

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

DIEGO TOALDO

MELHORAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO FEIJÃO
VISANDO TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA HÍDRICA

LAGES – SC

2012

DIEGO TOALDO

**MELHORAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO FEIJÃO
VISANDO TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

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. Altamir Frederico Guidolin
Co-orientador: Dr. Jefferson Luís Meirelles
Coimbra

LAGES – SC

2012

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

Toaldo, Diego
Melhoramento do sistema radicular do feijão visando tolerância a
deficiência hídrica / Diego Toaldo; orientador: Altamir Frederico
Guidolin. – Lages, 2012.
59f.

Inclui referências.

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

1. *Phaseolus vulgaris* L.
2. Populações segregantes.
3. Perfil do solo.
4. Análise de trilha.
5. Heterose. I. Título.

CDD – 635.652

DIEGO TOALDO

**MELHORAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO FEIJÃO
VISANDO TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

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.

Aprovado em: / /2012

Homologado em: / /2012

Banca Examinadora:

Orientador/presidente: Dr. Altamir
Frederico Guidolin (UDESC/Lages - SC)

Dra. Aike Annelise Kretzschmar
Coordenadora Técnica do Curso de Mestrado
em Produção Vegetal Agrárias –
UDESC/Lages – SC

Co-orientador / Membro: Dr. Jefferson Luís
Meirelles Coimbra (UDESC/Lages – SC)

Dr. David Jose Miquelluti
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências Agrárias (UDESC/Lages – SC)

Membro: Dr. Juliano Garcia Bertoldo
(FEPAGRO/Maquiné-RS)

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

Membro: Dr. Jackson Adriano Albuquerque
(UDESC/Lages – SC)

Lages, Santa Catarina, 23 de Abril de 2012

Dedico aos meus
pais Adair e Hilda

AGRADECIMENTOS

A Deus...

Aos meus pais e minha irmã Marcieli, pelo apoio incondicional, incentivo e acima de tudo por acreditarem em mim sendo fundamentais em minha vida.

Aos professores Altamir e Jefferson pela transmissão de conhecimento, e comprometimento pela minha orientação.

Aos colegas do grupo IMEGEM: Patric, Luciano, Leiri, Naine, Fabiani, Giseli, Jussara, Joana, Juliano, Lemes, Carmelice, Murieli, Eitor, Felipe que prontamente me ajudaram em meu trabalho e aos do mestrado Mayra, Daia.

Por todos os meus amigos e familiares que de uma forma ou de outra contribuíram para esta realização.

A UDESC, CNPq, CAPES, FAPESC, pela disponibilidade da realização do mestrado, concessão de bolsa e apoio financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

OBRIGADO!

"Não alcançamos o que queremos, alcançamos
o que acreditamos"

Suryavan Solar

RESUMO

TOALDO, Diego. **Melhoramento do sistema radicular do feijão visando tolerância a deficiência hídrica**. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC.2012.

Tendo em vista as variações climáticas que vem se intensificando, principalmente a deficiência hídrica, é de extrema importância a criação de cultivares que apresentem maior tolerância a esta deficiência. Esta tolerância é adquirida através de um sistema radicular profundo e com melhor distribuição perante a outros genótipos. A seleção de plantas com sistema radicular promissor em populações segregantes é uma das etapas primordiais no processo de obtenção do novo cultivar. Outro fator de extrema importância, é o estudo dos caracteres da parte aérea que apresentam maior correlação com o sistema radicular. Deste modo o objetivo deste trabalho foi: *i*) identificar em três camadas no perfil do solo, genótipos na primeira geração segregante com sistema radicular superior e verificar a ocorrência da heterose para o caráter sistema radicular. *ii*) identificar a correlação fenotípica e seus efeitos diretos e indiretos dos caracteres da parte aérea que apresentam maior correlação com a distribuição radicular, visando facilitar a seleção indireta para este caráter. As avaliações foram realizadas em genótipos segregante (F_2) de feijão oriundos do cruzamento em dialélio completo de três acessos pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Feijão do IMEGEM/UEDESC: (BAF 07, BAF 09, BAF 50 e um cultivar comercial IPR Uirapuru). A avaliação do sistema radicular foi realizada pelo método do perfil descrito por (BOHM 1979) em três camadas (0-10; 10-20 e 20-30 cm) com contagem de forma binária. Os componentes da parte aérea foram avaliados quando as plantas atingiram o ponto de colheita. Os caracteres diâmetro do caule, estatura de planta e inserção do primeiro legume por apresentarem as maiores correlações com a distribuição radicular podem auxiliar na seleção indireta. Os baixos coeficientes de determinação indicam que o melhorista não deve basear-se apenas na seleção indireta para obter genótipos com sistema radicular superior. A seleção de plantas visando aumento da distribuição radicular e produção de grãos concomitantemente não se apresenta viável, uma vez que plantas com alta produção de grãos tendem a apresentar menor distribuição radicular. Os genótipos avaliados não apresentam relação completa entre seus caracteres, de maneira que a seleção indireta apenas por caracteres isolados não garante resultados promissores na seleção. Os genótipos propícios para o avanço de gerações são: dois, sete e três para camada até 20 cm e três para a camada até 30 cm. O cruzamento entre os genitores BAF 07 (grupo preto) e BAF 50 (grupo carioca) tem ampla divergência genética, proporcionando incremento significativo do sistema radicular nas suas progênes avaliadas. A seleção de genótipos superiores na camada de 20-30 cm é limitada, pois a maioria dos genótipos apresenta distribuição similar e pouco pronunciado. Em virtude do elevado efeito do componente de dominância ocorreu heterose para a distribuição radicular em gerações iniciais, tal fato pode dificultar a seleção em espécies autógamas para o caráter.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Populações segregantes. Perfil do solo. Análise de trilha. Heterose.

ABSTRACT

TOALDO, Diego. **Improvement of the bean root system aiming tolerance to water deficit**. 2012. 59 f. Dissertation (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC.2012.

In view of the climate changes that have been intensified, especially water stress, this way, is extremely important to create cultivars that shows greater tolerance to this deficiency. This tolerance is acquired through a dense and deep root system. In this sense the selection of plants with promising root systems in segregating populations is one of the primordial steps in the process of the obtainment in a new cultivar. Another factor with extreme importance is the study of characters of the aerial part with shows the highest correlation with the root system. Thus the objective of this study was to: *i*) to identify three depths in the soil profile, genotypes in the first segregating generation with higher root system and verify the occurrence of heterosis for the root system. character. *ii*) identify the phenotypic correlation and yours direct and indirect effects of aerial part characters with the highest correlation with the root distribution, to facilitate the indirect selection for this character. The evaluations were carried out in segregating genotypes (F_2) of beans from the crossing in full diallel of the three accessions of the Bean Active Germplasm Bank IMEGEM / UDESC: (BAF 07, BAF 09, BAF 50 and a commercial cultivar IPR Uirapuru). The evaluation of the root system was performed by BOHM (1979) method at three depths (0-10, 10-20 and 20-30 cm) with binary counting form. The components of the aerial part were evaluated when the plants reached the point of harvest. The characters stem diameter, plant height and first pod for having the highest correlation with the root distribution may help in the indirect selection. The low coefficients of determination indicate that the breeder should not be based only on indirect selection for genotypes with higher root system. At the conditions of this work, the selection of plants aiming to increase the root distribution and yield concurrently has not viable, since plants with high production of grains tend to have smaller root distribution. The genotypes measured not present a complete list of your characters, so that indirect selection only by single characters does not guarantee good results in the selection of plants. The propitiate genotypes to the advancement of generations are: two, seven and three for up to 20 cm depth and three for the depth up to 30 cm. The crossing between the parents BAF 07 (black group) and BAF 50 (Rio Group) showed wide genetic diversity, providing a significant increase of the root system in its progenies. The selection of superior genotypes in the 20-30 cm layer is limited because the majority genotypes has a similar distribution and less pronounced. In virtue of the high effect of dominance component occurred heterosis for root distribution in early generations, this could complicate the selection in autogamous species for the character.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Segregating populations. Soil profile. Path analysis. Heterosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Comportamento da distribuição radicular de doze genótipos e quatro genitores em três camadas estimadas pelo BLUP. UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11. 30

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Distribuição radicular em três camadas do solo estimadas em escala logit (Estimativa) e transformadas para escala original entre zero e um (Média); diferenças entre as estimativas de distribuição radicular por camada. UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.....22
- Tabela 2 Médias observadas (μO) e BLUPs (β) da distribuição radicular de dezesseis genótipos de feijão avaliados em três camadas no perfil do solo. UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.24
- Tabela 3. Contrastes entre cada genótipo com seus respectivos genitores em cada camada, médias observadas (μO) e BLUPs (β) da distribuição radicular UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.28
- Tabela 4. Coeficientes de correlação fenotípica reamostrados com 10000 simulações pelo método de Bootstrap, entre os caracteres altura de inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS), distribuição radicular (DR). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11. 37
- Tabela 5. Correlações canônicas e pares canônicos estimados entre Grupo I: peso de grãos por planta (PGP), distribuição radicular (DR) e Grupo II: inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), número de sementes por planta (SPP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11. 39
- Tabela 6. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários, estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), diâmetro do caule (DC) sobre o caráter distribuição radicular (DR). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.41
- Tabela 7. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres secundários, inserção do primeiro legume (INC), estatura da planta (EST), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.44
- Tabela 8. Estimativas de efeitos diretos e indiretos dos caracteres secundários sobre os primários para a distribuição radicular (DR), inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta

(NLP), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 CAPÍTULO I: MELHORAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE FEIJÃO: SELEÇÃO EM GERAÇÕES INICIAIS E A OCORRÊNCIA DE HETEROSE PARA O CARÁTER	16
2.1 RESUMO	16
2.2 ABSTRACT	17
2.3 INTRODUÇÃO.....	18
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.6 CONCLUSÃO.....	31
3. CAPÍTULO II: CORRELAÇÃO FENOTÍPICA ENTRE DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E CARACTERES DA PARTE AÉREA DO FEIJÃO.....	32
3.1 RESUMO	32
3.2 ABSTRACT	33
3.3 INTRODUÇÃO.....	33
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.6 CONCLUSÃO.....	47
4 CONCLUSÃO GERAL	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A	56
APÊNDICE B:	57
APÊNDICE C:	58
APÊNDICE D:	59

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão é um dos principais alimentos consumidos pelos brasileiros, fornece nutrientes e vitaminas. Representa a uma importante fonte de proteínas da população brasileira e constitui um produto de destaque na importância nutricional, econômica e social. Sua importância alimentar deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal (MESQUITA et al., 2006).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão com média anual de produção de 3,5 milhões de toneladas, de acordo com estimativas da mesma fonte o consumo terá incremento de 1,2% ao ano até 2020, passando de 3,5 para 4,3 milhões de toneladas (Ministério da Agricultura, 2012).

Entretanto esta necessidade de aumento da produção vai de encontro com as mudanças climáticas, tais como variações bruscas de temperatura e redução da quantidade de chuvas, que vem se intensificando atualmente ocasionando estresses bióticos e abióticos. Estima-se que os efeitos dos abióticos são mais pronunciados, especialmente o aumento da temperatura e redução na precipitação pluviométrica (BATES et al., 2008). Estudos realizados em casa de vegetação têm indicado que o feijão é uma espécie bastante sensível ao déficit hídrico severo, especialmente quando comparada com outras leguminosas (PIMENTEL et al., 2001), sendo extremamente sensível às variações climáticas, principalmente quando ocorrem no período de floração. A redução na produção de grãos de feijão sob estresse hídrico é decorrente da baixa porcentagem de vingamento das flores, quando o estresse ocorre durante a floração, e ao abortamento de óvulos produzindo vagens ‘chochas’, quando ocorre na formação das mesmas (CIRINO, 2008). Este fator tem grande influência na produtividade da cultura, o que torna a produtividade bastante oscilante fazendo com que o produtor não opte por correr o risco em investir na cultura, assim reduzindo a área total de plantio.

Uma das maneiras de mitigar os efeitos causados pela deficiência hídrica é a utilização de irrigação artificial, no entanto esta estratégia causa grande impacto ambiental, eleva o custo de produção, assim não sendo acessível a todos os produtores além de ser imprópria para regiões com topografia íngreme.

Dessa forma a maneira mais eficiente e econômica para o produtor de reduzir a instabilidade de produtividade, é através do uso de cultivares melhoradas geneticamente, tolerantes à deficiência hídrica. Assim a tolerância aos efeitos da deficiência hídrica é superada pelo sistema fisiológico da própria planta, o que reduz o efeito de impacto ambiental

e tem melhor adaptação aos vários tipos de agricultura quando comparado com o uso da irrigação artificial.

A adaptação a deficiência hídrica esta relacionada com a distribuição e camada radicular. Em condições de deficiência hídrica plantas com maior camada radicular tem acesso por mais tempo a água do solo (GIBBENS et al., 2001). Esta é uma característica genética da própria planta em regular os níveis de ácido abscísico sob deficiência hídrica, este hormônio promove o crescimento radicular e acesso a água pelas raízes por mais tempo (SHARP et al., 2004). 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). 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.

Devido a deficiência hídrica no passado não ter apresentado prejuízos alarmantes, a maioria das cultivares existentes no mercado até então não foram selecionadas para explorar o solo em busca de água e nutrientes quando estes estão em deficiência. Podendo ter reflexos negativos na produtividade de grãos quando sofrem algum tipo de estresses abióticos, por exemplo, estresse hídrico.

Tendo em vista as previsões de mudanças climáticas e seus efeitos negativos para a agricultura, a criação de cultivares que apresentem tolerância a deficiência hídrica, torna-se indispensável nos programas de melhoramento de plantas. Estes devem atuar no desenvolvimento de novas cultivares, buscando principalmente maior eficiência produtiva aliada a tolerância a estresses bióticos e abióticos objetivando potencializar a produção em diversos níveis tecnológicos (BORÉM, 2005). Dessa forma, características de raiz devem ser consideradas no melhoramento, para que se possa aumentar a produtividade de grãos sem aumentar os custos ao produtor (HENRY et al., 2008).

