



**ALICE PEREIRA SILVA**

**ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO PARA RESISTÊNCIA A  
MANCHA ANGULAR NO MELHORAMENTO DO  
FEIJOEIRO**

**LAVRAS-MG  
2019**

**ALICE PEREIRA SILVA**

**ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO PARA RESISTÊNCIA A MANCHA ANGULAR  
NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Genética e Melhoramento de  
Plantas, para obtenção do título de  
Mestre.

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu  
Orientadora

**LAVRAS - MG**

**2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Alice Pereira.

Estratégia de seleção para resistência a mancha angular no  
melhoramento do feijoeiro / Alice Pereira Silva. - 2019.

57 p. : il.

Orientador(a): Ângela de Fátima Barbosa Abreu.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Phaseolus vulgaris L. 2. Pseudocercospora griseola. 3.  
Seleção recorrente. I. Abreu, Ângela de Fátima Barbosa. II. Título.

**ALICE PEREIRA SILVA**

**ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO PARA RESISTÊNCIA A MANCHA ANGULAR  
NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Genética e Melhoramento de  
Plantas, para obtenção do título de  
Mestre.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2019.  
Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu EMBRAPA  
Dr. Magno Antônio Patto Ramalho UFLA  
Dr. Trazilbo José de Paula Júnior EPAMIG

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu  
Orientadora

**LAVRAS - MG**

**2019**

*A Deus.*

OFEREÇO

*Aos meus amados pais Luís Vitor e Helenice.*

*A minha irmã Letícia.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

Agradeço a minha irmã e principalmente aos meus pais, que sempre me motivaram e me mostraram o quanto era importante estudar, mesmo não tendo eles a mesma oportunidade.

Ao Guilherme, meu companheiro, por sempre me entender e por toda a paciência comigo nesse tempo.

Aos colegas de laboratório, especialmente a Paula e a Nathália por sempre estarem ao meu lado me ajudando com os experimentos.

A toda equipe do feijão, por também sempre me auxiliarem nos trabalhos de campo e pelo ótimo trabalho em equipe realizado.

A minha orientadora Ângela, por todo apoio, conselho, paciência, exemplo e toda sua orientação durante a graduação e o mestrado.

Ao meu amigo e professor Magno, pelo seu exemplo de profissionalismo e sabedoria e por todo o apoio em todos os meus anos de graduação e mestrado.

Aos amigos e colegas do departamento que pude fazer durante o mestrado.

Aos funcionários do departamento de Biologia, que sempre me auxiliaram durante o curso.

Aos professores da genética, que foram fundamentais para o conhecimento que possuo hoje.

Meu muito obrigada!

## RESUMO

Um programa de seleção recorrente (SR) no feijoeiro, visando resistência à mancha angular, que é causada pelo fungo *Pseudocercospora griseola* vem sendo conduzido em Minas Gerais desde 1998. Nesse programa, a seleção de progênies para recombinação é realizada no campo, sob condições de ocorrência natural da doença. Entretanto, em alguns anos e/ou locais ocorrem outras doenças que dificultam a identificação e seleção das progênies resistentes, podendo interferir no sucesso do programa. Uma alternativa seria utilizar inoculação artificial com isolados do patógeno, em condições controladas. Contudo, o que se questiona é se as progênies selecionadas com inoculação artificial seriam também resistentes em condições de campo em diferentes locais e anos, já que a variabilidade do patógeno é grande. Para responder a esse questionamento foram avaliadas 119 progênies oriundas desse programa SR, sendo 60 delas obtidas por seleção em condições de ocorrência natural da doença em campo e 59 obtidas por seleção em condições controladas. Essas progênies foram avaliadas quanto à severidade da doença, nas gerações  $S_{0:3}$  e  $S_{0:4}$ , nas safras da "seca" de 2017 e 2018, respectivamente, sob condições naturais de ocorrência, em Lavras e Lambari, MG. Utilizando mistura de isolados do patógeno, coletados nesses experimentos, as mesmas progênies também foram avaliadas com inoculação artificial, em condições controladas. Foram realizadas análises de variância individuais e conjuntas, estimados parâmetros genéticos e fenotípicos e obtidas as coincidências na seleção de progênies quanto à resistência ou suscetibilidade nas duas condições de avaliação. Verificou-se que a avaliação da severidade de mancha angular no feijoeiro com inoculação artificial em condições controladas, pode levar à seleção de progênies que serão suscetíveis em condições naturais de ocorrência da doença. Ela deve ser utilizada para uma triagem inicial e eliminação das progênies mais suscetíveis. As selecionadas devem ser submetidas às avaliações no campo, em vários ambientes, com incidência natural do patógeno, para identificação daquelas com resistência mais ampla.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. *Pseudocercospora griseola*. Seleção recorrente.

