutantes (Tabela 3) foi possível verificar que o mutante Pérola demonstrou média (988 kg ha⁻¹) inferior em relação aos demais. No entanto, as populações referentes ao IAPAR 81, IPR Chopim e IPR Uirapuru não diferiram entre si, apresentando rendimento de grãos médio de 1.587, 1.490 e 1.516 kg ha⁻¹, respectivamente. Com ausência de interação pode-se observar que as populações mutantes apresentam o mesmo comportamento, não ocorrendo nenhum decréscimo ou incremento no rendimento de grãos com as doses de raios gama e as gerações. Contudo, o rendimento médio obtido nas populações se encontra próximo do apresentado em Santa Catarina - SC no ano agrícola 2009/10, sendo este de 1.615 kg ha⁻¹ no feijão de 1^a safra (CONAB, 2010). No entanto, sob condições ótimas de cultivo observou-se um elevado potencial produtivo dessa cultura por Ramos Junior et al. (2005), os quais verificaram produtividade de grãos em torno de 3.500 kg ha⁻¹. Todavia, é conhecido que a

resposta fenotípica é determinada pela ação conjunta dos fatores genéticos e ambientais (FEHR, 1987), contribuindo para a variação em caracteres como a produtividade de grãos.

Tabela 2 - Análise de variância para o caráter rendimento de grãos oriundo de quatro populações mutantes de feijão nas gerações M₁, M₃ e M₄.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	1	384715
Mutante (M)	3	1355830 *
Geração (Ger)	2	156980
Dose (D)	2	10030
M*Ger	6	105106
M*D	6	354249
Ger*D	4	38088
M*Ger*D	12	323747
Erro	35	325124
Total	71	
C.V. (%)		40,9

* Efeito significativo pelo teste F a $p < 0,05$ de erro.

Tabela 3 - Médias referentes a característica rendimento de grãos de quatro populações mutantes de feijão.

Mutante	Rendimento de grãos (kg ha⁻¹)
Pérola	988 B
IAPAR 81	1587 A
IPR Chopim	1490 AB
IPR Uirapuru	1516 A
DMS	512,6

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a $p < 0,05$ de erro.

A correlação de Pearson foi negativa entre as variáveis distribuição de raiz na camada de 0-10 cm de solo e diâmetro do caule (Tabela 4). A presença de raiz na camada de 10-20 cm apresentou correlação positiva com a característica altura de inserção do primeiro legume. A distribuição radicular na camada de 20-30 cm teve relação positiva com o rendimento de grãos, sendo este fato de extrema importância, pois a presença de raízes hábeis para absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas de solo pode propiciar uma melhoria na obtenção desses recursos, em virtude do maior volume de solo explorado. Como consequência, pode proporcionar um diferencial ao genótipo sob condições adversas, refletindo positivamente no rendimento de grãos e evitando perdas expressivas nas lavouras.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres distribuição radicular nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de solo e estatura de planta (EP), diâmetro do caule (DC), inserção do primeiro legume (IPL), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL), peso de 100 grãos (PS) e rendimento de grãos (REND) de populações mutantes de feijão.

	Distribuição radicular		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
EP	0,138	-0,127	-0,201
DC	-0,250 *	-0,112	-0,035
IPL	-0,013	0,271 *	0,119
NLP	-0,074	-0,069	0,067
NGL	-0,049	0,107	0,158
OS	-0,015	0,065	0,112
REND	-0,002	0,183	0,259 *

* Significativo a $p < 0,05$ de erro.

Assim, verifica-se a relevância da obtenção de genótipos, por meio dos programas de melhoramento, com capacidade de desenvolver um extenso sistema radicular em condições edafoclimáticas menos favoráveis ao desenvolvimento da cultura, haja visto que, com as mudanças climáticas há um alto risco das culturas serem expostas a condições adversas, como escassez de água e declínio da disponibilidade de nutrientes do solo. Desta forma, há necessidade de melhorar principalmente a arquitetura do sistema radicular e a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas (HERDER et al., 2010).

A distribuição radicular não apresentou correlação com os demais caracteres avaliados, demonstrando a impossibilidade de seleção indireta por meio da avaliação de características da parte aérea de genótipos com maior distribuição radicular. A existência de correlação facilitaria a obtenção de genótipos sem a necessidade da avaliação direta (*in situ*) das raízes no perfil do solo, tendo em vista ser uma prática difícil, laboriosa, que demanda muito tempo e mão-de-obra (TAYLOR, 1986). Contudo, ressalta-se a importância de estudar essa característica devido a sua contribuição na aquisição de recursos do solo e o benefício que o maior volume radicular pode proporcionar em situações menos favoráveis ao desenvolvimento da cultura, pois se almeja um genótipo que tenha capacidade de suportar condições restritas de cultivo sem afetar significativamente a produtividade.

2.6 CONCLUSÕES

A mutação foi eficiente em proporcionar incremento na distribuição radicular na camada de 20-30 cm de solo até a geração M₄ para as populações mutantes Pérola e IPR Uirapuru.

A distribuição radicular na camada de 20-30 cm de solo correlacionou-se positivamente com o rendimento de grãos.