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 das formas de aumentar a variabilidade genética é através do cruzamento entre genótipos. Sendo que a escolha dos genitores é primordial para garantir sucesso na seleção de plantas e obtenção do cultivar superior.

A maneira mais apropriada para encontrar genótipos com sistema radicular superior é a avaliação a campo do sistema radicular das plantas. Existem vários métodos citados na literatura para a avaliação, porém a maioria dos autores utiliza métodos indiretos de avaliação realizados em casa de vegetação. A maioria dos métodos indiretos de avaliação do sistema radicular é fundamentada em crescer as raízes em tubos, vasos ou em rolo de papel umedecido. Estes métodos indiretos requerem menor trabalho para avaliação, no entanto apresentam o inconveniente de apresentarem apenas uma estimação do desenvolvimento radicular sendo que estas não estão sujeitas as variações de clima variações de solo e clima que ocorrem a campo, podendo não estimar com confiabilidade o comportamento a campo. Uma vez que as característica físicas do solo em vasos não são as mesmas de um solo onde são cultivada plantas para fins comerciais.

A escolha do método a ser utilizado depende, entre outros, do objetivo do estudo, da facilidade na coleta dos dados e da disponibilidade de recursos. A coleta de informações no campo é uma tarefa bastante árdua e é feita de diferentes formas. Bohm (1979) descreveu vários métodos de avaliação do sistema radicular sob condições naturais de campo, sendo estes: Método da Escavação, Método do Monólito, Método do Trado, Método da parede de vidro e Método do perfil do solo. O método utilizado no presente trabalho foi o do perfil do solo consiste na abertura de trincheiras para melhor visualização e avaliação da distribuição das raízes *in situ* da planta em estudo. Entretanto encontrar referências na literatura que abordem a utilização deste método de avaliação do sistema radicular em populações segregantes de programas de melhoramento de plantas é bastante raro, uma vez que tal método exige grande quantidade de trabalho físico além de ser bastante minucioso. Sendo que os pesquisadores estão carentes de técnicas para mensuração de características do sistema radicular.

De posse dos dados é possível fazer inferências sobre o comportamento do sistema radicular em populações segregantes bem como descobrir quais genitores e populações apresentam maior potencial para incremento do sistema radicular, bem como mensurar a correlação entre o sistema radicular e outros caracteres da parte aérea.

Desta maneira este trabalho teve por embasamento as seguintes hipóteses *i*) As populações segregantes de feijão em geração inicial (F_2), Apresentam alto efeito de heterose para o caráter sistema radicular. *ii*) Existem genótipos em população segregante (F_2) que são superiores perante aos outros avaliados para a característica sistema radicular. *iii*) Existe correlação significativa entre o sistema radicular e caracteres da parte aérea do feijão que podem auxiliar na seleção indireta para este caráter.

2 CAPÍTULO I: MELHORAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE FEIJÃO: SELEÇÃO EM GERAÇÕES INICIAIS E A OCORRÊNCIA DE HETEROSE PARA O CARÁTER

2.1 RESUMO

O feijão é uma cultura com grande instabilidade frente às oscilações climáticas, principalmente pela deficiência hídrica. Uma das maneiras de minimizar esta instabilidade é através do melhoramento genético para o caráter sistema radicular. Assim o objetivo deste trabalho foi identificar genótipos na primeira geração segregante com sistema radicular superior em três camadas no perfil do solo, e verificar a ocorrência da heterose para o caráter sistema radicular. As avaliações foram realizadas pelo do método de Bohm (1979) em três camadas (0-10; 10-20 e 20-30 cm) Em um Cambissolo Húmico. Foram avaliados doze populações segregantes e quatro genitores (BAF 09, BAF 07, BAF 50 e IPR Uirapuru), comparativamente. Os genótipos propícios para o avanço de gerações são: dois, sete e três para camada até 20 cm e 3 para a camada até 30 cm. O cruzamento entre os genitores BAF 07 (grupo preto) e BAF 50 (grupo carioca) apresentou ampla divergência genética, proporcionando incremento significativo do sistema radicular nas suas progênes avaliadas. A seleção de genótipos superiores na camada de 20-30 cm é limitada, pois a maioria dos genótipos apresenta distribuição similar e pouco destacada. Em virtude do elevado efeito do componente de dominância ocorreu heterose para a distribuição radicular em gerações iniciais, tal fato pode dificultar a seleção em espécies autógamas para o caráter.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris* L.; estresse abiótico; variabilidade genética perfil do solo.

2.2 ABSTRACT

Crops of bean are unstable to climate changes, especially water stress. One way to minimize this instability is through genetic breeding of root system character. Thus, the objective of this study was to identify genotypes with superior root system in the first segregating generation at three depths in the soil profile and verify the occurrence of heterosis for the root system character. Assessments were performed using the method of Bohm (1979) at three different depths (0-10, 10-20 and 20-30 cm) in the experimental area of IMEGEM at the State University of Santa Catarina UDESC Lages – SC. Twelve segregating populations and four parents (BAF 09, BAF 07, BAF 50 and IPR Uirapuru) were evaluated by comparison. The conducive genotypes to the advancement of generations are: two, seven and three for depths up to 20 cm and three for depths up to 30 cm. The cross between the parents BAF 07 (black group) and BAF 50 (carioca group) presented wide genetic divergence, providing significant increase in the root system revealed by the analysis of their progenies. The selection of superior genotypes in the 20-30 cm layer is limited because most genotypes have similar, poorly pronounced distribution. Due to the strong effect of the dominance component, heterosis occurred for root distribution in early generation. This fact may hinder the selection in autogamous species in relation to this character

Key words: *Phaseolus vulgaris L.*; abiotic stress; genetic variability.

2.3 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é um dos mais importantes produtos agrícola consumido pela maioria da população brasileira, principalmente por ser uma fonte de baixo custo de proteína, ferro e zinco acessível a todas as classes econômicas. Em Santa Catarina houve um aumento de cerca de 9% nas áreas de plantio desta cultura em relação à safra passada (CONAB, 2011). Entretanto esta cultura é extremamente sensível aos intempéries climáticos, principalmente pela deficiência hídrica, o que resulta em redução significativa de produtividade. Estudos realizados têm demonstrado que o feijão é bastante sensível ao déficit hídrico e a deficiência nutricional, principalmente quando comparado com outras leguminosas (PIMENTEL et al., 2001).

Atualmente em decorrência das elevadas instabilidades climáticas e redução das fontes de minério, é de extrema importância a criação cultivares adaptadas a deficiência hídrica e solos pobres em nutrientes. A adaptação ao estresse hídrico pode ser dada entre outros fatores pela profundidade, eficiência e distribuição do sistema radicular (GUIMARÃES et. al., 1996). Plantas com sistema radicular profundo são favorecidas numa situação de estresse, pois as maiores concentrações de água estão presentes nas camadas mais profundas do solo (LYNCH, 1995). Distribuição radicular é uma característica extremamente importante, pois determina o volume de solo explorado e dessa forma a capacidade de absorção de nutriente, e como consequência, pode propiciar melhor adaptação do genótipo ao ambiente de cultivo. Dessa forma, uma das maneiras de minimizar os impactos dos efeitos abióticos sobre a produtividade de grãos pode ser por meio da manipulação do sistema radicular das plantas, de forma a aperfeiçoar a capacidade de absorção de água e nutrientes (DORLODOT et al., 2007).

A maneira mais eficiente e de menor custo para reduzir as oscilações da produtividade de grãos é por meio do melhoramento de plantas, sendo possível incorporar genes de interesse nas cultivares. O aumento da frequência dos genes favoráveis pode ser conseguido através de diferentes métodos de seleção e dentre estes, é fundamental a seleção entre e dentro de populações com teste de progênie nas primeiras gerações segregantes (COSTA et al., 2006). Em gerações segregantes iniciais (F_2 e F_3) pode ocorrer elevado efeito da heterose, proporcionando ganhos na progênie (JANICK, 2001). Em plantas autógamas este efeito pode dificultar a seleção em gerações altamente segregantes, pois genes de efeito de

dominância e sobredominância, além dos efeitos epistáticos estão presentes, sendo este responsáveis por uma fração significativa da variância genética.

A hipótese da sobredominância proposta por Shull (1908) assume que a superioridade da progênie para determinada característica em relação aos genitores é devido à complementação dos alelos contrastantes vindos de ambos os genitores em um mesmo locus. Estes alelos ativam rotas bioquímicas que adicionam incremento na característica de interesse. Esta manifestação é devido a combinação de vários alelos de ambos os pais em um mesmo locus. A hipótese da dominância foi sugerida por KEEBLE e PELLEW (1910), que anunciaram que a heterose causada por genes dominantes se referem a dominância dos genes favoráveis vindos de ambos os genitores, reprimindo o efeito dos genes recessivos deletérios. Quando estas plantas são avaliadas em gerações avançadas apresentam redução do vigor devido ao efeito de endogamia causada pelos locos em homozigose que não contribuem para o incremento da característica. De maneira que a heterose pode dificultar a seleção em gerações segregantes de espécies autógamas (PANDINI et al., 2002). Assim o melhorista deve buscar em plantas autógamas, genes de ação aditiva que apresentam propriedades importantes como, por exemplo, indivíduos superiores originam descendentes superiores.

O objetivo deste trabalho foi identificar em três camadas no perfil do solo, genótipos na primeira geração segregante com sistema radicular superior e verificar a ocorrência da heterose para o caráter sistema radicular.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em quatro etapas:

A primeira etapa foi conduzida na safra agrícola 2008/09. Foram avaliados oito genótipos de feijão, sendo seis acessos (BAF 07, BAF 09, BAF 35, BAF 44, BAF 50 e BAF 63) provenientes de diferentes locais do Estado de Santa Catarina, e duas cultivares comerciais (Pérola e IPR Uirapuru) avaliadas em três diferentes camadas (0–10, 10–20 e 20–30 cm). Estes acessos avalivoados foram escolhidos perante os demais do Banco Ativo de Germoplasma de Feijão do IMEGEM/UEDESC, em razão do melhor desempenho agrônômico constatado por meio de experimentos realizados em safras anteriores. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados. Cada unidade experimental foi composta de quatro linhas de quatro metros de comprimento e 0,45 m entre linhas, numa densidade de 15 plantas por metro linear. A distribuição do sistema radicular foi avaliada conforme o método descrito por

Bohm (1979). Quando as plantas estavam no pleno florescimento foi aberto um perfil paralelo a linha de semeadura 0,05 m das plantas, sendo que as raízes foram expostas com uma ferramenta pontiaguda, após foi colocado um retângulo de 0,3 m de altura por 0,5 m de lado dividido em quadrículas de 0,05 m de lado. Para capturar a imagem da distribuição radicular foi utilizada uma câmera digital (Canon SX100) posicionada a 0,6 m da quadrícula. Através da imagem, foi avaliada a distribuição radicular nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm pela observação da presença (1) ou ausência (0) de raiz em cada quadrícula (Apêndice A). Dos oito genótipos avaliados foram escolhidos quatro superiores para a distribuição do sistema radicular, sendo estes: BAF 07, BAF 09 e IPR Uirapuru do grupo comercial preto e BAF 50 do grupo comercial carioca.

Segunda etapa: os genótipos selecionados foram conduzidos em vasos em casa de vegetação no ano de 2009. Estes foram cruzados num esquema de dialelo completo para a obtenção dos híbridos F_1 e seus recíprocos. Os cruzamentos foram efetuados segundo a metodologia de VIEIRA (1967), com a emasculação do botão floral.

Terceira etapa: foram conduzidos os genitores, híbridos F_1 e recíprocos a campo em um esquema de blocos casualizados durante a safra agrícola 2009/10. As unidades experimentais foram compostas de três linhas de um metro de comprimento, espaçadas em 0,45 m. A densidade utilizada foi de dez sementes por metro linear.

Quarta etapa: foi conduzida na safra agrícola 2010/11 onde as sementes F_2 provenientes dos híbridos F_1 e seus recíprocos (doze populações segregantes e mais as quatro populações fixas - genitores), foram semeadas a campo. Estas foram semeadas em linhas de seis metros de comprimento, espaçadas 0,25 m dentro da linha e 0,45 m entre cada linha. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com informação dentro da parcela sendo considerada cada planta como uma repetição. Dentro de cada uma das populações segregantes foram selecionadas para a avaliação do sistema radicular, oito a doze melhores plantas com base nos caracteres agronômicos, formando uma amostra da frequência genotípica de cada população, constituindo assim doze populações. Em cada genótipo fixo (genitores) foram amostradas quatro plantas, a avaliação do sistema radicular foi realizada em cada planta selecionada, conforme o método descrito por (BOHM, 1979). Após a avaliação as trincheiras foram fechadas para que as plantas pudessem completar seu ciclo. Quando estas atingiram o ponto de colheita foram avaliados os caracteres da parte aérea, peso de grãos por planta, número de legumes por planta, número de sementes por legume, peso de mil sementes, número de sementes por planta, altura de inserção do primeiro legume, diâmetro do caule e altura da planta, as sementes foram guardadas separadamente. Todas as etapas foram

conduzidas na área experimental do Instituto de Melhoramento e Genética Molecular (IMEGEM) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages – SC. Sendo que a adubação foi realizada de acordo com a recomendação do manual de adubação e calagem ROLAS (2004) e os tratos culturais conforme a necessidade da cultura. O experimento foi desenvolvido em um solo tipo Cambissolo Húmico alúminico argiloso horizonte A moderado, com substrato composto de siltitos+argilitos descrito por (BERTOL, 1994). Com 421 g kg de argila, 437 g kg de silte e 142 g kg de areia (ALMEIDA et al., 2005) A densidade do solo foi determinada com a coleta de amostras com estrutura preservada, com cilindro extrator de 0,05 m de comprimento e 0,05 m de diâmetro forçado horizontalmente no perfil do solo, onde a estratificação foi feita diretamente no monolito extraído a cada 0,05 m. A densidade do solo foi determinada dividindo-se a massa de solo seco a 105 °C pelo volume da amostra.