## ABSTRACT

A recurrent selection program (RS) aiming at resistance to angular leaf spot in common bean, which is caused by *P. griseola* fungus, has been conducted in Minas Gerais state since 1998. In this program, the selection of progenies for recombination is performed in the field, under conditions of natural occurrence of the disease. However, in some years and/or places other diseases occur that make difficult the identification and selection of resistant progenies, and may interfere in the success of the program. An alternative would be to use artificial inoculation with pathogen isolates under controlled conditions. Although, the question is whether the progenies selected with artificial inoculation would also be resistant under field conditions at different sites and years, since the variability of the pathogen is great. In order to respond to this questioning, 119 progenies from this RS program were evaluated, of which 60 were obtained by selection under conditions of natural occurrence of the disease in the field and 59 obtained by selection under controlled conditions. These progenies were evaluated for the severity of the disease, in the S<sub>0:3</sub> and S<sub>0:4</sub> generations, in the "dry" season of 2017 and 2018, respectively, under natural conditions in Lavras and Lambari, MG. Using a mixture of pathogen isolates collected in these experiments, the same progenies were also evaluated with artificial inoculation under controlled conditions. Individual and joint analyses of variance were performed and estimated genetic and phenotypic parameters. Coincidences in progenies selection were also obtained for resistance or susceptibility in the two evaluation conditions. It was verified that the evaluation of angular leaf spot severity in the common bean with artificial inoculation under controlled conditions can lead to the selection of progenies that will be susceptible under natural conditions of disease occurrence. This evaluation should be used for initial screening and elimination of the most susceptible progenies. The selected ones should be submitted to the field evaluations, in several environments, with natural incidence of the pathogen, to identify those with broader resistance.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. *Pseudocercospora griseola*. Recurrent selection.



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.1	A Cultura Do Feijoeiro No Brasil .....	11
2.2	Mancha Angular .....	13
2.3	Variabilidade do fungo <i>P. griseola</i> .....	14
2.4	Resistência Genética do Feijoeiro à <i>P. griseola</i> .....	16
2.5	Seleção Recorrente .....	19
2.6	Avaliação da Severidade de Mancha Angular no Feijoeiro .....	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3.1	Locais .....	23
3.2	Material Experimental .....	23
3.3	Avaliação das progênies no campo .....	27
3.4	Avaliação das progênies em condições controladas .....	27
3.5	Obtenção do inóculo e preparo da suspensão de <i>P.griseola</i> .....	28
3.6	Análises de Dados .....	28
3.7	Estimativa da coincidência entre as avaliações das progênies no campo e em casa de vegetação .....	34
4	RESULTADOS .....	34
5	DISCUSSÕES .....	41
6	CONCLUSÕES .....	46
7	REFERÊNCIAS .....	47
	ANEXOS .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

A mancha angular, causada pelo fungo *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun é uma das doenças mais importantes na cultura do feijoeiro, provocando desfolha prematura nas plantas e, conseqüentemente, redução na produtividade de grãos, gerando prejuízos ao produtor (RAMALHO et al., 2007; SINGH E SCHWARTZ, 2010; PAULA JÚNIOR et al., 2015; RAMALHO et al., 2014). A severidade da doença é maior na safra da seca (semeadura em fevereiro-março), pois as condições climáticas favorecem a incidência do patógeno e desenvolvimento da doença (MODA-CIRINO et al., 2012; LOBO JÚNIOR, 2014).