3 CAPÍTULO II: EXISTE VARIABILIDADE PARA O CARÁTER TEMPO DE COCÇÃO EM FEIJÃO? DEPENDE DO ERRO!

3.1 RESUMO

O reduzido tempo para a cocção de feijão é uma característica almejada pelos programas de melhoramento. Assim, a técnica empregada para a mensuração do tempo de cozimento deve ser precisa e discriminar os genótipos pelo seu potencial genético. Neste aspecto, este estudo teve como objetivo verificar a existência de variação no método utilizado para determinação do tempo de cocção em feijão. O experimento foi desenvolvido na Universidade do Estado de Santa Catarina, nas dependências do Instituto de Melhoramento e Genética Molecular da UDESC (IMEGEM). Grãos oriundos de 36 populações mutantes de feijão foram submetidos ao teste de cocção por meio do aparelho cozedor de Mattson, com duas repetições por unidade experimental. Os dados foram analisados considerando três modelos estatísticos: *i*) especificando informações referentes ao erro experimental; *ii*) ao erro de amostragem e; *iii*) considerando as repetições como um fator de variação. Foram empregados três tipos de resíduos nas análises, sendo, o erro total, o erro experimental e o erro de amostragem. Para o mesmo conjunto de dados, resultados discrepantes foram gerados com a utilização de diferentes resíduos, evidenciando a necessidade de rigor nas especificações dos modelos estatísticos e na escolha do resíduo apropriado para testar as hipóteses. A técnica empregada para a avaliação do tempo de cocção apresentou variação intrínseca ao método, sendo necessária a utilização de repetições dentro da unidade experimental para estimar o erro de amostragem e purificar o erro experimental.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Tempo de cozimento. Erro experimental.

3.2 ABSTRACT

The lower cooking time for common bean is a characteristic desired by breeding programs. Thus, the technique used to measure the cooking time must be precise and efficient

for the differentiation of genotypes for their genetic potential. The objective of this study was to verify the existence of variation in the method used to determination the bean cooking time. The experiment was developed in Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC (Santa Catarina State University - Brazil), in the premises of Instituto de Melhoramento e Genética Molecular (IMEGEM) - Molecular Genetics and Breeding Institute. The grains from thirty six mutant common bean populations were subjected to the cooking test using the Mattson cooker apparatus, with two replications each experimental unit. The data were analyzed using three statistics models: *i*) specifying information related to experimental error; *ii*) to the sampling error and; *iii*) considering the replications as a variation factor. Three types of error were used in the statistics analysis (total error, experimental error and sampling error). Different results were obtained with use of three types of error for the same data set, shown the need of criterion about specification of statistics models and choice of appropriate error for testing the hypotheses. The technique used to evaluation of the bean cooking time showed intrinsic variation, being necessary to use the replications within the experimental unit to estimate the sampling error and purify the experimental error.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Cooking time. Experimental error.

3.3 INTRODUÇÃO

A obtenção de genótipos comparativamente superiores às cultivares disponibilizadas para uso dos agricultores é o principal objetivo dos programas de melhoramento. Entretanto, além da busca por genótipos com elevado potencial produtivo e tolerantes a fatores adversos, tanto abióticos como bióticos, o novo genótipo deve agregar características referentes à qualidade tecnológica dos grãos (YOKOYAMA e STONE, 2000), pois a aceitabilidade comercial e a preferência dos consumidores por uma cultivar de feijão também depende de seus aspectos culinários.

O feijão é um alimento tradicional na dieta dos brasileiros como fonte de proteínas (LEMOS et al., 2004), sendo consumido por todas as classes sociais, principalmente pelas de menor poder aquisitivo, devido ao menor custo em relação a proteína de origem animal (YOKOYAMA e STONE, 2000). Assim, dentre as inúmeras características culinárias exigidas pelos consumidores, destaca-se o baixo tempo de cocção (ARMELIN et al., 2007),

sendo este, um fator determinante para a aceitabilidade de uma cultivar, tendo em vista o reduzido tempo disponível ao preparo das refeições nos dias atuais (COSTA et al., 2001).

O caráter tempo de cocção é um dos requisitos para a inscrição de novas cultivares no Registro Nacional de Cultivares - RNC, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, em que, o aparelho cozedor de Mattson (PROCTOR e WATTS, 1987) é o equipamento recomendado para a mensuração desta variável (BRASIL, 2006). Embora seja considerada uma metodologia precisa para a avaliação do tempo de cocção, a mesma demanda de muito tempo, o que restringe seu uso em gerações iniciais dos programas de melhoramento (RODRIGUES et al., 2004), pois, normalmente são avaliados um elevado número de genótipos (COSTA et al., 2001). Cabe ressaltar que, a diferença no tamanho dos grãos e na capacidade de absorção de água são características que podem condicionar a variação desse método. Portanto, mesmo sendo a metodologia adequada para a mensuração do tempo de cocção em feijão é necessário ter cuidado para minimizar estes possíveis erros inerentes à técnica, pois a variação do método pode inflar o erro experimental dificultando a identificação das diferenças entre os genótipos.

Tendo conhecimento dessa possível variação, uma forma de isolar o erro oriundo do método é fazer uso de mais de uma observação na mesma unidade experimental para mensurar a variável resposta. Logo, a variação não controlada pelo experimentador é composta por duas fontes de variação, sendo, o erro de amostragem que são as diferenças entre as amostras de uma mesma parcela e o erro experimental que é oriundo das variações entre as unidades experimentais com o mesmo tratamento (STEEL et al., 1997).