A análise química das três camadas do solo é apresentada no Apêndice B.

A distribuição de chuvas no período em que foi conduzido experimento esta apresentada no Apêndice C.

O modelo estatístico utilizado foi: $y_{ij} = \mu + p_i + g(p)_j + e_{ij}$ onde: μ - efeito associado à média geral, p_i - efeito do i-ésimo nível do fator P (camada), $g(p)_j$ efeito do i-ésimo nível do fator G (população) aninhado em P (camada) e e_{ij} - efeito associado ao resíduo.

Frequentemente em muitas situações práticas, a variável resposta de interesse não assume uma distribuição normal. Por exemplo neste caso onde foi avaliada a distribuição do sistema radicular na escala binária (presença=1 e ausência=0 de raiz em cada quadrícula). Para esta distribuição de dados, Breslow e Clayton (1993) apresentaram uma abordagem unificadora dos modelos lineares generalizados ligando os princípios subjacentes do modelo linear generalizado misto (GLMM). O modelo linear generalizado misto assume que o modelo contém tanto parâmetros de efeitos fixos (p_i), quanto parâmetros de efeitos aleatórios ($g(p)_j$). Este modelo possui vantagem sobre os modelos mistos clássicos, pois possibilita fazer predição de efeitos aleatórios na presença de efeito fixo por meio do melhor preditor linear não-viesado (*Best Linear Unbiased Prediction* - BLUP). A correlação dos erros geralmente esta associada à posição relativa das unidades experimentais no espaço ou no tempo. Em muitas situações, é esperado que as unidades próximas tenham maior semelhança do que unidades distantes. Quando é avaliada a distribuição do sistema radicular em diferentes camadas no perfil do solo, tais camadas não são passíveis de casualização além de estarem muito próximas, de maneira que os erros tendem a estar correlacionados. Isto implica na violação da pressuposição da independência dos erros. Nestes casos para sanar esta

dificuldade, deve ser escolhida a estrutura da matriz G (matriz de variância e covariância) que melhor se ajuste ao modelo, assim os resultados das estimativas de BLUP se aproximarão de BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*). Dessa forma as matrizes de variância e covariância foram avaliadas conforme o critério de informação Akaike (AIC). A matriz que melhor se ajustou ao modelo para a predição das variáveis aleatórias foi a autoregressiva (Ar 1):

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \dots & \rho^{k-1} \\ & 1 & \rho & \dots & \rho^{k-2} \\ & & 1 & \dots & \vdots \\ & & & \ddots & \rho \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados na Tabela 1 correspondem aos valores das estimativas de distribuição radicular em três camadas estimados em escala logit e transformados para escala original entre zero e um.

São apresentadas as diferenças entre as três camadas ao nível de significância de 5% de probabilidade de erro. Analisando esta tabela pode ser observado que na camada de 0-10 cm a distribuição radicular não diferiu significativamente da camada 10-20 cm.

Para as demais comparações entre as camadas ocorreu diferença significativa. Este fato indica que os genótipos apresentam distribuição radicular similar nas duas primeiras camadas, porém não mantém na última camada avaliada (20-30 cm).

Tabela 1 Distribuição radicular em três camadas do solo estimadas em escala logit (Estimativa) e transformadas para escala original entre zero e um (Média); diferenças entre as estimativas de distribuição radicular por camada. UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

	Camada	Estimativa/Média	Pr> t 	Limite inferior	Limite superior
Distribuição	0-10	0,498/0622	0,079	-0,075	1,072
	10-20	-0,065/0,483	0,792	-0,631	0,500
	20-30	-1,299/0,214	0,001	-1,875	-0,723
Diferença	0-10 vs. 10-20	0,564	0,130	-0,204	1,331
	0-10 vs. 20-30	1,797	0,001	0,984	2,611
	10-20 vs. 20-30	1,233	0,006	0,464	2,00

Significativo a 5% Pr>|t| H₀=0.

Um dos fatores que reduz a distribuição radicular em profundidades maiores é devido à maioria dos programas de melhoramento, serem realizados em condições ótimas de cultivo, induzindo a seleção de plantas com sistema radicular com maior desenvolvimento na camada basal do solo. Em decorrência da maioria dos programas de melhoramento buscarem genótipos adaptados para produtores com alta tecnologia, o incremento do sistema radicular em profundidade maior do que 20 cm não é de grande relevância. Em tal sistema de cultivo as plantas não precisam explorar camadas do solo maiores do que 20 cm, pois nesta camada são depositados nutrientes e muitas vezes água por irrigação. Assim são selecionados apenas genótipos com sistema radicular capaz de explorar as camadas basais, pois é onde se encontra maior quantidade de nutrientes.

Entretanto genótipos com sistema radicular profundo, adaptados a solos com baixa disponibilidade de água, não são enfocados na seleção, pois até o momento não havia grandes prejuízos causados pela deficiência hídrica. O melhoramento do sistema radicular em profundidades maiores constitui um desafio para os melhoristas, de maneira que estes têm que buscar fontes de variabilidade genética em genótipos de ampla base genética, como por exemplo em Bancos de Germoplasma.

Outro fator que pode estar reduzindo a distribuição radicular na última camada é a presença de alumínio, tal elemento reduz o crescimento radicular. Também a redução da quantidade de nutrientes com o aumento da profundidade, além da redução da quantidade de matéria orgânica, o que pode aumentar a resistência a penetração das raízes (Apêndice B)

Os valores dos BLUPs (β) e as médias observadas (μO) de distribuição radicular dentro de cada camada, para os dezesseis genótipos avaliados são apresentados na Tabela 2. O método do BLUP tem a vantagem de prever as variáveis aleatórias do modelo com maior precisão quando comparado com outros métodos (RESENDE, 2001). Os valores de μO correspondem as médias observadas da distribuição radicular em escala de zero a um.

Através do método do BLUP fica fácil identificar dentro de cada camada, genótipos propícios para o avanço de gerações, de maneira que estes valores indicam quanto cada genótipo está contribuindo para a variação do sistema radicular. Os dados demonstram que os valores de BLUPs com sinal positivo correspondem aos maiores valores de (μO) de distribuição radicular (Tabela 2). De posse desses valores genéticos o melhorista pode selecionar genótipos que apresentam BLUPs com valores positivos.

Examinando a variação da distribuição do sistema radicular em todas as camadas (Figura 1), foi identificado que os genótipos que apresentam valores genéticos positivos mantiveram o valor positivo ao longo das três camadas. Se o interesse do melhorista for

augmentar o rigor na escolha de genótipos promissores, ele pode optar em avançar gerações apenas os genótipos com valores de distribuição radicular positivos e elevados. Na camada de 0-10 cm, por exemplo, os genótipos sete, dois e três apresentam efeito genotípico de valores positivos significativamente diferentes de zero (Tabela 2). Estes genótipos manifestam elevadas médias observadas de distribuição radicular (0,75, 0,69 e 0,68), seus valores de BLUP (β) 1,08; 0,78; 0,74 respectivamente, são superiores a média geral.

Tabela 2. Médias observadas (μO) e BLUPs (β) da distribuição radicular de dezesseis genótipos de feijão avaliados em três camadas no perfil do solo. UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Genótipos ¹	Camada					
	0-10		10-20		20-30	
	μO	β	μO	β	μO	β
1	0,46	-0,18	0,40	-0,40	0,49	-0,05
2	0,69	0,79*	0,68	0,77*	0,60	0,41
3	0,68	0,74*	0,57	0,26	0,71	0,87*
4	0,39	-0,43	0,45	-0,20	0,60	0,41
5	0,40	-0,41	0,45	-0,22	0,43	-0,28
6	0,60	0,39	0,64	0,58	0,58	0,31
7	0,75	1,08*	0,68	0,73*	0,57	0,29
8	0,65	0,61	0,65	0,64*	0,64	0,56
9	0,51	0,05	0,52	0,07	0,46	-0,18
10	0,33	-0,73*	0,31	-0,79*	0,40	-0,43
11	0,26	-1,03*	0,28	-0,97*	0,30	-0,86*
12	0,32	-0,73*	0,41	-0,35	0,42	-0,31
13	0,64	0,56	0,63	0,52	0,57	0,30
14	0,58	0,33	0,60	0,40	0,55	0,20
15	0,47	-0,11	0,44	-0,26	0,41	-0,39
16	0,37	-0,53	0,41	-0,39	0,32	-0,77*

¹Genealogia dos genótipos: 1 - BAF 07 x BAF 09; 2 - BAF 07 x BAF 50; 3 - BAF 07 x IPR Uirapuru; 4 - BAF 09 x BAF 07; 5 - BAF 09 x BAF 50; 6 - BAF09 x IPR Uirapuru; 7 - BAF 50 x BAF 07; 8 - BAF 50 x BAF 09; 9 - BAF 50 x IPR Uirapuru; 13 - IPR Uirapuru x BAF07; 14 - IPR Uirapuru x BAF09; 15 - IPR Uirapuru x BAF 50. Genitores: 10 - BAF 50; 11 - BAF 07; 12 - BAF 09; 16 - IPR Uirapuru

*Significativo a 5% $Pr > |t| H_0 = 0$.

Na camada 10-20 cm os genótipos sete e dois também apresentam desempenho superior a média geral ($\beta = 0,73$ e $0,77$) respectivamente. Porém na camada de (20-30 cm) como observado na figura 1 estes não apresentam desempenho satisfatório, pois sua

distribuição radicular apresenta pouca relevância comparativamente aos outros genótipos avaliados. Tiveram o sistema radicular reduzido na camada maior mesmo com o solo apresentando densidade de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$, igual nas três camadas. A habilidade das raízes penetrarem no perfil diminui quando a densidade e a resistência do solo aumentam (REINERT et al., 2008). Sugerindo que o menor desenvolvimento nas maiores camadas não foi inibido por fatores físicos do solo, mas sim influenciado por efeitos genéticos.

Estudos realizados demonstram que existem variações genéticas para a superficialidade do sistema radicular, ou seja, alguns genótipos respondem a estresses hídrico tornando mais superficiais enquanto outros não são afetados ou tornam-se mais profundos (SOUZA et al., 2009). Estes genótipos devem ser selecionados quando o objetivo do programa for criar cultivares com tolerância à deficiência de fósforo no solo. Por exemplo, genótipos com arquitetura de sistema radicular superficial, têm maior crescimento e produtividade quando cultivados em solos com baixo teor de fósforo, quando comparado com genótipos com arquitetura radicular profunda (HENRY et al., 2010). Este nutriente por ser praticamente imóvel no solo, o crescimento radicular é fundamental para a aquisição de fósforo (LYNCH e BROWN, 2001). Assim estes genótipos podem ser conduzidos, para desenvolver cultivares que sejam recomendadas para o cultivo em solos com deficiência em fósforo, ou produtores que não dispõem de elevados recursos para investir em adubação. Para regiões com restrição hídrica estes não devem ser recomendados, devido seu sistema radicular não alcançar zonas de maior profundidade onde a umidade se mantém por mais tempo.

Ainda na Tabela 2 pode ser observado que na camada de 20-30 cm, o genótipo 3 apresentou valor de BLUP significativamente diferente de zero e média de distribuição radicular com valor elevado (0,71). Este genótipo deve ser destacado por apresentar na camada maior, um bom desenvolvimento radicular perante os outros genótipos.

Tal característica proporciona a oportunidade de explorar as camadas mais profundas do solo, sendo esta uma característica fundamental para a tolerância ao estresse hídrico. Na cultura do feijão diversos experimentos demonstram que a tolerância à seca, tem sido associada com a profundidade de enraizamento (VIEIRA et al., 2008). A disponibilidade de água geralmente aumenta com a profundidade do solo em períodos de estiagem prolongada (HO et al., 2004). Mesmo com a perda de umidade do solo a planta sobrevive e completa seu ciclo de vida, principalmente por meio da captação de água através da raiz principal (SARKER et al., 2005). Esta característica é fundamental, pois a profundidade da raiz aumenta à medida que se restringe a irrigação (LYNCH, 2007).

O genótipo três por ter seu comportamento destacado na menor e na maior camada, pode ser conduzido no programa de melhoramento, quando o objetivo é desenvolver genótipos adaptados à solos de baixa fertilidade e com restrição hídrica. Um genótipo com sistema radicular superior em todas as camadas é desejado em termos de superação de períodos de estresses abióticos. Por outro lado selecionar genótipos com produção abundante de raízes em todas as camadas pode ser contraproducente, uma vez que os custos metabólicos de crescimento radicular e manutenção podem tornar um dreno significativo no investimento reprodutivo, especialmente em ambientes de baixa fertilidade (LYNCH 2007).

Os genótipos com elevada tolerância a estresses tanto hídrico como nutricional apresentam elevada estabilidade a mudança ambiental. Porém genótipos que apresentam comportamento regular entre os ambientes são em geral pouco produtivos, até mesmo em ambientes favoráveis (CRUZ e REGAZZI, 1997). A estabilidade de comportamento de um genótipo é a capacidade deste apresentar comportamento previsível em função das variações de ambientes (CRUZ e CARNEIRO, 2003). Assim estes genótipos devem ser recomendados para regiões com condições ambientais severas, ou regiões com inconstância no regime de chuvas e solos mal manejados.

Quando foram analisados todos os genótipos dentro de cada camada (Tabela 2) foi observado que nas camadas menores ocorreu maior variação da distribuição do sistema radicular. Ou seja, na camada 0-10 cm seis genótipos apresentaram diferença significativa da média geral, enquanto que na camada 20-30 cm três genótipos apresentaram diferença significativa da média geral e apenas um com valor positivo. Este fato evidencia que possivelmente existe pouca variabilidade genética para a distribuição radicular na camada maior. Em tal circunstância o melhorista tem maior dificuldade em selecionar plantas com desenvolvimento radicular superior nas camadas profundas, adaptadas a solos com baixa disponibilidade hídrica.