As estratégias utilizadas para o controle da doença incluem práticas culturais, utilização de produtos químicos e a resistência genética (PAULA JÚNIOR et al., 2015). Apesar da utilização de fungicidas, o uso de sementes contaminadas e cultivares suscetíveis juntamente com a alta variabilidade do patógeno, são importantes fatores que agravam a incidência desta doença (PAULA-JUNIOR et al., 2004). Por isso, um dos principais meios de controle da mancha angular é o uso de cultivares resistentes. Contudo, há dificuldade em se obter linhagens com resistência duradoura, pois o fungo apresenta inúmeras raças que podem mudar de um local para outro e/ou no decorrer das safras/anos. Além disso, vários genes estão envolvidos no controle do caráter (SILVA et al., 2008; MAHUKU et al., 2009; PEREIRA et al., 2015; SOUZA et al., 2016).

Numa situação como essa, uma das alternativas para acumular os vários alelos de resistência é por meio de seleção recorrente (SR) (RAMALHO et al., 2012). A SR é um processo cíclico de seleção de indivíduos e/ou progênies superiores de uma população, seguida pela recombinação dos(as) selecionados(as) para formar uma nova população (RAMALHO et al., 2012). Assim, visando à obtenção de novas linhagens de feijoeiro que acumulem alelos de resistência e, ao mesmo tempo, sejam produtivas e com grãos tipo carioca (grãos de fundo bege claro e rajas marrom-claras), em 1998 foi iniciado no estado de Minas Gerais um programa de SR fenotípica. Neste programa, é conduzido um ciclo de SR por ano, sendo a seleção de progênies para recombinação realizada no campo, na safra da seca quando normalmente a ocorrência natural da doença é grande, conforme já mencionado (AMARO et al., 2007). Além da seleção para recombinação também são selecionadas progênies que são avançadas até a obtenção de linhagens. Entretanto, em alguns anos e/ou locais ocorrem outras doenças que interferem na identificação e seleção das progênies resistentes, podendo interferir

no sucesso do programa. Uma alternativa seria utilizar inoculação artificial com isolados do patógeno, em condições controladas, conforme proposto por Pereira et al. (2011) e Librelon et al. (2016). Entretanto, o que se questiona é se as progênies selecionadas com inoculação artificial seriam também resistentes em condições de campo em diferentes locais e anos, já que a variabilidade do patógeno é grande. Assim, seria importante verificar qual dessas estratégias seria mais eficiente na seleção de progênies que tivessem resistência duradoura em maior número de ambientes e anos possível.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. A Cultura Do Feijoeiro No Brasil**

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris L.*) representa um dos pilares da dieta brasileira e é um dos principais alimentos consumidos no Brasil. Grande parte de sua produção se dá pela agricultura familiar e também por grandes produtores na sucessão de cultivos ao longo do ano. De 1993 a 2012, o Brasil reduziu sua área semeada de feijão em 30%. Contudo, a produção aumentou em 13%, devido ao grande aumento da produtividade média (WANDER, 2014).

Na safra de 2017/18, a produção nacional de feijão comum foi de mil toneladas em uma área de 1662,6 mil hectares, com produtividade média de 1434 kg/ha. Estima-se para o fim da safra 2018/2019, que a área total de feijão será de 1559,8 mil ha e a produção nacional de feijão deverá ficar em 2308 mil toneladas e produtividade esperada de 1508 kg/ha (CONAB, 2019). O estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor do país, com produtividade de 1561 kg/ha na safra de 2017/2018 e área cultivada superior a 339,2 mil ha por ano (CONAB, 2019). Na última safra, a maior produtividade ocorreu no estado de São Paulo com 2419 kg/ha e área cultivada de 105,2 mil hectares. Apesar de nos últimos 35 anos ter ocorrido aumento na produção de feijão no país, a área cultivada está menor. Isso acontece em decorrência ao aumento da produtividade de grãos, devido a melhores práticas de manejo agrícola e do melhoramento genético (SILVA, 2013).