A possibilidade de particionar os quadrados médios em seus respectivos componentes de variância, permite conhecer a variação relacionada às partes intrínsecas (efeito de genótipo) quanto extrínsecas (resíduos) dos fatores testados no experimento, assim como, verificar qual o resíduo adequado para testar as hipóteses de interesse do pesquisador (COIMBRA et al., 2006).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo verificar a existência de variação no método empregado para a determinação do tempo de cocção de feijão.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de feijão submetidos ao teste de cocção foram oriundos do ensaio desenvolvido a campo no ano agrícola 2009/10, na área experimental do Instituto de

Melhoramento e Genética Molecular da UDESC (IMEGEM), na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no município de Lages-SC.

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados, com dois blocos. A unidade experimental foi constituída de quatro linhas de quatro metros de comprimento espaçadas em 0,5 m, com densidade de semeadura de 15 plantas por metro linear, considerando como área útil as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade. Os tratamentos foram compostos por populações mutantes dos genótipos Pérola e IAPAR 81 (grupo carioca), IPR Chopim e IPR Uirapuru (grupo preto) nas doses 0, 100 e 200 Gy (*Gray*) e nas gerações M₁, M₃ e M₄, que após seu cultivo deram origem aos grãos referentes as gerações M₂, M₄ e M₅, respectivamente. Estas populações foram obtidas por meio de irradiação realizada no Centro de Oncologia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) com o agente mutagênico físico raios gama proveniente de ⁶⁰Co. Deste modo, foram conduzidas a campo três gerações mutantes dos quatro genótipos nas doses de 100 e 200 Gy, totalizando 24 populações mutantes (3x4x2 = 24), juntamente com 12 testemunhas (dose 0 Gy).

Após a colheita, os grãos foram secos em estufa até atingirem 12% de umidade. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e armazenadas durante três meses em câmara fria a 8°C, para então serem submetidas ao teste de cocção. Na avaliação do tempo de cozimento foi empregado o aparelho cozedor de Mattson, composto por 25 hastes verticais de 90 g cada e ponta de 2 mm de diâmetro, conforme o método adaptado por Proctor e Watts (1987), com duas repetições por unidade experimental. As amostras constituídas por 16 g de feijão foram imersas em 50 mL de água destilada e mantidas a 25°C por 12 horas, para hidratação. Subsequente a hidratação, com absorção de água pelos grãos em média de 97%, utilizou-se 25 grãos (grãos íntegros, sem rompimento do tegumento) de cada amostra para o teste de cocção, os quais foram colocados sobre a placa suporte do aparelho, de modo que cada haste permanecesse apoiada nos grãos. O cozedor foi alocado em recipiente contendo 3 litros de água destilada fervente, mantendo-se o aquecimento da água até o final da avaliação. O tempo de cozimento das amostras foi cronometrado, em minutos, sendo considerado o tempo decorrido desde o início da cocção até a queda da 13ª haste do aparelho, caracterizando 52% dos grãos cozidos.

Os dados foram submetidos à análise de variância, com auxílio do software SAS 9.1.3 (SAS INSTITUTE INC., 2007), considerando três supostos modelos estatísticos descritos nas equações *a*, *b* e *c*:

$$a) y_{ij} = \mu + b_i + pop_j + e_{ij}$$

$$b) y_{ij} = \mu + b_i + pop_j + e_{ij} + d_{ij}$$

Onde, y_{ij} : refere-se a variável tempo de cocção; μ : efeito associado à média geral; b_i : efeito do bloco; pop_j : efeito associado a j -ésimo nível da população; e_{ij} : efeito do erro experimental; d_{ij} : efeito associado ao erro amostral, informação obtida pela avaliação das repetições dentro das parcelas.

Na equação c foi estabelecida uma situação em que, considerou-se a repetição de amostragem como um fator experimental com o intuito de verificar se haveriam diferenças entre os resultados obtidos nas repetições, conforme o modelo estatístico da equação a seguir:

$$c) y_{ij} = \mu + b_i + pop_j + rep_l + pop*rep_m + e_{ijlm}$$

Onde, y_{ij} : refere-se a variável tempo de cocção; μ : efeito associado à média geral; b_i : efeito do bloco; pop_j : efeito associado a j -ésimo nível da população; rep_l : efeito referente ao l -ésimo nível do fator repetição de amostragem; $pop*rep_m$: efeito associado ao m -ésimo nível da interação $pop*rep$; e_{ijlm} : efeito inerente ao erro experimental.

As análises realizadas constaram de: *i*) análise de variância a 5% de probabilidade de erro, especificando os três resíduos (erro total, erro entre e erro dentro); *ii*) estimativa da diferença entre as médias das populações e suas respectivas testemunhas; *iii*) análise de variância considerando a repetição de amostragem como um fator; *vi*) comparação das repetições dentro de cada população.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de diferentes resíduos, erro total, erro experimental (entre) e erro de amostragem (dentro), na análise de variância para o caráter tempo de cocção proporcionou resultados distintos para os tratamentos (Tabela 5). Houve efeito significativo do fator população com a utilização do erro total, ou seja, quando a análise de variância foi realizada sem a informação das repetições dentro das unidades experimentais no modelo estatístico (equação a), em que, a mesma foi efetuada considerando as 144 observações sem estimar o erro dentro. Assim, a diferença entre pelo menos duas populações quanto ao tempo de cozimento, por meio desta análise, podem não condizer com a verdade. Isto porque, se a análise é realizada sem a referência das observações, o erro de amostragem não é estimado e desta forma, o quadrado médio do erro experimental será reduzido devido ao maior número de graus de liberdade atribuído a este. Em função disso, há maior probabilidade de ocorrer diferenças significativas entre as populações de feijão testadas.