A existência de variabilidade genética em um programa de melhoramento é um fator primordial para que se consiga encontrar plantas com a característica de interesse. A base genética restrita no melhoramento de plantas restringe e até mesmo inviabiliza a criação de novos cultivares (COIMBRA et al., 2004).

O desempenho da progênie em relação aos genitores permite obter informações sobre o tipo de ação gênica que está atuando em determinado caráter. Na tabela 3 são apresentados os contrastes não ortogonais de cada genótipo em relação aos seus genitores em cada camada. Analisando esta tabela pode ser observado que a maioria dos genótipos foram superiores frente aos seus genitores ($p=0,05$).

Estes dados indicam que os genitores têm a capacidade de incorporar alelos que incrementam a distribuição do sistema radicular proporcionando heterose em suas progênes. A manifestação da heterose depende dos genitores terem ou não genes para a determinada característica em sua constituição genética. Quando tais genes são transmitidos para a progênie, esta pode apresentar grande superioridade frente aos genitores. Na prática isto é muito importante, pois demonstra que os genitores escolhidos têm a capacidade de incrementar esta característica, assim o melhorista não despenderá tempo e dinheiro com genitores que não incrementam a característica de interesse conforme o desejado.

O ganho por heterose proporcionado pela combinação dos genitores é devido à realização de um bom trabalho prévio onde foram escolhidos os melhores genitores frente uma gama maior de genótipos. A manifestação de heterose neste caso pode ser explicada por estes genótipos estarem numa geração altamente segregante (F_2). Segundo (ALLARD, 1999) a redução da heterose de um indivíduo diplóide pode chegar até cerca de 50% na geração F_2 para algumas espécies, e vai reduzindo com o avanço das gerações de autofecundação.

O termo heterose foi proposto por Shull (1908) para descrever o fenômeno da superioridade da F_1 frente aos pais. Este fenômeno tem proporcionado uma grande melhoria na produtividade das plantas sendo extensivamente explorado na produção agrícola (BIRCHLER, 2003). As bases genéticas da heterose são explicadas por genes principalmente de caráter não aditivo, devido a: *i*) Dominância: é a não expressão de alelos recessivos deletérios na presença de alelos dominantes benéficos na F_1 oriundos de dois pais. Sendo que o número médio de locus de heterozigotos recessivos na F_1 é menor do que em cada pai. Portanto a F_1 produzida a partir de um determinado cruzamento possui caracteres superiores por causa da contribuição dos alelos benéficos dominantes oriundos dos pais, que inibem o efeito de alelos recessivos prejudiciais (BUDAK et al., 2002).

ii) Sobredominância: Esta hipótese é justificada por o indivíduo heterozigoto ser superior ao homozigoto ou seja, a F_1 é melhor que seu melhor pai, porém a descendência por autofecundação deste indivíduo será inferior ao próprio indivíduo. A heterose explicada pela sobredominância é causada pela complementação de alelos contrastantes em cada locus, que provocam a superioridade da característica em relação ao locus com apenas um tipo de alelo (PARVEZ, 2006).

A manifestação da heterose proporciona grandes incrementos de produtividade, porém é justificada apenas em espécies em que a produção de sementes híbridas é economicamente viável, como em várias espécies alógamas. Em espécies autógamas como o feijão, a ação

gênica não aditiva atualmente não é viável, pois não são produzidas sementes híbridas em escala comercial.

Tabela 3. Contrastes entre cada genótipo com seus respectivos genitores em cada camada, médias observadas (μO) e BLUPs (β) da distribuição radicular UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Genótipos ¹	Genitores	Camada (cm)						
		0-10		10-20		20-30		
		μO	β	μO	β	μO	β	
1	vs	11	0,701	0,856*	0,639	0,569*	0,691	0,806*
1	vs	12	0,635	0,556*	0,488	-0,047	0,564	0,258
4	vs	12	0,575	0,303	0,539	0,155	0,671	0,716*
4	vs	11	0,646	0,602*	0,684	0,772*	0,779	1,265*
2	vs	11	0,860	1,818*	0,850	1,735*	0,779	1,260*
2	vs	10	0,819	1,512*	0,826	1,556*	0,696	0,832*
7	vs	10	0,858	1,803*	0,821	1,522*	0,672	0,720*
7	vs	11	0,891	2,110*	0,846	1,702*	0,759	1,148*
8	vs	10	0,792	1,340*	0,806	1,426*	0,728	0,988*
8	vs	12	1,347	1,347*	0,729	0,988*	0,704	0,868*
5	vs	12	0,581	0,327	0,533	0,131	0,507	0,028
5	vs	10	0,579	0,320	0,638	0,568*	0,537	0,148
3	vs	11	0,854	1,771*	0,774	1,233*	0,848	1,724*
3	vs	16	0,780	1,266*	0,657	0,649*	0,837	1,637*
13	vs	16	0,747	1,084*	0,712	0,907*	0,744	1,068*
13	vs	11	0,830	1,589*	0,816	1,491*	0,760	1,154*
6	vs	12	0,755	1,128*	0,717	0,928*	0,650	0,621*
6	vs	16	0,715	0,923*	0,723	0,961*	0,747	1,082*
14	vs	16	0,703	0,862*	0,688	0,789*	0,725	0,969*
14	vs	12	0,744	1,067*	0,681	0,756*	0,624	0,507
9	vs	10	0,685	0,780*	0,704	0,864*	0,562	0,251
9	vs	16	0,641	0,582*	0,613	0,459	0,644	0,592
15	vs	16	0,604	0,422	0,532	0,127	0,594	0,383
15	vs	10	0,650	0,620*	0,630	0,532*	0,510	0,041

¹Genealogia dos genótipos: 1 - BAF 07 x BAF 09; 2 - BAF 07 x BAF 50; 3 - BAF 07 x IPR Uirapuru; 4 - BAF 09 x BAF 07; 5 - BAF 09 x BAF 50; 6 - BAF09 x IPR Uirapuru; 7 - BAF 50 x BAF 07; 8 - BAF 50 x BAF 09; 9 - BAF 50 x IPR Uirapuru; 13 - IPR Uirapuru x BAF07; 14 - IPR Uirapuru x BAF09; 15 - IPR Uirapuru x BAF 50. Genitores: 10 - BAF 50; 11 - BAF 07; 12 - BAF 09; 16 - IPR Uirapuru

* Significativo a 5% $Pr>|t| H_0=0$.

Dessa forma, como o objetivo final deste trabalho é a obtenção de linhagens homocigotas superiores para o caráter sistema radicular, a predominância de genes de ação aditiva é fundamental para garantir o sucesso da seleção, uma vez que a ocorrência do vigor híbrido para o caráter sistema radicular de feijão nas gerações iniciais, pode não ser mantido em gerações avançadas. As combinações que apresentam melhores desempenhos em gerações iniciais, ou seja, aquelas que apresentam melhor capacidade específica de combinação, terão maior probabilidade de serem superiores nas gerações seguintes em comparação com as progênies de desempenho inferior em gerações iniciais (MIRANDA et al., 2008).

Analisando a Figura 1 pode ser visualizado que os genitores BAF 07 e BAF 50 estiveram presentes nos cruzamentos que originaram genótipos promissores (2 – BAF 07 x BAF 50, 3 - BAF07 x IPR Uirapuru, 7 – BAF 50 x BAF 07, 8 – BAF 50 x BAF 09 e 13 - IPR Uirapuru x BAF 07), indicando que estes genitores proporcionam elevada heterose nos genótipos, além de ter capacidade de aumentar a penetrância e expressividade dos alelos que controlam a distribuição radicular em seus descendentes. Estes genitores devem ser indicados para cruzamentos quando o objetivo é incrementar a distribuição do sistema radicular.

Os genitores podem estar contribuindo para o aumento da heterose, por apresentarem características peculiares como, por exemplo (Apêndice D), o BAF 07 é do grupo comercial preto, é o único genitor avaliado que apresenta hábito de crescimento tipo III, tem ramos longos e grande parte aérea. O genótipo BAF 50 pertencente ao grupo carioca, porém apresenta hábito de crescimento tipo II como os outros dois genitores.

Estas características distintas fazem com que estes genótipos quando cruzados evidenciem uma complementação gênica. Assim possivelmente estes dois grupos possuem alelos contrastantes, de maneira que esta diferença pode estar aumentando a heterose para o sistema radicular nos genótipos. Segundo Pandini et al. (2002) para ocorrer a superioridade dos filhos frente aos pais é necessário existir a complementação dos alelos dos pais, sendo que esta característica é conseguida em cruzamento de pais contrastantes. Tal fato pode ser elucidado quando observado na Figura 1. Os genótipos dois e sete originários dos genitores BAF 07 e BAF 50, sendo estes genótipos superiores aos demais, comprovando o incremento na heterose proporcionado por genótipos contrastantes.

Quando analisado na Tabela 3 o contraste de todos os genótipos com seus respectivos genitores, foi observada uma elevada superioridade dos genótipos frente aos seus genitores revelando elevada heterose. Entretanto quando analisada a ocorrência da heterose dentro de cada camada, esta não se manifestou na mesma proporção em cada camada, pois foi inferior

para as camadas maiores. Esta informação é observada através do contraste de cada genitor com suas progênes dentro de cada camada.

Na camada 0-10 cm, vinte genótipos apresentam diferença significativa ($p=0,05$) de seus genitores, enquanto que na camada 20-30 cm dezesseis genótipos apresentam diferença significativa de seus genitores.

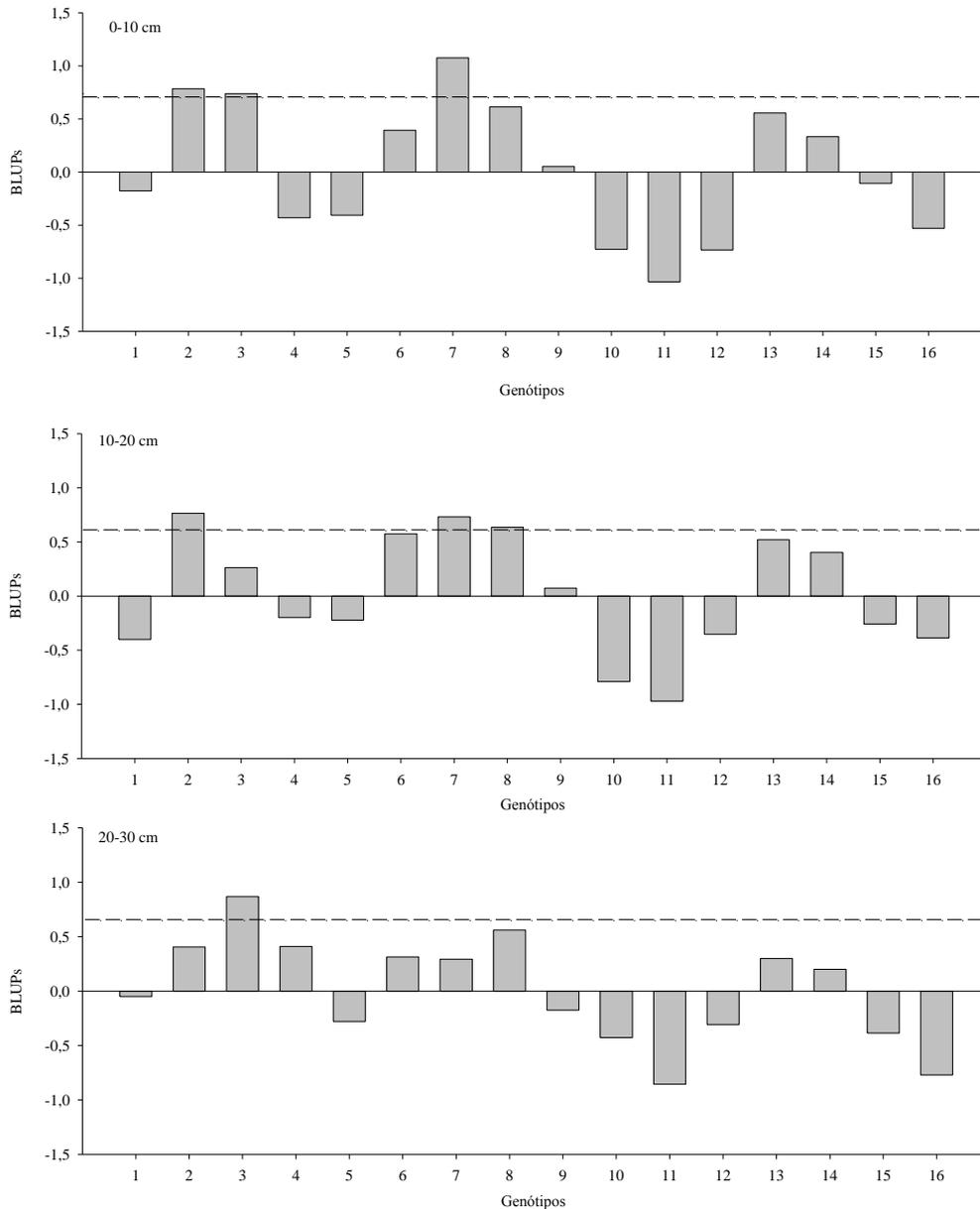


Figura 1 Comportamento da distribuição radicular de doze genótipos e quatro genitores em três camadas estimadas pelo BLUP. UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Genealogia dos genótipos: 1 - BAF 07 x BAF 09; 2 - BAF 07 x BAF 50; 3 - BAF 07 x IPR Uirapuru; 4 - BAF 09 x BAF 07; 5 - BAF 09 x BAF 50; 6 - BAF09 x IPR Uirapuru; 7 - BAF 50 x BAF 07; 8 - BAF 50 x BAF 09; 9 - BAF 50 x IPR Uirapuru; 13 - IPR Uirapuru x BAF07; 14 - IPR Uirapuru x BAF09; 15 - IPR Uirapuru x BAF 50. Genitores: 10 - BAF 50; 11 - BAF 07; 12 - BAF 09; 16 - IPR Uirapuru

Valores acima da linha tracejada apresentam diferença significativa da média geral a 5% $Pr>|t| H_0=0$.