No Brasil, o cultivo de feijão pode ser realizado em três diferentes épocas do ano, na safra das “águas”, ou primeira época, onde a semeadura ocorre entre os meses de outubro-dezembro; na safra da “seca”, ou segunda época, com semeadura entre

janeiro-março; e safra de “inverno”, ou terceira época, com plantio entre maio-julho, havendo pequenas variações de épocas de plantio entre as diferentes regiões do país (ANDRADE, 2014). Cada época apresenta características climáticas que interferem diretamente na produtividade e qualidade do produto a ser colhido.

Na safra das “águas” o cultivo é praticado principalmente pelos produtores que não possuem o recurso da irrigação, porém é grande a chance de chuvas durante a época de maturação e colheita, podendo comprometer a qualidade dos grãos. Além disso, a alta umidade torna o meio propício para o desenvolvimento de certos patógenos como o *Colletotrichum lindemuthianum*, agente causal da antracnose do feijoeiro. O excesso de calor na floração provoca o abortamento floral e os problemas com plantas invasoras são acentuados (VIEIRA, 2004).

Na safra da “seca”, a colheita é feita, na maioria dos casos, sem chuvas, produzindo grãos de ótima qualidade. No entanto a escassez ou a má distribuição das chuvas pode comprometer o desenvolvimento da cultura para aqueles agricultores que não possuem condições de realizar irrigações suplementares. Esse também é o período mais favorável à ocorrência de mancha angular, podendo causar grandes perdas em produtividade se a cultivar utilizada for altamente suscetível (PAULA JÚNIOR et al., 2015).

A terceira época ou safra de “inverno”, com semeadura entre maio e julho, é preferida nas regiões onde não ocorre frio acentuado. Nessa época a cultura deve ser irrigada e é normalmente praticada com maiores investimentos em tecnologia. Na maioria dos casos, é o cultivo que gera maior produtividade de grãos. Entretanto, quando a semeadura é realizada mais tarde corre-se o risco de chuvas durante a colheita. Mofo-branco e murcha-de-fusarium também podem constituir problema, já que as condições climáticas são favoráveis ao seu desenvolvimento (PAULA JÚNIOR et al., 2015).

Depreende-se que o cultivo do feijão em diferentes épocas do ano faz com que seja necessária a obtenção de cultivares que tenham bom desempenho, se possível, na maioria delas. No caso específico da safra da “seca”, o maior problema, principalmente no estado de Minas Gerais é a alta ocorrência de mancha angular. Dessa forma, torna-se importante a obtenção de cultivares com resistência a essa doença.

## 2.2. Mancha Angular

A mancha angular é uma das doenças mais importantes da parte aérea do feijoeiro (PAULA JÚNIOR et al., 2015). O agente etiológico da doença é denominado *Pseudocercospora griseola*. A presença do inóculo na lavoura junto a temperaturas moderadas e alta umidade, favorece um ambiente ideal para a ocorrência da doença, o que pode resultar em grandes danos à produção (BIANCHINI, 2005). A esporulação ocorre em períodos de alta umidade. Os conídios germinam em aproximadamente 3h, em temperaturas entre 8° C a 32° C e penetram nas folhas pelos estômatos na face abaxial, colonizando os hospedeiros. Os tubos germinativos seguem os contornos das células epidérmicas, onde formam apressórios. O patógeno cresce principalmente nos espaços intercelulares do hospedeiro e sua propagação é limitada pelas nervuras da folha, dando à lesão uma forma angular. O patógeno torna-se agressivo, destruindo a membrana do cloroplasto e a membrana plasmática causando necrose celular (MONDA, SENDERS, HICK, 2001; BIANCHINI, 2005).