Tabela 5 - Análises de variância para a característica tempo de cocção proveniente de 36 populações de feijão, utilizando três tipos de resíduo.

	Fontes de Variação	GL	QM	E(QM)
Erro total	Bloco (b)	1	38,86 ^{ns}	$\sigma_t^2 + 72 \sigma_b^2$
	População (pop)	35	61,60*	$\sigma_t^2 + 4 \sigma_{pop}^2$
	Erro total (t) ¹	107	29,97	σ_t^2
	Total	143		
	Fontes de Variação	GL	QM	E(QM)
Erro entre	Bloco (b)	1	38,86 ^{ns}	$2 \sigma_e^2 + \sigma_d^2 + 72 \sigma_b^2$
	População (pop)	35	61,60 ^{ns}	$2 \sigma_e^2 + \sigma_d^2 + 4 \sigma_{pop}^2$
	Erro entre (e) ²	35	45,14	$2 \sigma_e^2 + \sigma_d^2$
	Erro dentro (d)	72	22,59	σ_d^2
	Total	143		
	Fontes de Variação	GL	QM	E(QM)
Erro dentro	Bloco (b)	1	38,86 ^{ns}	$2 \sigma_e^2 + \sigma_d^2 + 72 \sigma_b^2$
	População (pop)	35	61,60*	$2 \sigma_e^2 + \sigma_d^2 + 4 \sigma_{pop}^2$
	Erro entre (e)	35	45,14	$2 \sigma_e^2 + \sigma_d^2$
	Erro dentro (d) ³	72	22,59	σ_d^2
	Total	143		

^{1,2,3} Resíduo utilizado no teste F.

^{ns} Efeito não significativo, * Efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; E(QM): Esperanças matemáticas dos quadrados médios.

■ Componentes da variância que se anulam conforme o resíduo utilizado no teste F.

Ao desprezar as informações das observações dentro de uma mesma parcela condiciona o pesquisador ao não conhecimento da variação referente a técnica utilizada para a mensuração da variável. Desta forma, a fração inerente ao erro de amostragem será inclusa no resíduo estimado para o teste F e, conseqüentemente, a estimativa do erro estará sendo determinada incorretamente, ocasionando resultados de menor confiabilidade e com pequena chance de repetibilidade. Isto ocorre porque os resultados de um ensaio são influenciados tanto pela ação oriunda dos tratamentos, como também por variações não controladas pelo experimentador que tendem a mascarar os efeitos dos tratamentos (COCHRAN e COX, 1992). Assim, o erro experimental interfere diretamente nos testes de hipóteses e nos procedimentos para as comparações múltiplas de médias, em que, quanto maior for o erro, menor a probabilidade de se obter diferenças significativas entre os tratamentos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2004), pois, somente as grandes diferenças podem ser detectadas e mesmo estas estarão sujeitas a incerteza (COCHRAN e COX, 1992). Da mesma forma, análises com especificações de modelos não apropriados fornecem resultados com

menor confiabilidade e implicações nas inferências derivadas do ensaio. Portanto, como mais de uma observação foi obtida dentro de uma unidade experimental neste ensaio, o procedimento mais apropriado para analisar esse tipo de experimento é considerar as unidades de observações.

Em contrapartida, na análise considerando as informações advindas das observações na mesma unidade experimental (equação *b*), observa-se que não houve diferença significativa para o fator população quando o erro entre foi empregado no teste F (Tabela 5). Assim, as populações de feijão não diferem entre si quanto a característica tempo de cocção. Este resultado é discrepante aos obtidos com o erro total e o erro dentro, pois, quando se obtém dados de observação, o correto é desmembrar o resíduo total nas frações correspondentes ao erro de amostragem e ao erro experimental, evitando assim, que o resíduo experimental seja estimado erroneamente e as inferências sobre o objeto de estudo sejam válidas. Contudo, existe um reflexo direto na perda de graus de liberdade do erro entre, o que condiciona ao maior valor para o quadrado médio do mesmo e a não ocorrência de diferença significativa do fator população.

Considerando a mesma análise (com as informações das amostras nas parcelas), porém utilizando o erro dentro para o teste F, pode-se verificar o efeito significativo do fator população (Tabela 5). Desta forma, fica evidente que resultados e inferências discrepantes podem derivar de um mesmo conjunto de dados, caso esses sejam analisados com modelos inadequados e, portanto, com diferentes resíduos. Isso remete ao pesquisador à prudência na análise de seus experimentos, assim como, a identificação de forma eficiente quanto ao resíduo correto para ser usado no teste de suas hipóteses.