Indicando que na camada menor houve maior ocorrência de superioridade dos genótipos frente aos seus genitores, do que na camada maior. Tais cruzamentos não proporcionam uma complementação gênica favorável para incrementar o sistema radicular nas camadas abaixo de 20 cm de camada.

Deste modo para serem alcançados melhores ganhos por seleção para o aumento da profundidade do sistema radicular, a solução é buscar novas fontes de variações, como por exemplo, cultivares crioulas oriundas de diferentes regiões, que contenham variabilidade genética para incrementar as raízes nas camadas abaixo de 20 cm. Sarker et al. (2005) detectou que as maiores variações entre o sistema radicular de linhagens crioulas de lentilha, ocorrem quando os centros de origem são de países de regiões geográficas diferentes, como os de latitude sul e mediterrânea.

2.6 CONCLUSÃO

Os genótipos propícios para o avanço de gerações são: dois, sete e três para camada até 20 cm e 3 para a camada até 30 cm.

O cruzamento entre os genitores BAF 07 (grupo preto) e BAF 50 (grupo carioca) apresentou ampla divergência genética, proporcionando incremento significativo do sistema radicular nas suas progênes avaliadas.

A seleção de genótipos superiores na camada de 20-30 cm é limitada, pois a maioria dos genótipos apresenta distribuição similar e pouco destacada.

Em virtude do elevado efeito do componente de dominância ocorreu heterose para a distribuição radicular em gerações iniciais, tal fato pode dificultar a seleção em espécies autógamias para o caráter.

3. CAPÍTULO II: CORRELAÇÃO FENOTÍPICA ENTRE DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E CARACTERES DA PARTE AÉREA DO FEIJÃO

3.1 RESUMO

O feijão é uma cultura extremamente sensível a deficiência hídrica, sendo que atualmente esta vem ocorrendo com maior frequência, reduzindo a produtividade. A tolerância a esta deficiência pode ser conseguida através do melhoramento do sistema da cultura. O objetivo deste trabalho foi identificar a correlação fenotípica e seus efeitos diretos e indiretos dos caracteres da parte aérea que apresentam maior correlação com a distribuição radicular, visando facilitar a seleção indireta para este caráter. As avaliações foram realizadas em genótipos segregante (F_2) de feijão oriundos do cruzamento em dialélo completo de três acessos pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Feijão do IMEGEM/UEDESC: (BAF 07, BAF 09, BAF 50 e um cultivar comercial IPR Uirapuru). A avaliação do sistema radicular foi realizada pelo do método do perfil descrito por Bohm (1979) em três camadas (0-10; 10-20 e 20-30 cm) com contagem de forma binária. Os componentes da parte aérea foram avaliados quando as plantas atingiram o ponto de colheita. As correlações foram realizadas através da análise canônica e de trilha particionadas em efeito direto e indireto. Os caracteres diâmetro do caule, estatura de planta e inserção do primeiro legume por apresentarem as maiores correlações positivas com a distribuição radicular podem auxiliar na seleção indireta. Os baixos valores dos coeficientes de determinação indicam que o melhorista não deve basear-se apenas na seleção indireta para obter genótipos com sistema radicular superior. A seleção de plantas visando aumento da distribuição radicular e produção de grãos concomitantemente não é viável, uma vez que plantas com alta produção de grãos tendem a apresentar menor distribuição radicular. As populações avaliadas não apresentam relação completa entre seus caracteres, de maneira que a seleção indireta apenas por caracteres isolados não garante resultados promissores na seleção de plantas.

Palavras-chave: Análise de trilha; *Phaseolus vulgaris* L.; seleção indireta

3.2 ABSTRACT

The Bean is a culture extremely sensitive to water stress and this has been happening more frequently, causing reduce in the productivity. The tolerance of this deficiency can be achieved by improving the culture system. The objective of this study was to identify the phenotypic correlation and yours direct and indirect effects aerial part characters that shows the highest correlation with the root distribution, to facilitate the indirect selection for this character. The evaluations were carried out in segregating genotypes (F_2) of beans from the crossing in full diallel of the three accessions at Active Germplasm Bank of the Bean IMEGEM / UDESC: (BAF 07, BAF 09, BAF 50 and a commercial cultivar IPR Uirapuru). The root system evaluation was carried out by Bohm method (1979) in three depths (0-10, 10-20 and 20-30 cm) with counting in binary form. The components of the aerial part were evaluated when the plants reached the point of harvest. Correlations were performed by canonical analysis and path analysis, partitioned in direct and indirect effects. The characters stem diameter, plant height and first pod insertion for having the highest correlation with the root distribution may help in the indirect selection. The low coefficients of determination indicate that the breeder should not be based only on indirect selection to get genotypes with higher root system. Under the conditions of this work, the selection of plants in order to increase the root distribution and yield concurrently has not feasible, since plants with high production of grains tend to have smaller root distribution. The genotypes evaluated not shows a complete list between yours characters, the way that indirect selection only by single characters does not guarantee good results in the selection of plants.

Key words: Path analysis; *Phaseolus vulgaris* L.; Indirect selection

3.3 INTRODUÇÃO

O constante incremento de produtividade das espécies cultivadas tem sido o principal responsável por atender à demanda crescente de alimentos e de outros produtos agrícolas, inclusive o feijão (TORGA et. al., 2010). Dessa maneira a preocupação em melhorar geneticamente as culturas para que estas sejam adaptáveis e mais produtivas nas diversas formas de ambientes, é de fundamental importância para garantir a sobrevivência e o bem estar da população humana.

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em Santa Catarina tem grande importância para a economia do estado, é alternativa de renda para os produtores rurais. Segundo dados da CONAB, (2010), na safra agrícola 2009/10 a área cultivada com feijão no estado foi de aproximadamente 104 mil ha, obtendo uma produção total de 160,5 mil toneladas. Porém esta área expressiva da cultura vai de encontro com as variações pluviométricas, que vem se intensificando ocasionando seca em várias regiões de cultivo. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, (2012) em Santa Catarina na última safra (2011/2012) a área cultivada aumentou 4% em relação a safra passada, porém a previsão da produção é de 0,7% inferior a última safra, atribuída a redução do volume de chuvas ocorridos principalmente na região sul do Brasil. Tornando assim, esta cultura muito sensível a deficiência hídrica. Estima-se que cerca de 60% da produção mundial de feijão é cultivada sob risco de seca parcial ou terminal (BEEBE et. al., 2008).

Desta maneira torna-se imprescindível a criação de cultivares tolerantes a deficiência hídrica. Os genótipos com sistema radicular abundante e profundo são melhores adaptados a condições de deficiência hídrica terminal (HO et. al., 2005). É necessária a avaliação e melhoria deste caráter nos programas de melhoramento. Para identificar cultivares mais tolerantes a estresses abióticos a alternativa disponível, e cuja a eficiência já é comprovada, é avaliar as progênies e/ou cultivares nas condições em que os cultivos serão realizados (RAMALHO et. al., 2009). Qualquer técnica a ser utilizada para obter plantas mais tolerantes ao estresse, a etapa de avaliação a campo é fundamental para a obtenção do cultivar superior (GOODMAN, 2004). A avaliação do sistema radicular com abertura de trincheiras consiste em um método que representa as condições reais de cultivo, além de não ocasionar a morte da planta, o que permite a realização de outras avaliações posteriores como os componentes do rendimento e a obtenção da progênie da planta avaliada.

Entretanto a avaliação do sistema radicular através da abertura de trincheiras a campo, consiste em um método com maior dispêndio de mão de obra quando comparado com a avaliação em casa de vegetação, o que torna reduzido o número de estudos a campo, principalmente correlacionando com a parte aérea.

No estado de Santa Catarina a ocorrência de seca é alternada, tornando muitas vezes a seleção a campo de plantas com sistema radicular superior equivocada em anos que não ocorre deficiência hídrica (seca). Assim faz necessário o estudo dos caracteres da parte aérea que apresentam maior correlação com o desenvolvimento radicular em anos de condições hídricas normais, visando facilitar a seleção indireta de plantas a campo em gerações segregantes.

Nesse contexto pode ser utilizado a análise de trilha, uma vez que permite o desdobramento das correlações lineares simples entre os caracteres nos seus efeitos diretos e indiretos e com isso, pode elucidar o entendimento das relações de causa e efeito, entre as variáveis estudadas (SANTOS et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi identificar a correlação fenotípica e seus efeitos diretos e indiretos dos caracteres da parte aérea que apresentam maior correlação com a distribuição radicular, visando facilitar a seleção indireta para este caráter.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado utilizando dados do programa de melhoramento do Instituto de Melhoramento e Genética Molecular (IMEGEM) da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC que tem por objetivo melhorar o sistema radicular do feijão visando criar cultivares tolerantes a deficiência hídrica comparativamente com as cultivares já existentes. Foram avaliados genótipos na geração segregante F_2 juntamente com seus respectivos genitores.

Os genótipos segregantes são oriundos do cruzamento de três acessos pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Feijão do IMEGEM/UDESC: (BAF 07, BAF 09, BAF 50 e um cultivar comercial IPR Uirapuru). Tais genótipos foram escolhidos perante uma gama de genótipos pelo seu alto desempenho agrônomico e distribuição radicular promissor.

Os quatro genitores foram cultivados em vasos em casa de vegetação. Estes foram cruzados num esquema de dialelo completo para a obtenção dos híbridos F_1 e seus recíprocos. Os cruzamentos foram efetuados segundo a metodologia de Vieira (1967).

Na safra agrícola seguinte (2009/10), foi avaliada a distribuição radicular dos híbridos F_1 , seus recíprocos e genitores, pelo método descrito Bohm (1979). Estes foram conduzidos a campo em esquema de blocos casualizados, cada unidade experimental foi composta de três linhas de um metro de comprimento, espaçadas 0,45 m e densidade de semeadura de dez sementes por metro linear.

Na safra agrícola 2010/11 as sementes F_2 provenientes dos híbridos F_1 e seus recíprocos, que constituem doze populações segregantes e quatro genitores, foram semeadas a campo em linhas de seis metros lineares espaçadas de 0,45m e densidade de 4 sementes por metro linear. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados. Em cada população segregante foi avaliado a distribuição radicular de oito a doze plantas que

apresentaram desempenho agrônômico superior. Em cada genótipo fixo (genitores) foram amostradas quatro plantas.

A avaliação do sistema radicular para todas as plantas avaliadas foi realizada conforme o método descrito por (BOHM, 1979). Quando as plantas estavam no pleno florescimento foi aberto um perfil paralelo a linha de semeadura 0,05 m das plantas, sendo que as raízes foram expostas com uma ferramenta pontiaguda, após foi colocado um retângulo de 0,3 m de altura por 0,5 m de lado dividido em quadrículas de 0,05 m de lado. Para capturar a imagem da distribuição radicular foi utilizada uma câmera digital posicionada a 0,6 m da quadrícula. Através da imagem, foi avaliada a distribuição radicular pela observação da presença (1) ou ausência (0) de raiz em cada quadrícula. Após a avaliação do sistema radicular as trincheiras foram fechadas e as plantas completaram o seu ciclo.

Quando as plantas F_2 e genitores (cujo sistema radicular foi avaliado) atingiram o ponto de colheita, foram levadas para laboratório onde foram avaliados os componentes da parte aérea separadamente das 118 plantas avaliadas, sendo estes: altura de inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de sementes por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS) e as sementes foram guardadas separadamente para serem semeadas na safra seguinte.

Todas as etapas foram conduzidas na área experimental do (IMEGEM) da UDESC na cidade de Lages – SC, em um Cambissolo Húmico. A adubação foi realizada de acordo com a recomendação do manual da Comissão de química e fertilidade do solo (2004).

As análises foram realizadas com o auxílio dos softwares GENES (CRUZ, 2001) e SAS 9.1 (SAS INSTITUTE, 2008). As estimativas das correlações fenotípicas e canônicas foram obtidas e particionadas em efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha conforme os procedimentos descrito por (CRUZ e REGAZZI, 1997). O caráter distribuição radicular (DR) foi considerado como principal, sendo este composto pelos componentes primários: diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP) e os componentes secundários: inserção do primeiro legume (INC), estatura da planta (EST), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de sementes por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos coeficientes de correlação simples ou fenotípicas, avaliados para nove caracteres para as populações segregantes e quatro genitores fixos de feijão, são apresentadas na Tabela 4. Para garantir maior confiabilidade aos dados, os valores dos coeficientes de correlação foram reamostrados pelo método de Bootstrap com 10000 simulações. Através deste método, pode-se criar uma distribuição de amostragem real empírica de estimativas de coeficientes de correlação a partir de simulações e daí construir intervalos de confiança o que proporciona maior credibilidade aos dados (HAIR et. al., 2005).

Tabela 4. Coeficientes de correlação fenotípica reamostrados com 10000 simulações pelo método de Bootstrap, entre os caracteres altura de inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS), distribuição radicular (DR). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Caráter	INC	DC	EST	NLP	SPP	PGP	NGL	PMS	DR
INC	1	0,39*	0,34*	-0,04	0,00	-0,07	0,23	-0,23	0,61*
DC		1	0,27*	0,73*	0,75*	0,74*	0,14	-0,32	0,49*
EST			1	0,35*	0,48*	0,41*	0,44	-0,43	0,32*
NLP				1	0,95*	0,91*	-0,13	-0,46	0,09
SPP					1	0,97*	0,14*	-0,50	0,14
PGP						1	0,13*	-0,28	0,22
NGL							1	-0,26*	0,33
PMS								1	0,14
DR									1

*Significativo a 5% $Pr>|t| H_0=0$.