Ao testar as médias dos tratamentos de uma população, o erro experimental é o apropriado denominador do teste F, uma vez que o mesmo é constituído de todas as fontes de variação adicionais que compõem as médias dos tratamentos, exceto aquelas devido aos próprios tratamentos (STEEL et al., 1997). Portanto, ao igualar as esperanças matemáticas dos quadrados médios é possível verificar qual o resíduo adequado para a análise das fontes de variação (Tabela 5). Este fato também foi abordado por Coimbra et al. (2006), os quais apontam a essencialidade do uso das esperanças matemáticas dos quadrados médios, ou componentes da variância, na confirmação do denominador apropriado para testar os efeitos dos fatores. Desta forma, observa-se que o erro entre é o resíduo apropriado para analisar este conjunto de dados, uma vez que, permite isolar as variações dos erros entre e dentro que estão compondo o quadrado médio do tratamento, restando somente os efeitos de tratamento, ou

seja, o componente da variância referente apenas aos tratamentos. Em contrapartida, o erro dentro não é o mais adequado, pois a variância referente ao erro entre ainda estará compondo o quadrado médio do tratamento. Do mesmo modo, o erro total não é recomendado pelo fato de ter sido estimado com a variação do erro de amostragem. Contudo, além da identificação do resíduo adequado, os componentes de variância permitem ao pesquisador ter conhecimento da variação que é atribuída aos caracteres genéticos de uma população, sendo de suma importância para a continuidade dos programas de melhoramento (RAMALHO et al., 2008).

Mesmo sendo de conhecimento que as análises de variância com o erro total e erro dentro apresentadas na Tabela 5 não são apropriadas para a avaliação desse experimento, procedeu-se a análise da estimativa da diferença entre as populações e suas respectivas testemunhas quanto ao tempo de cocção, com a utilização dos três resíduos (Tabela 6).

Houve diferença significativa para seis comparações quando o erro total foi utilizado; para três comparações com o uso do erro entre; e para oito comparações por meio do erro dentro. Deste modo, fica evidente que a utilização de resíduos impróprios pode gerar resultados não confiáveis e que dificilmente serão novamente obtidos em ensaios futuros. Assim, com o uso do erro entre, as únicas populações que diferiram quanto às testemunhas foram: *i*) Pérola na geração M_2 na dose de 200 Gy (34 min); *ii*) Pérola M_5 a 100 Gy (35 min); *iii*) IPR Chopim M_2 a 200 Gy (30 min), as quais apresentaram cerca de 8 a 9 minutos a menos no tempo de cocção em relação as testemunhas.

Estes resultados proporcionariam um impacto positivo para a escolha de populações com reduzido tempo de cocção, haja visto que, no processo de aceitação de uma cultivar certas exigências comerciais devem ser atendidas. Dentre essas exigências, destaca-se o reduzido tempo de cocção (CARBONELL et al., 2003), principalmente pela demanda de tempo e gasto de energia requeridos na preparação do feijão (DALLA CORTE et al., 2003), bem como pelo limitado tempo para o cozimento de feijão por parte da população, devido aos hábitos da vida moderna (BERTOLDO et al., 2008).

Tabela 6 - Estimativa da diferença entre as médias referentes ao tempo de cocção das 24 populações de feijão *versus* suas respectivas testemunhas, com uso de três tipos resíduos.

Comparações	Diferença	Nível de significância da estimativa		
		Resíduos ¹		
		Total	Entre	Dentro
		29,97	45,14	22,59
Pérola M ₂ 100 G _y vs Testemunha	-2,07	ns	ns	ns
Pérola M ₂ 200 G _y vs Testemunha	-8,45	*	*	*
Pérola M ₄ 100 G _y vs Testemunha	2,02	ns	ns	ns
Pérola M ₄ 200 G _y vs Testemunha	-0,18	ns	ns	ns
Pérola M ₅ 100 G _y vs Testemunha	-8,20	*	*	*
Pérola M ₅ 200 G _y vs Testemunha	-4,38	ns	ns	ns
IAPAR 81 M ₂ 100 G _y vs Testemunha	0,51	ns	ns	ns
IAPAR 81 M ₂ 200 G _y vs Testemunha	5,20	ns	ns	ns
IAPAR 81 M ₄ 100 G _y vs Testemunha	-1,53	ns	ns	ns
IAPAR 81 M ₄ 200 G _y vs Testemunha	1,93	ns	ns	ns
IAPAR 81 M ₅ 100 G _y vs Testemunha	2,37	ns	ns	ns
IAPAR 81 M ₅ 200 G _y vs Testemunha	-0,11	ns	ns	ns
IPR Chopim M ₂ 100 G _y vs Testemunha	-7,25	*	ns	*
IPR Chopim M ₂ 200 G _y vs Testemunha	-9,26	*	*	*
IPR Chopim M ₄ 100 G _y vs Testemunha	-6,27	*	ns	*
IPR Chopim M ₄ 200 G _y vs Testemunha	-5,77	ns	ns	*
IPR Chopim M ₅ 100 G _y vs Testemunha	-5,51	ns	ns	*
IPR Chopim M ₅ 200 G _y vs Testemunha	-7,35	*	ns	*
IPR Uirapuru M ₂ 100 G _y vs Testemunha	-2,86	ns	ns	ns
IPR Uirapuru M ₂ 200 G _y vs Testemunha	-2,11	ns	ns	ns
IPR Uirapuru M ₄ 100 G _y vs Testemunha	0,83	ns	ns	ns
IPR Uirapuru M ₄ 200 G _y vs Testemunha	-1,09	ns	ns	ns
IPR Uirapuru M ₅ 100 G _y vs Testemunha	-0,89	ns	ns	ns
IPR Uirapuru M ₅ 200 G _y vs Testemunha	1,46	ns	ns	ns

¹ Resíduos utilizados para o teste t.

^{ns} Efeito não significativo, * Efeito significativo pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

As duas repetições utilizadas em cada unidade experimental para mensurar a característica tempo de cocção de feijão permitiram estimar a variação referente a própria técnica utilizada. Este fato é de suma importância, pois o erro experimental é constituído tanto pela variação de ambiente entre parcelas quanto pela variação de ambiente e genética entre plantas dentro da parcela (VENCOVSKY, 1987). Deste modo, em ensaios de campo a variação entre as amostras proporciona uma medida da homogeneidade da unidade

experimental, assim como, é associada com a repetibilidade da técnica (STEEL et al., 1997). No entanto, normalmente não é efetuada a mensuração em todas as plantas da área útil, sendo comum a medição de parte das plantas da unidade experimental (amostra), com o intuito de minimizar o excesso de mão-de-obra, tempo e recursos financeiros (CARGNELUTTI FILHO, et al., 2009).

Considerando as repetições de amostragem como um fator na análise estatística, observou-se que não houve diferença entre as repetições tanto na média de todas as populações - efeito principal (Tabela 7) quanto nas comparações dentro de cada uma das populações (Tabela 8). Deste modo não há diferença em utilizar uma ou outra repetição para analisar os dados, pois os resultados obtidos serão os mesmos.

Tabela 7 - Análise de variância para o caráter tempo de cocção oriundo de 36 populações mutantes de feijão, considerando as repetições como um fator de variação.

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Bloco	1	38,86 ^{ns}
População (pop)	35	61,60 [*]
Repetição (rep)	1	10,82 ^{ns}
Pop*Rep	35	20,71 ^{ns}
Erro	71	34,80
Total	143	

^{ns} Efeito não significativo, * Efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

Assim, não convém realizar várias repetições de unidades experimentais se as mesmas não permitem estimar o erro de amostragem referente à técnica utilizada para a mensuração da característica em questão. Isto ocorre porque a essencialidade das repetições na experimentação está associada à obtenção da estimativa do erro experimental (RAMALHO et al., 2005), assim como, a redução do resíduo é atribuída principalmente ao princípio do controle local. Logo, o uso de repetições dentro de uma mesma unidade experimental é requerido para que o erro dentro seja desagregado do erro experimental e os efeitos dos tratamentos sobre o caráter tempo de cocção sejam detectados corretamente.

Tabela 8 - Comparação das repetições nas 36 populações mutantes de feijão.

Populações	Quadrado Médio
Pérola M ₂ 100 G _y	0,01 ^{ns}
Pérola M ₂ 200 G _y	23,38 ^{ns}
Pérola M ₂ Testemunha	5,45 ^{ns}
Pérola M ₄ 100 G _y	35,11 ^{ns}
Pérola M ₄ 200 G _y	71,91 ^{ns}
Pérola M ₄ Testemunha	9,21 ^{ns}
Pérola M ₅ 100 G _y	0,37 ^{ns}
Pérola M ₅ 200 G _y	0,47 ^{ns}
Pérola M ₅ Testemunha	21,53 ^{ns}
IAPAR 81 M ₂ 100 G _y	20,75 ^{ns}
IAPAR 81 M ₂ 200 G _y	0,62 ^{ns}
IAPAR 81 M ₂ Testemunha	4,86 ^{ns}
IAPAR 81 M ₄ 100 G _y	0,03 ^{ns}
IAPAR 81 M ₄ 200 G _y	2,71 ^{ns}
IAPAR 81 M ₄ Testemunha	13,58 ^{ns}
IAPAR 81 M ₅ 100 G _y	7,34 ^{ns}
IAPAR 81 M ₅ 200 G _y	41,99 ^{ns}
IAPAR 81 M ₅ Testemunha	5,95 ^{ns}
IPR Chopim M ₂ 100 G _y	69,72 ^{ns}
IPR Chopim M ₂ 200 G _y	12,71 ^{ns}
IPR Chopim M ₂ Testemunha	16,32 ^{ns}
IPR Chopim M ₄ 100 G _y	0,63 ^{ns}
IPR Chopim M ₄ 200 G _y	0,00 ^{ns}
IPR Chopim M ₄ Testemunha	11,49 ^{ns}
IPR Chopim M ₅ 100 G _y	3,26 ^{ns}
IPR Chopim M ₅ 200 G _y	17,10 ^{ns}
IPR Chopim M ₅ Testemunha	11,39 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₂ 100 G _y	61,78 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₂ 200 G _y	41,86 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₂ Testemunha	84,00 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₄ 100 G _y	12,32 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₄ 200 G _y	19,80 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₄ Testemunha	5,38 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₅ 100 G _y	21,48 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₅ 200 G _y	74,74 ^{ns}
IPR Uirapuru M ₅ Testemunha	6,35 ^{ns}