A magnitude dos coeficientes de correlação fenotípica para todos os caracteres avaliados variou de 0,04 a 0,97. O conhecimento do grau de associação entre caracteres agronômicos é de grande importância para os melhoristas, principalmente porque a seleção sobre determinado caráter pode alterar o comportamento do outro (COIMBRA et. al.; 2004).

Os valores estimados para os caracteres fenotípicos e significativos pelo teste *t*, para a correlação com a distribuição radicular (DR) foram: inserção do primeiro legume (INC 0,61), diâmetro do caule (DC 0,49) e estatura de planta (EST 0,32). Estas variáveis contribuem de maneira significativa para o aumento da distribuição radicular entre os genótipos de feijão. Evidenciando que a planta incrementa os componentes vegetativos da parte aérea juntamente com o sistema radicular, esta característica é vantajosa para a seleção a campo uma vez que é fácil selecionar plantas com maior estatura.

O caráter peso de grãos PGP, de maior importância econômica, não apresentou correlação linear significativa com DR. Esta pode ser uma vantagem, uma vez que isto possibilita a modificação do sistema radicular sem alterações significativas na produtividade. Entretanto o PGP apresenta grande dependência e correlação significativa com os outros caracteres avaliados. Este caráter apresenta correlação significativa com os componentes do rendimento de grãos: número de legumes por planta (NLP) (0,91), sementes por planta (SPP) (0,97). O caráter peso de mil sementes (PMS) apresenta correlação negativa (-0,28), ou seja, o peso de mil sementes não influencia positivamente na produtividade. Tal resultado pode ser explicado pelo fato do número de sementes por planta estar correlacionado positivamente com PGP, de maneira que a maioria das plantas apresentam o atributo fisiológico de reduzir o peso unitário das sementes quando estas aumentam em quantidade na planta.

A análise de correlação canônica é uma técnica estatística multivariada que permite examinar a estrutura da relação existente entre dois grupos de variáveis (X e Y), isto é, mede a existência e a intensidade de associação entre os grupos, compostos por combinações lineares dos vários caracteres que os constituem (RIGÃO et. al., 2009). Os caracteres PGP e DR são os que apresentam maior importância para o programa de melhoramento do IMEGEM, uma vez que este busca genótipos com elevada produtividade de grãos e maior distribuição radicular para tolerância a deficiência hídrica. Assim estes dois caracteres foram separados no grupo I para que possamos analisar quais caracteres do grupo II estão tendo maior influência sobre estes componentes de maior importância. Por meio da análise de correlação canônica é possível separar os caracteres em dois grupos e estimar quais caracteres do grupo II apresenta maior influência sobre os caracteres do grupo I. Neste sentido os caracteres de maior importância para o programa de melhoramento do IMEGEM foram separados no grupo I: (PGP e DR); e os caracteres de efeito secundário no (grupo II).

Na Tabela 5 são apresentados os coeficientes de correlação e os pares de correlações canônicas de DR e PGP com os demais caracteres que compõem DR e PGP. As duas correlações canônicas foram significativamente diferente de zero, em nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste qui-quadrado, conseqüentemente as correlações são verdadeiras, sendo os dois pares canônicos de interesse de estudo. Pelos coeficientes do primeiro par de correlação canônica fica evidenciado que plantas com maior SPP e PMS, caracteres do grupo II, proporcionam incremento no PGP e DR (caracteres do grupo I). Ou seja, para conseguir plantas com maior produtividade e distribuição radicular é necessário selecionar plantas com maior número de sementes por planta e com maior peso de mil sementes. Por outro lado, plantas com maior produtividade e maior distribuição radicular

apresentam menor NLP e INC sendo esta uma característica indesejável uma vez que plantas com baixa INC pode acarretar na perda da qualidade fitossanitária das sementes, uma vez que legumes com baixa inserção na planta podem entrar facilmente em contato com patógenos no solo. Assim, nesta geração segregante não é uma boa alternativa selecionar plantas com baixa inserção do primeiro legume, uma alternativa é avançar geração e avaliar novamente o comportamento. Como segunda opção pode ser realizado cruzamento com genótipos que apresentam elevada penetrância para aumentar a inserção do primeiro legume.

Por meio do segundo par de correlação canônica pode ser observado uma relação inversa entre PGP e DR, de maneira que quando aumenta a distribuição radicular reduz o peso de grãos por plantas. Os caracteres do grupo II que proporcionam maior incremento na distribuição radicular são INC, DC e EST. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bizari et al. (2010), onde constataram correlação linear entre altura de plantas e massa seca da parte aérea com a distribuição radicular.

Tabela 5. Correlações canônicas e pares canônicos estimados entre Grupo I: peso de grãos por planta (PGP), distribuição radicular (DR) e Grupo II: inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), número de sementes por planta (SPP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Caracteres	Pares canônicos	
	1º	2º
	Grupo I	
DR	0,02	1,01
PGP	0,99	-0,15
	Grupo II	
INC	-0,01	0,51
DC	0,07	0,57
EST	0,02	0,43
NLP	-0,10	-0,87
SPP	1,03	0,16
NGL	0,01	0,15
PMS	0,26	0,00
r	1,00*	0,36*
Significância	<0,01	<0,01

*Significativo pelo teste qui-quadrado ($H_0: P=0$ correlações são nulas; $H_1: P\neq 0$)

Por outro lado, ao selecionar plantas com elevada inserção do primeiro legume, maior diâmetro do caule e estatura de planta, o melhorista pode estar selecionando plantas com menor produção de grãos.

O caráter NLP (-0,87) é determinante para a redução da produção de grãos por planta. Fato também constatado por Coimbra et al. (2000), onde observaram alta correlação entre estes caracteres. Ao selecionar plantas com menor número de legumes por planta pode reduzir a produção total de grãos. Entretanto este caráter apresentou comportamento contrário a NGL (0,15), sugerindo que ao selecionar para maior NGL reduz NLP, cabe ao melhorista decidir em qual destes caracteres deve priorizar a seleção para que resulte em maior produtividade.

Tal fato revela que a seleção simultânea indireta para aumento do sistema radicular e produtividade concomitantemente é dificultada, uma vez que a planta quando prioriza o aumento da distribuição radicular, reduz o transporte de fotoassimilados para os componentes do rendimento de grãos. Esse tipo de resposta pode estar associado a um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, haja vista que em condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas investem mais biomassa no sistema radicular, objetivando aumentar a capacidade de absorção de nutrientes (CORREIA e NOGUEIRA, 2004). Em condições de suprimento hídrico ideal a planta não precisa de raízes de grande porte. Sob condições onde os recursos do solo são escassos, uma raiz potencialmente grande é necessária para garantir a captação desses recursos, no entanto esta forma pode representar um maior consumo energético da planta reduzindo o potencial de rendimento (BLUM, 2005). Entretanto existem genótipos que mesmo em condições hídricas ideais para a cultura, apresentam sistema radicular superior refletindo na redução da produção de grãos.

O coeficiente de correlação mede exclusivamente relações lineares, porém não informam a respeito das verdadeiras relações de causa e efeito entre as variáveis explicativas e a principal (CRUZ e REGAZZI, 1997). Para Ramalho et al. (1993), a correlação entre caracteres é um parâmetro muito importante, pois permite aos melhoristas conhecer as modificações que ocorrem em um determinado caráter em função da seleção praticada em outro correlacionado a ele. Caracteres com alta correlação com a variável básica, mas com efeito direto em sentido desfavorável, indicam ausência de causa e efeito, ou seja, o caráter auxiliar não é o principal determinante das alterações na variável básica, existindo outros que poderão proporcionar maior impacto em termos de ganho de seleção (CRUZ e REGAZZI, 1997). Por isto procedeu-se a análise de trilha a qual investiga a relação de causa-efeito e fornece quantidades denominadas coeficientes de trilha (COIMBRA et. al., 2004).

Na Tabela 6 são apresentadas as estimativas obtidas pela análise de trilha dos efeitos diretos e indiretos, dos caracteres primário que estão influenciando DR. Para fins de melhoramento, é importante identificar dentre as características de alta correlação com a variável básica, aquelas de maior efeito direto, no sentido favorável à seleção, de tal forma, que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (SEVERINO et. al., 2002). Com o objetivo de facilitar a seleção indireta a campo os caracteres DC, EST e NLP por serem de fácil avaliação a campo, foram considerados como efeito direto e os demais como indiretos. Analisando as estimativas dos efeitos diretos das variáveis primárias fica evidente que DC (0,32) e EST (0,17) promovem os maiores efeito direto em DR, suas estimativas se aproximam aos seus coeficiente de correlação (0,25) e (0,24) respectivamente.

Tabela 6. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários, estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), diâmetro do caule (DC) sobre o caráter distribuição radicular (DR). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Caráter	Vias de associação	Estimativa
DC	Efeito direto sobre DR	0,32
	Efeito indireto via EST	0,08
	Efeito indireto via NLP	-0,15
	TOTAL	0,25
EST	Efeito direto sobre DR	0,17
	Efeito indireto via DC	0,14
	Efeito indireto via NLP	-0,07
	TOTAL	0,24
NLP	Efeito direto sobre DR	-0,21
	Efeito indireto via DC	0,23
	Efeito indireto via EST	0,06
	TOTAL	0,09
Coeficiente de determinação (R ²)		0,11
Efeito residual		0,95

De modo geral, se a estimativa do coeficiente de correlação fenotípica entre o caráter principal e os outros caracteres avaliados apresenta um valor próximo ao seu efeito direto tanto em magnitude quanto no seu sinal, esta correlação pode explicar sua autêntica associação existente (VALE et al., 2009). Os coeficientes de distribuição podem ser

considerados como intermediários. Rodrigues et al. (2010), encontraram coeficientes de correlação acima de 60% considerando este como alto.

A distribuição do sistema radicular apresentou correlação positiva com a estatura e o diâmetro do caule, indicando que ocorre aumento da DR a medida que aumenta a parte aérea. Subbarao et al. (1995) trabalhando em regime de deficiência hídrica, constatou que a planta aumenta o sistema radicular e reduz a parte aérea, ocorrendo correlação negativa entre os dois caracteres. No ano agrícola em que foi desenvolvido o presente trabalho, segundo dados da estação meteorológica do CAV/UEDESC – Lages – SC (Apêndice C), não houve ocorrência de deficiência hídrica no período do ciclo vegetativo da cultura período. As safras onde as condições climáticas não ocasionam deficiência hídrica, as plantas tendem a apresentar comportamento diferenciado de safras com deficiência hídrica. As plantas em ambientes com abundância de recursos tendem a distribuir os fotoassimilados uniformemente, tanto para a parte aérea quanto para o sistema radicular proporcionando maior crescimento vegetativo. Tal relação de crescimento é controlada pelos níveis normais de ácido abscísico que está diretamente envolvido no controle de crescimento da raiz e parte aérea (TAIZ e ZEIGER, 2006). Os autores Sousa e Lima (2010) trabalhando com vários níveis de deficiência hídrica em feijão constataram que em maior deficiência hídrica o sistema radicular aumenta e a parte aérea reduz, porém em condições hídricas normais a correlação entre raiz e parte aérea pode ser nula. Entretanto, para alguns genótipos, o índice de área foliar não tem correlação significativa com a distribuição radicular independente da profundidade (ROCHA et. al., 2010). Tal fato indica que o melhorista deve tomar cuidado no momento da seleção em anos que não ocorre deficiência hídrica, quando o objetivo é a seleção indireta através dos caracteres estatura de planta e diâmetro do caule. Uma vez que este pode estar selecionando indiretamente plantas com sistema radicular superior, sendo que não manterão esta superioridade em anos de deficiência hídrica. Nestes casos o melhorista não deve aumentar a pressão de seleção, e levar estas plantas para avaliação na próxima geração.

Uma desvantagem de mudar certas características é que muitas vezes esta afeta negativamente outras características, por exemplo, melhorando o sistema radicular para favorecer uma condição pode levar a um resultado negativo em outros atributos ou condições determinantes (ROBINSON, 1996).

O caráter NLP é um dos principais componentes de rendimento, tendo grande influência no rendimento da cultura (RIBEIRO et. al., 2004). Este caráter revelou um efeito direto de sinal contrário (-0,21) sobre DR e um coeficiente de menor magnitude (0,09) apontando que tanto a seleção direta quanto a indireta através deste caráter (NLP) não

proporciona ganhos na DR. O caráter NLP por ser de efeito quantitativo é influenciado por vários genes, sendo que este pode variar de genótipo para genótipo. Genótipos que apresentam elevado NLP tendem a reduzir o NGL, por outro lado, na maioria dos casos com a redução do NLP aumenta o número de grãos por legume. Assim a seleção por este caráter não parece ser uma boa estratégia, uma vez que este apresenta baixa correlação e de sinal contrário com DR. Este caráter não está diretamente associado com DR, pois sofre influência de vários outros fatores. Deste modo a seleção por este componente do rendimento visando incrementar o rendimento de grãos concomitantemente com o sistema radicular, não deve ser levada em consideração no momento de selecionar plantas superiores.

No geral, os caracteres de efeito diretos (DC e EST) apresentam maior associação com DR, porém tais valores de correlação ainda sofrem redução pelo efeito indireto de valor negativo, via número de legumes por planta (NLP) sobre o caráter principal (-0,15 e -0,07) respectivamente (Tabela 6). Genótipos que apresentam elevado desenvolvimento vegetativo e conseqüentemente maior desenvolvimento radicular tendem a direcionar os fotoassimilados para estes caracteres e reduzem para os caracteres que incrementam o rendimento. Este fato pode ser atribuído a competição intrínseca à planta por fotoassimilados e fatores de ambiente (KUREK et. al., 2001).