^{ns} Efeito não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

A proposta de um programa de melhoramento de plantas está relacionada à identificação de genótipos com desempenho superior. Para isso, a situação ideal para a

avaliação dos genótipos seria em que as diferenças apresentadas pelos mesmos fossem apenas devido ao potencial genético, de forma que, o melhor genótipo poderia ser escolhido com maior segurança (FEHR, 1987). Como esta condição é muito difícil de ser alcançada, cabe ao melhorista decidir qual técnica é mais eficaz para a discriminação dos genótipos. O método empregado para a avaliação do tempo de cozimento em feijão é composto por variações referentes a capacidade de embebição de água de cada grão, ao tamanho dos grãos devido a aleatoriedade das amostras, a utilização de populações com *locus* heterozigotos, assim como, a especificação quanto ao tempo de cozimento. Deste modo, Ribeiro et al. (2007), sugerem uma padronização referente a determinação do tempo de cocção para possibilitar a comparação dos resultados obtidos.

De posse do conhecimento das variações existentes no método de avaliação, o melhorista deve lançar mão de alternativas que permitem o isolamento deste erro. Deste modo, deve-se utilizar mais de uma repetição por parcela para estimar a variação referente ao erro de amostragem, a qual engloba as variações inerentes tanto ao material experimental quanto a técnica utilizada para a mensuração da variável. Portanto, é interessante ressaltar que neste experimento não houve a possibilidade de selecionar populações promissoras quanto o menor tempo de cozimento de feijão. Entretanto, o mesmo foi de grande valia para exemplificar a variação apresentada pelo método de cocção por meio do cozedor de Mattson. Contudo, ressalta-se que a utilização deste método para o registro de novas cultivares é necessário, e por isso deve ser um critério avaliado em um programa de melhoramento, sendo interessante o uso de mais de uma observação por parcela com o intuito de estimar o erro referente ao método e assim obter resultados confiáveis.

3.6 CONCLUSÃO

A técnica empregada para determinação do tempo de cocção de feijão apresenta variação intrínseca ao método, sendo necessária a utilização de repetições dentro da unidade experimental para estimar o erro de amostragem (dentro) e purificar o erro experimental (entre), discriminando assim, a comparação entre diferentes genótipos não pela técnica empregada, mas pelo potencial genético.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do caráter distribuição radicular ter significativa importância na tolerância das plantas à estresses edafoclimáticos, este tem sido pouco estudado devido a elevada demanda de tempo e mão-de-obra para a abertura dos perfis do solo, somado ao grande volume de populações avaliadas no início dos programas de melhoramento. Desta forma, a possibilidade de seleção indireta por meio da correlação efetiva entre a distribuição radicular e outro caráter de fácil mensuração, que permita discriminar os genótipos, seria de extrema valia nas etapas iniciais dos programas de melhoramento. Assim, a avaliação direta do sistema radicular (abertura dos perfis) seria efetuada nas gerações mais avançadas, em que, a quantidade de populações a serem analisadas é reduzida.

A distribuição do sistema radicular nas camadas do solo proporciona ao pesquisador uma noção referente à capacidade da planta em adquirir recursos do solo quando os mesmos são escassos. No entanto, métodos que permitam avaliar a superfície radicular, bem como, identificar raízes ativas na absorção de água e nutrientes poderão ser mais eficazes na seleção de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico e mais eficientes mesmo com baixa disponibilidade de nutrientes. Deste modo, é importante considerar que o método do perfil não é destrutivo, permitindo a continuidade do ciclo da planta, aspecto substancial aos programas de melhoramento. Assim, seria relevante que os métodos pudessem ser agregados a metodologia do perfil para obter uma soma de informações que convergiriam para a discriminação do genótipo mais promissor.

A determinação do tempo de cocção por meio da metodologia que emprega o aparelho cozedor de Mattson é válida para identificar genótipos. No entanto, se os mesmos ainda apresentam algum nível de heterozigose é conveniente que seja realizado o isolamento do erro de amostragem e/ou da técnica. Contudo, a utilização dessa metodologia sem o isolamento do erro de amostragem pode induzir a resultados errôneos e com pequena chance de repetibilidade, que refletirão no insucesso da seleção de genótipos com reduzido tempo de cozimento dos grãos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R.S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R.T.; VIDAL, L.H.I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.
- ARMELIN, J.M.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; PIEDADE, S.M.S.; MACHADO, F.M.V.F.; SPOTO, M.H.F. Avaliação física de feijão carioca irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 498-502, 2007.
- BERTOLDO, J.G.; COIMBRA, J.L.M.; SILVEIRA, C.B.; TOALDO, D. Efeito de diferentes concentrações salinas na redução do tempo de cocção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 39-44, 2008.
- BÖHM, W. **Methods of studying root system**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.
- BORÉM, A. A história da biotecnologia. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 8, n. 34, p. 10-12, 2005.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2007. 525p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, de 23 de maio de 2006. Anexo I: Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para a inscrição no registro nacional de cultivares - RNC. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jun. 2006. Seção 1, p. 16. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=19/06/2006&jornal=1&pagina=17&totalArquivos=80>>. Acesso em: 12 mar. 2011.
- BROCK, R.D. The role of induced mutations in plant improvement. **Radiation Botany**, v. 11, n. 3, p. 181-196, 1971.
- CARBONELL, S.A.M.; CARVALHO, C.R.L.; PEREIRA, V.R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A.D. Identificação de variáveis causadoras de erro experimental na variável rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 707-713, 2004.

CARGNELUTTI FILHO, A.; EVANGELISTA, D.H.R.; GONÇALVES, E.C.P.; STORCK, L. Tamanho de amostra de caracteres de genótipos de soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 983-991, 2009.

CHEAH, C.H.; LIM, E.S. Mutation breeding of *Phaseolus vulgaris* L.: studies on the effects of irradiation dosage to resolve a suitable procedure of handling M₁ and M₂ generations. **Pertanika**, v. 5, n. 2, p. 184-191, 1982.

COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental designs**. 2. ed. New York: John Wiley, 1992. 611p.

COIMBRA, J.L.M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; GUIDOLIN, A.F. Criação de variabilidade genética no caráter estatura de planta em aveia: hibridação artificial \times mutação induzida. **Revista Brasileira de. Agrocência**, v. 10, n. 3, p. 273-280, 2004.

COIMBRA, J.L.M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; LORENCETTI, C. Comparação entre mutagênicos químico e físico em populações de aveia. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 46-55, 2005.

COIMBRA, J.L.M.; SOUZA, V.Q.; KOPP, M.M.; SILVA, J.G.C.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F. Esperanças matemáticas dos quadrados médios: uma análise essencial. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1730-1738, 2006.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: décimo segundo levantamento**. Brasília: CONAB, 2010. 43p.

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

DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M.B.S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.

DORLODOT, S.; FORSTER, B.; PAGÈS, L.; PRICE, A.; TUBEROSA, R.; DRAYE, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 10, p. 474-481, 2007.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FEHR, W.R. **Principles of cultivar development: theory and technique**. v. 1. New York: Macmillan, 1987. 536p.

FU, H.W.; LI, Y.F.; SHU, Q.Y. A revisit of mutation induction by gamma rays in rice (*Oryza sativa* L.): implications of microsatellite markers for quality control. **Molecular Breeding**, v. 22, n. 2, p. 281-288, 2008.

GAUL, H. Mutations in plant breeding. **Radiation Botany**, v. 4, n. 3, p. 155-158, 1964.

HERDER, G.D.; ISTERDAEL, G.V.; BEECKMAN, T.; De SMET, I. The roots of a new green revolution. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 11, p. 600-607, 2010.

HO, M.D.; ROSAS, J.C.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. **Functional Plant Biology**, v. 32, n. 8, p. 737-748, 2005.

LEMOS, L.B.; OLIVEIRA, R.S.; PALOMINO, E.C.; SILVA, T.R.B. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v. 109, n. 1, p. 7-13, 1995.

LYNCH, J.P.; BROWN, K.M. Topsoil foraging: an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 225-237, 2001.

LYNCH, J.P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany**, v. 55, n. 5, p. 493-512, 2007.

PROCTOR, J.R.; WATTS, B.M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 322p.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2008. 463p.

RAMOS JUNIOR, E.U.; LEMOS, L.B.; SILVA, T.R.B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 75-82, 2005.

RIBEIRO, N.D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N.L.; ROSA, S.S. Padronização de metodologia para avaliação do tempo de cozimento dos grãos de feijão. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 335-346, 2007.

RODRIGUES, J.A.; RIBEIRO, N.D.; POERSCH, N.L.; LONDERO, P.M.G.; CARGNELUTTI FILHO, A. Standardization of imbibition time of common bean grains to evaluate cooking quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 4, p. 465-471, 2004.

SAS Institute Inc. **SAS® 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft**. Cary: SAS Institute Inc, 2007. 212p.

SHU, Q.Y. Turning plant mutation breeding into a new era: molecular mutation breeding. In: SHU, Q.Y. (Ed.). **Induced Plant Mutations in the Genomics Era**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. p. 425-427.

STEEL, R.G.D; TORRIE, J.H; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics a biometrical approach**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 1997. 666p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAYLOR, H.M. Methods of studying root systems in the field. **HortScience**, v. 21, n. 4, p. 952-956, 1986.

TULMANN NETO, A.; SABINO, J.C. Indução e uso de mutante de hábito determinado e precoce em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Genética**, v. 17, n. 4, p. 425-430, 1994.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATTERNIANI, E.; VIEGAS, E.G. **Melhoramento e produção de milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M.A.P.; CARNEIRO, J.E.S. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-391.

VIEIRA, R.F.; JOCHUA, C.N.; LYNCH, J.P. Method for evaluation of root hairs of common bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1365-1368, 2007.

VIEIRA, R.F.; CARNEIRO, J.E.S.; LYNCH, J.P. Root traits of common bean genotypes used in breeding programs for disease resistance. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 707-712, 2008.

WANG, N.; DAUN, J.K. Determination of cooking times of pulses using an automated Mattson cooker apparatus. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 10, p. 1631-1635, 2005.

YOKOYAMA, L.P.; STONE, L.F. (Ed.). **Cultura do feijoeiro no Brasil**: características da produção. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 75p.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 8-52.

APÊNDICE



APÊNDICE A - Imagem digital demonstrando as raízes expostas no perfil do solo e as quadrículas em que avaliou-se a presença e ausência de raiz até a profundidade de 30cm de solo.