Tal fato também pode ser observado na Tabela 7 onde são apresentados os efeitos diretos e indiretos dos componentes secundários sobre DR, pode ser verificado que apesar do caráter SPP apresentar um coeficiente de correlação linear baixo (0,14), este apresenta o maior efeito direto sobre DR (0,43), indicando que dos caracteres secundários, SPP deve ser considerado para a seleção plantas com sistema radicular superior. Porém o caráter indireto PMS exerce efeito negativo sobre SPP, apresentando relação contrária de maneira que quando aumenta SPP reduz o peso de mil sementes reduzindo a produção de grãos por planta. Assim como pode ser observado o caráter PGP (-0,33) apresenta influência para a redução da correlação linear entre SPP e DR indicando que o caráter PGP tem correlação contrária a DR, como também pode ser visualizado no efeito direto do PGP (-0,35) sobre DR. Assim decompondo os fatores causa e efeito pela análise de trilha, é revelada que a seleção indireta pelo PGP acarreta na seleção de plantas com DR reduzida. Os autores Venuprasad et al. (2002) trabalhando com a cultura do arroz de sequeiro, observaram que a correlação entre o máximo rendimento de grãos e o comprimento da raiz foi negativa em condições não estressada, porém foi positiva sob estresse. Indicando que em anos sem deficiência hídrica, a planta prioriza a translocação de fotoassimilados para o enchimento de grãos e reduz o sistema radicular. Isto sugere que alguns genes de resistência à seca são expressos em

ambientes de estresse, e outros em condições não estressadas (BEEBE et. al., 2008). Em particular, esses fatores parecem estar associados com maior eficiência da planta para a mobilização de fotoassimilados para semente, sendo que este pode ser um mecanismo de resistência a estresse (RAO, 2001).

Tabela 7. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres secundários, inserção do primeiro legume (INC), estatura da planta (EST), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Caráter	Vias de associação	Estimativa
INC	Efeito direto sobre DR	0,25
	Efeito indireto via SPP	0,03
	Efeito indireto via PGP	-0,02
	Efeito indireto via NGL	0,01
	Efeito indireto via PMS	0,00
	TOTAL	0,26
SPP	Efeito direto sobre DR	0,43
	Efeito indireto via INC	0,02
	Efeito indireto via PGP	-0,33
	Efeito indireto via NGL	0,04
	Efeito indireto via PMS	-0,02
	TOTAL	0,14
PGP	Efeito direto sobre DR	-0,35
	Efeito indireto via INC	0,02
	Efeito indireto via SPP	0,41
	Efeito indireto via NGL	0,03
	Efeito indireto via PMS	0,02
	TOTAL	0,13
NGL	Efeito direto sobre DR	0,15
	Efeito indireto via INC	0,01
	Efeito indireto via SPP	0,11
	Efeito indireto via PGP	-0,07
	Efeito indireto via PMS	-0,04
	TOTAL	0,16
PMS	Efeito direto sobre DR	0,13
	Efeito indireto via INC	-0,01
	Efeito indireto via SPP	-0,05
	Efeito indireto via PGP	-0,05
	Efeito indireto via NGL	-0,05
	TOTAL	-0,02
Coeficiente de determinação (R ²)		
Efeito residual		

A seleção indireta para DR concomitantemente através dos componentes primários (DC, EST, NLP), não proporciona uma boa estratégia de seleção quando também se tem por objetivo o incremento na produtividade, uma vez que selecionando genótipos que apresentam maior DR conseqüentemente estará selecionando para redução de NLP (-0,21) e logo terá menor produtividade. Ainda na Tabela 7 o caráter secundário INC apresentou o maior coeficiente de correlação linear (0,26) e o segundo maior efeito direto sobre DR (0,25). Tal resultado indica que existe possibilidade de selecionar plantas com sistema radicular superior e ao mesmo tempo com elevada inserção do primeiro legume. Entretanto o PGP (-0,02) apresenta efeito indireto negativo a INC proporcionando redução da produção de grãos quando são selecionadas plantas com maior inserção do primeiro legume.

Característica esta de fundamental importância, pois atualmente com o uso da colheita mecanizada e pela maior pressão de doenças, elevar a altura de inserção do primeiro legume é essencial para que cultivares modernos sejam competitivos no mercado.

Os coeficientes de determinação (R^2) para os componentes primários e secundários (Tabela 6 e 7) foram 0,11 e 0,10 respectivamente, demonstrando que as variações do caráter DR não podem ser explicadas com total confiabilidade pelos componentes primários e secundários. O valor do efeito residual foi superior ao do R^2 , indicando, assim, que as características independentes não tem total influência na DR. O coeficiente de determinação (R^2) baixo para os efeitos diretos e indiretos indicam que a seleção indireta para o caráter sistema radicular é dificultada, uma vez que esta característica é geralmente controlada por muitos genes de pequeno efeito sobre o fenótipo (FALCONER e MACKAY, 1996). Estes baixos valores de R^2 podem ser atribuídos a efeitos modificadores do ambiente, competição por fatores nutricionais e a diferentes mecanismos fisiológicos que controlam a expressão dos caracteres (CARVALHO et. al., 2002).

Tais variações podem ser atribuídas ao efeito ambiental pelo fato do experimento ter sido conduzido a campo, lembrando que este representa com maior confiabilidade o ambiente onde o cultivar comercial será conduzido. Entretanto a avaliação do sistema radicular com os métodos conhecidos até hoje estão sujeitas a interferências por variações do tipo de solo, estrutura, porosidade etc.

As respostas da arquitetura radicular podem ser modificadas por reguladores de crescimento, como auxinas, citocininas e etileno, sugerindo que disponibilidade nutricional e hídrica, época de plantio e temperatura podem desencadear alterações no balanço hormonal e conseqüentemente modificações na arquitetura radicular (BUCIO, et al., 2003). Martin et al. (2000), mostram que o aumento da relação entre crescimento parte aérea / raiz que ocorre em

resposta ao P baixo é acompanhado por uma diminuição na concentração de citocinina. Estas se movimentam até os pontos de crescimento da parte aérea, tornando esses sítios mais fortes na aquisição de reservas garantindo o crescimento de tecidos das plantas (REIS et. al., 2006).

Tabela 8. Estimativas de efeitos diretos e indiretos dos caracteres secundários sobre os primários para a distribuição radicular (DR), inserção do primeiro legume (INC), diâmetro do caule (DC), estatura da planta (EST), número de legumes por planta (NLP), número de sementes por planta (SPP), peso de grãos por planta (PGP), número de grãos por legume (NGL), peso de mil sementes (PMS). UDESC – IMEGEM, Lages SC, 2010/11.

Caracteres secundários	Caracteres primários			
	Efeito	DC	EST	NLP
Direto de INC		0,23	0,16	0,02
Indireto via SPP		-0,02	-0,03	0,07
Indireto via PGP		0,06	0,05	0,00
Indireto via NGL		-0,01	0,00	-0,02
Indireto via PMS		0,01	0,01	0,00
TOTAL		0,28	0,19	0,07
Direto de SPP		-0,26	-0,55	1,06
Indireto via INC		0,02	0,01	0,00
Indireto via PGP		0,98	0,86	-0,04
Indireto via NGL		-0,04	-0,02	-0,09
Indireto via PMS		0,02	0,03	0,00
TOTAL		0,71	0,34	0,92
Direto de PGP		1,02	0,90	-0,04
Indireto via INC		0,01	0,01	0,00
Indireto via SPP		-0,25	-0,53	1,01
Indireto via NGL		-0,03	-0,01	-0,07
Indireto via PMS		-0,03	-0,04	0,00
TOTAL		0,73	0,34	0,90
Direto de NGL		-0,14	-0,07	-0,35
Indireto via INC		0,01	0,01	0,00
Indireto via SPP		-0,07	-0,15	0,28
Indireto via PGP		0,21	0,18	-0,01
Indireto via PMS		0,06	0,09	-0,01
TOTAL		0,08	0,07	-0,09
Direto de PMS		-0,19	-0,27	0,03
Indireto via INC		-0,01	-0,01	0,00
Indireto via SPP		0,03	0,06	-0,12
Indireto via PGP		0,14	0,12	-0,01
Indireto via NGL		0,04	0,02	0,11
TOTAL		0,02	-0,07	0,02
Coefficiente de determinação (R ²)		0,61	0,17	0,97
Efeito Residual		0,63	0,91	0,18

Desta maneira o sistema radicular é uma característica que esta sob influência de vários fatores tanto genéticos como ambientais, por exemplo, textura do solo e variações climáticas. Quando avaliado a campo o sistema radicular apresenta correlação completa com poucos caracteres, representando a interação entre vários fatores, que somados influenciam para a variação da distribuição radicular. Diferentemente de trabalhos com componentes do rendimento, que por influenciarem diretamente no rendimento de grãos, apresentam elevados valores de (R^2). Pesquisas para desenvolver métodos mais aprimorados e precisos contribuiriam muito para as pesquisas com sistema radicular. Os resultados da análise de trilha para o efeito dos caracteres secundários sobre os primários são apresentados na Tabela 8.

Através destes é possível identificar caracteres que podem maximizar as respostas correlacionadas num programa de melhoramento genético da cultura (COIMBRA et. al., 1999). Os resultados evidenciam que o caráter secundário PGP (1,021) exerce o maior efeito direto sobre o caráter primário DC, assim o maior peso de grãos por planta deve ser levado em consideração no momento de selecionar plantas com diâmetro do caule superior. É fundamental que sejam selecionadas plantas com maior diâmetro do caule, pois com o aumento da produtividade plantas com diâmetros do caule reduzido podem acamar resultando em perda da qualidade dos grãos.

Nem sempre os efeitos causais das correlações lineares tiveram o mesmo comportamento em sinal e magnitude quando comparado com os efeitos diretos sobre os componentes primários. Por exemplo, o efeito direto do caráter PGP sobre NLP apresenta correlação linear significativa de (0,91), entretanto o efeito direto de PGP sobre NLP é (-0,042), de maneira que o valor que esta influenciando na característica é o efeito indireto de SPP. Nestes casos os caracteres de efeito indireto devem ser considerados simultaneamente no momento da seleção.

Os coeficientes de determinação da análise de trilha dos componentes secundários sobre os primários apresentam altos valores sendo estes maiores que o efeito residual, exceto para EST. Estes resultados indicam que a seleção indireta dos caracteres secundários sobre os primários será efetiva, facilitando a seleção de genótipos promissores de feijão para estes caracteres.

3.6 CONCLUSÃO

Os caracteres diâmetro do caule, estatura de planta e inserção do primeiro legume por apresentarem as maiores correlações positivas com a distribuição radicular podem auxiliar na seleção indireta.

Os baixos valores dos coeficientes de determinação indicam que o melhorista não deve basear-se apenas na seleção indireta para obter genótipos com sistema radicular superior.

A seleção de plantas visando aumento da distribuição radicular e produção de grãos concomitantemente não é viável, uma vez que plantas com alta produção de grãos tendem a apresentar menor distribuição radicular.

As populações avaliadas não apresentam relação completa entre seus caracteres, de maneira que a seleção indireta apenas por caracteres isolados não garante resultados promissores na seleção de plantas.

4 CONCLUSÃO GERAL

As alterações climáticas são de interesse de toda a população humana mundial. Cada vez mais, pesquisadores e produtores se perguntam de que maneira será o comportamento do clima no futuro. De forma que estão aumentando a ocorrência de instabilidades climáticas, por exemplo, a ocorrência de períodos com excesso de chuvas e períodos com deficiência hídrica. Cada vez mais o melhoramento genético é um desafio para os melhoristas de plantas que devem estar sempre buscando novas fontes de variabilidade genética. Plantas que apresentam maior nível de tolerância a deficiência hídrica, segundo vários pesquisadores são plantas que apresentam sistema radicular bem distribuído e profundo. Para criar cultivares com tolerância a períodos com deficiência hídrica os melhoristas devem incorporar em seus programas de melhoramento, pesquisas que envolvam a melhoria do sistema radicular das plantas.

A busca de genótipos em Banco de Acesso de feijão é uma das alternativas para encontrar variabilidade genética, sendo que esta variabilidade pode ser aumentada através do cruzamento artificial destas plantas, onde a recombinação genética proporciona a combinação genética e esta codifica para o aparecimento de algumas características fenotípicas que podem ser vantajosas para o melhoramento da cultura. Esta variabilidade é observada na geração segregante F_2 , onde é também observada a ocorrência de heterose para o sistema radicular, porém tal informação até então é escassa na literatura. A heterose para este caráter ocorreu em grande proporção, porém foi maior nas camadas superiores do solo e reduziu com o aumento

da profundidade. Dos genótipos avaliados os que se destacaram para o cruzamento, tendo maior capacidade de incorporar maior incremento do sistema radicular no seus descendentes foi o genótipo BAF07 e a progênie oriunda deste genótipo cruzado com o BAF50 apresentou o melhor incremento no sistema radicular.

A melhoria do sistema radicular deve estar atrelada ao melhoramento da parte aérea da planta, principalmente da produtividade de grãos não adianta criar planta com sistema radicular denso e tolerante a seca, porém pouco produtivas. Segundo pesquisas existem mecanismos fisiológicos na planta que controlam a relação parte aérea/sistema radicular, de maneira que a relação em períodos de deficiência hídrica é diferente de períodos com suprimento hídrico normal. Neste trabalho esta relação foi negativa.

Os métodos de avaliação do sistema radicular precisam ser melhorados, necessita de mais pesquisas para desenvolvimento de aparelhos mais confiáveis para que as inferências realizadas em experimentos possam ser divulgadas com maior confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R.W. Principles of plant breeding, 2. United States of America, 1999.
- JAIME, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN, W. A. J. Propriedades químicas de um cambissolo Húmico sob preparo convencional e Semeadura direta após seis anos de cultivo, *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 29:437-445, 2005
- BATES, B.C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. WU AND J.P. PALUTIKOF, EDS. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **IPCC Secretariat**, 210, 2008.
- BEEBE, S. E. et al. Selection for Drought Resistance in Common Bean Also Improves Yield in Phosphorus Limited and Favorable Environments. **Crop Science**, v. 48, 2008.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. *R. Bras. Ciência do Solo*, 18:267-271, 1994.
- BIRCHLER, J. A.; AUGER, D. L.; RIDDLE, N. C. **In Search of the Molecular Basis of Heterosis**. *Plant Cell*, v.15, p. 2236-2239, 2003.
- BIZARI, D. R., et al. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, p.172–183, 2010.
- BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p.1159–1168, 2005.
- BOHM, W. **Methods studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.
- BORÉM, A. MIRANDA, G. V. Melhoramento de plantas. Editora UFV, 5 ed. 2009, 529 p.
- BRESLOW, N. R.; CLAYTON, D. G. Approximate Inference in Generalized Linear Mixed Models. **Journal of the American Statistical Association**, v. 88 p. 9–251, 1993.
- BRUCE, W.B. GREGORY, O. BARKER, E. T. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.13 – 25, 2002.
- BUCIO J. L.; RAMÍREZ A. C; ESTRELL L. H.; The role of nutrient availability in regulating root architecture. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, p.280–287, 2003.
- BUDAK, H et al. Understanding of heterosis. **Journal of Science and Engineering**, v.5, p.68-75, 2002.

CARVALHO, C. G. P., et al. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 37, p. 311-320, 2002.

CARVALHO, F.I.F. et al. Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2004. 142p.

CIRINO, V. M. Melhoramento para resistência à seca e outros caracteres abióticos que afetam a produtividade do feijoeiro, **Documentos IAC**, 85, Campinas, 2008.

COIMBRA, J. L.M. et al. Análise de trilha I: análise do rendimento de grãos e seus componentes. **Ciência Rural**, v. 29, p. 213-218, 1999.

COIMBRA, J. L. M. et al. Correlações canônicas : ii - análise do rendimento de grãos de feijão e seus componentes. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 30, p. 31-35, 2000.

COIMBRA, J. L. M. et al. Análise de trilha dos componentes do rendimento de grãos em genótipos de canola. **Ciência Rural**, v. 34, p.1421-1428, 2004

COIMBRA, J. L. M. et al. Criação de variabilidade genética no caráter estatura de planta em aveia: hibridação artificial \times mutação induzida. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.10, p. 273-280, 2004.

Comissão de química e fertilidade do solo. Manual de adubação e calagem para os estados do RG e SC. Sociedade Brasileira de Ciência do solo - Núcleo Regional do Sul, Porto Alegre, v. 10, 2004, 400p.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento, **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2010/2011** – Quinto Levantamento – Fevereiro de 2011. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em Junho de 2011.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento, Séries Históricas de Produção, Safras 1976/77 a 2011/12. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em janeiro de 2012.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de biologia e ciências da terra**. v.4. 2004.

COSTA, A. C. T. et al. Variabilidade genética para características de importância agrônômica de meio-irmãos de milho, semeadas na época da seca. **Revista Brasileira de Milho de Sorgo**, v5, p.30-138, 2006.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético, 2. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 585 p.

CRUZ, C.D. Programa GENES – Versão Windows, aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: **UFV**, 2001. 648p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 480 p.

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

FALCONER D. S. MACKAY T. F. C. **Introduction to Quantitative Genetics**. 4. London: **Longman**, 1996, 463p

GIBBENS, P. R.; LENZ, J. M. Root systems of some Chihuahuan Desert plants *Journal of Arid Environments*, v 49: n. 221, 2001.

GOODMAN. M. M. Plant breeding requirements for applied molecular biology. **Crop Science**, v. 44, p.1913–1914. 2004.

GUIMARÃES, C. M.; BRUNINI, O.; STONE, L. F. Adaptação do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca: I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.393-399, 1996.

HAIR, J.F. et al. Análise Multivariada de Dados. Porto Alegre: **Bookman**, 2005, 688p.

HENRY. A.; KLEINMAN, P.J.A.; LYNCH, J.P. Phosphorus runoff from a phosphorus deficient soil under common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) genotypes with contrasting root architecture. **Plant Soil**, v.311, n.1. online, 2008.

HENRY, A. et al. Will nutrient-efficient genotypes mine the soil? Effects of genetic differences in root architecture in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on soil phosphorus depletion in a low-input agro-ecosystem in Central America. **Field Crops Research**, v.115, p.67–78, 2010.

HO, M. D. et al. Optimization modeling of plant root architecture for water and phosphorus acquisition. **Journal of Theoretical Biology**. v.226, p.331-340, 2004.

HO., M. D. et al. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. **Functional Plant Biology**, v. 32 p.737–748, 2005.

JANICK, J. Plant breeding reviews. New York: J.Wiley, 2001. 336p.

KEEBLE, F.; PELLEW, C. The mode of inheritance of stature and of time of flowering in peas (*Pisum sativum*). *Genetics*, Baltimore, v.121, p. 185-199, 1910.

KUREK A. J. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, p.29-32, 2001.

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

LYNCH, J. P. Root Architecture and Plant Productivity. **Plant Physiol**. v.109 p.7-13, 1995.

- LYNCH, J.P. Roots of the Second Green Revolutionb. **Australian Journal of Botany**, v.55, 493–512, 2007.
- MARTIN A. C. et al. Influence of cytokinins on the expression of phosphate starvation responsive genes in Arabidopsis. **Plant J**, n. 24, p.559-567, 2000.
- MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. DE. F. B. Linhagens de feijão (*phaseolus vulgaris* l.): composição química e digestibilidade protéica. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.
- MIRANDA, M.Z., et al. Análise dialélica da capacidade combinatória em soja. **Revista de Biociências**, Taubaté, v. 14, 2008.
- MINISTÉRIO da agricultura. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>>, acessado em fevereiro de 2012.
- MONTARDO, D. P. et al. Análise de trilha para rendimento de sementes de trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 1076-1082, 2003.
- PANDINI, F.; VELHO, N. A.; LOPES, A. C. A. Heterosis in soybean for seed yield components and associated traits. **Brazilian archives of biology and technology**. V. 45, p. 401-412, 2002.
- PARVEZ, S. Recent advances in understanding genetic basis of heterosis in rice (*Oriza sativa* L.) **Revista UDO Agrícola** v.6, p.1-10, 2006.
- PETERS, A. Michigan Dry Bean Digest, n. 17, 1993.
- PIMENTEL, C.; GOMES.; A. A.; OTTONI Filho, T. B. Trocas gasosas em folhas de feijoeiro de plantas hidratadas e teores de carboidratos e aminoácidos livres sob deficiência hídrica. **Agronomia**, v35, p.66-70, 2001.
- RAO, I.M. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. **Handbook of plant and crop physiology**, New York. p. 583–613, 2001.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.P. dos; ZIMMERMANN, M.J. de O. Genética quantitativa em plantas autógamas: Aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG. 1993. 271p.
- RAMALHO, M. A. P. et al. Genetics Plant Improvement and Climate changes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 189-195, 2009.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1805-1816, 2008
- REIS G. G.; et al. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *eucalyptus grandis* x *eucalyptus urophylla* e de *eucalyptus camaldulensis* x *eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v.30, p.921-931, 2006.

- RESENDE, M. D. V. de et al. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v.60, p.185-193, 2001.
- RIBEIRO, N. D., et al. Alterações em caracteres agromorfológicos em função da densidade de plantas em cultivares de feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, p.167-173, 2004.
- RIGÃO, M. H. et al. Correlação canônica entre caracteres de tubérculos para seleção precoce de clones de batata. **Ciência Rural**, v.39, p.2347-2353, 2009.
- ROBINSON, D. Resource capture by localized root proliferation: why do plants bother? **Annals of Botany**, n.77, p.179-185, 1996.
- ROCHA, F., et al. Root distribution in common bean populations used in breeding programs, **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p. 40-47, 2010.
- RODRIGUES, G. B. et al. Análise de trilha de componentes de produção primários e secundários em tomateiro do grupo Salada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.2, p.155-162, 2010.
- SANTOS, R.C.; CARVALHO, L. P.; SANTOS, V. F. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção do amendoim. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 24, p. 13-16. 2000.
- SARKER, A.; ERSKINE, W.; SINGH, M. Variation in shoot and root characteristics and their association with drought tolerance in lentil landraces. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.52, p.89 – 97. 2005.
- SAS Institute Inc. SAS® 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft*. Cary: SAS Institute Inc, 2007. 212 p.
- SEVERINO, L.S. et al. Associação da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). **Acta Scientiarum Agronomy**, v.24, p.1467-1471, 2002.
- SOUZA, M. A. et al. Efeito do estresse hídrico na densidade do comprimento radicular em estádios de desenvolvimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, p. 25-30, 2009.
- SOUZA, M. A.; LIMA, M. D. B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. carioca comum. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 550-557, 2010.
- SUBBARAO, G. V. et al. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Review in Plant Science**, n. 14, p. 469-529, 1995.
- SHARP, R. E.; POROYKO, V.; HEJLEK, L. G.; SPOLLEN, W. G.; SPRINGER, G. K.; BOHNERT, H. J.; NGUYEN, H. T. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, p. 2343–2351, 2004

SHULL, G. H. The composition of a field of maize. **American Breeding Association Reports**, Madison, v. 4, p. 296-301, 1908.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*, 3. Porto Alegre: **Artmed**, 2006, 722p.

TORGA, P.R. et al. Seleção de famílias de feijoeiro baseada na produtividade, no tipo de grãos e informações de QTLs. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, p. 95-100, 2010.

VALE, N. M. V., et al. Métodos de semeadura empregados como critério de avaliação fenotípica em melhoramento de feijão. **Biotemas**, v. 22, p.73-81, 2009.

VENUPRASAD R. et al. Quantitative trait loci associated with grain yield and root morphological traits in rice (*Oryza sativa* L.) under contrasting moisture regimes. **Euphytica**, n. 128, p. 293–300, 2002.

VIEIRA, C. O Feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento. **Imprensa universitária, UFV**, Viçosa, 1967 220 p.

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, p.707-712. 2008.



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 camada de 30cm de solo.

Camada (cm)	PH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efe	Saturação (%)	
		-----cmolc/dm3-----					Al	Bases
0-10	6.5	9.28	3.96	0.00	2.20	13.45	0.00	85.97
10-20	5.9	6.43	3.03	0.00	3.90	9.55	0.00	71.00
20-30	5.4	6.57	3.85	1.63	9.70	12.14	13.43	52.00

	M.O	C.O	Argila	P (Mehlich)	Na	K	CTC pH 7,0	K
	-----%-----			-----mg/dm3-----			-----cmolc/dm3-----	
0-10	3.6	2.09	39	17.0	6	84	15.65	0.215
10-20	4.6	2.67	43	11.9	5	35	13.45	0.090
20-30	2.2	1.28	48	1.2	9	35	20.21	0.090

	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) 1/2
0-10	2.3	61.581	0.059
10-20	2.1	105.111	0.029
20-30	1.7	115.778	0.028

APÊNDICE B: Análise química de três camadas no perfil do solo de onde foi conduzido o experimento.

Nov	Prec. (mm)	Dez	Prec. (mm)	Jan	Prec. (mm)	Fev	Prec. (mm)
1	0,0	1	0,2	1	0,0	1	4,7
2	0,0	2	5,0	2	0,0	2	3,9
3	0,0	3	5,4	3	0,0	3	0,0
4	0,0	4	1,9	4	8,6	4	0,7
5	0,0	5	8,6	5	0,0	5	11,1
6	23,0	6	2,1	6	5,2	6	4,3
7	0,0	7	1,8	7	3,2	7	26,4
8	0,0	8	10,0	8	0,0	8	0,0
9	0,0	9	0,0	9	92,7	9	41,5
10	12,7	10	0,0	10	4,5	10	13,0
11	0,0	11	0,7	11	0,0	11	0,6
12	0,0	12	0,9	12	2,3	12	2,5
13	0,0	13	27,4	13	0,3	13	69,0
14	0,0	14	11,3	14	0,0	14	5,7
15	0,7	15	0,0	15	4,1	15	0,0
16	31,5	16	0,0	16	41,2	16	12,3
17	1,6	17	5,0	17	14,5	17	0,0
18	2,3	18	0,0	18	10,6	18	0,0
19	0,0	19	0,0	19	6,6	19	0,0
20	1,0	20	0,0	20	0,0	20	0,0
21	0,4	21	15,8	21	4,4	21	14,4
22	27,0	22	2,1	22	32,7	22	6,6
23	22,5	23	16,0	23	34,2	23	0,3
24	4,3	24	0,4	24	10,6	24	29,2
25	3,4	25	35,1	25	3,4	25	8,8
26	0,0	26	0,0	26	0,0	26	3,8
27	0,0	27	0,0	27	8,7	27	5,6
28	0,0	28	0,0	28	4,5	28	5,1
29	33,9	29	0,0	29	0,9		
30	46,3	30	0,0	30	12,1		
		31	0,0	31	2,2		

APÊNDICE C: Volume de precipitações (Prec.) diárias ocorrido no período de desenvolvimento da cultura entre 04 de novembro de 2010 a 17 de fevereiro de 2011.

Caráter	Genótipo			
	BAF 07	BAF 50	BAF 09	IPR Uirapuru
Cor da Flor	Lilás escuro	Branca	Roxa	Roxa
Hábito de crescimento	Indeterminado Tipo III	Indeterminado com ramificações eretas	Indeterminado com ramificações eretas	Arbustivo indeterminado Tipo II
Dias para florescimento	46	45	45	43
Número de nós na haste principal	5,5	5,5	5	11,4
Altura de inserção do primeiro legume	14 cm	10 cm	15,5 cm	11 cm
Estatura	193 cm	75	117 cm	68 cm
Grupo comercial	Preto	Carioca	Preto	Preto

APÊNDICE D: Características morfológicas de quatro genótipos de feijão.