Este patógeno pode ser disperso por meio de respingos de chuva, sementes contaminadas, restos de cultura no campo e principalmente pelos ventos, ou seja, é facilmente disseminado no campo. Assim o uso de cultivares resistentes no manejo da doença é de extrema importância (SINGH, SCHWATZ, 2010). Os sintomas da doença aparecem de oito a 12 dias após infecção e apresentam-se em vagens, folhas e caules. Nas folhas, os sintomas são bem característicos, possui formato angular, sendo delimitado pelas nervuras e coloração marrom escura. Com a ocorrência de grande número de lesões, ocorre união destas em toda a folha, além de necroses e desfolha prematura. Nos ramos e pecíolos, as lesões são escuras e alongadas. Nas vagens, as manchas são castanhas escuras e arredondadas, com tamanho variável, não sendo lesões deprimidas, o que a difere da lesão de antracnose. Nas sementes, a infecção ocorre principalmente através do hilo, prejudicando a germinação e o desenvolvimento das plântulas (BIANCHINI, 2005).

Conforme já mencionado, a doença é mais severa na safra da seca, período de fevereiro a junho, em que as condições climáticas são mais favoráveis à disseminação do patógeno (SARTORATO et al., 1994). O desenvolvimento do patógeno é favorecido por alternância entre períodos secos e úmidos, aliados a temperaturas amenas, em torno de 24° C. A esporulação ocorre em temperaturas entre 16 e 26° C. Essa doença destaca-

se pelo fato de ocasionar perdas na produtividade em condições favoráveis ao seu desenvolvimento (SARTORATO, RAVA, 1994; BIANCHINI, 2005).

### **2.3. Variabilidade do fungo *P. griseola***

Em um programa de melhoramento genético de plantas visando à resistência a doenças, é extremamente importante conhecer a variabilidade genética do patógeno e o controle genético da resistência, pois auxiliam na tomada de decisões e escolha da melhor estratégia a ser tomada. As primeiras evidências de variabilidade entre isolados de *P. griseola* foram reportadas no início dos anos 1950 (BROCK, 1951). Posteriormente, evidências mais conclusivas de variabilidade foram apresentadas, baseadas no diferencial de patogenicidade em cultivares de feijão (ALVAREZ-AYALA & SCHWARTZ, 1979; CIAT, 1986; CORREA-VICTORIA, 1987).

Após a constatação de que o feijão possui como principais centros de domesticação a Mesoamérica e os Andes, verificou-se também que houve uma co-evolução entre as populações do patógeno e seu hospedeiro (GEPTS & BLISS, 1986). Isso levou à necessidade de se utilizar dois grupos de cultivares diferenciadoras para a identificação das raças de *P. griseola*. Foi observado que os isolados andinos de *P. griseola*, atacam com mais frequência cultivares andinas, mostrando maior virulência nelas (PASTOR-CORRALES & JARA, 1995). Por outro lado, isolados obtidos de cultivares mesoamericanas possuem um espectro de virulência mais amplo. Apesar de atacarem preferencialmente feijões mesoamericanos, alguns também atacam cultivares andinas (PASTOR-CORRALES et al., 1998).

Diante desse fato, no “International Workshop of the Angular Leaf Spot on Common Beans”, realizado no Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), em 1995, decidiu-se pela adoção de um conjunto de cultivares diferenciadoras e uma nomenclatura padrão de raças do patógeno da mancha angular (PASTOR-CORRALES & JARA, 1995). Até então, não existia um grupo padrão de cultivares diferenciadoras, o que dificultava a comparação entre as raças fisiológicas que eram encontradas.

A nomenclatura preconizada é baseada em um sistema binário proposta por Habgood (1970). São utilizadas 12 cultivares diferenciadoras de feijão, sendo seis de origem andina ( $d_i$ ) e seis mesoamericanas ( $d_j$ ). Seis cultivares de cada grupo são identificadas ordenadamente pelos números de 1 a 6. A designação de uma determinada raça é feita empregando-se dois números separados por um traço. O primeiro número

corresponde à soma dos valores binários para as cultivares andinas ( $2^{d_i-1}$ ) e o segundo relaciona-se às cultivares mesoamericanas ( $2^{d_j-1}$ ). A denominação da raça é obtida pela soma dos valores numéricos de cada cultivar diferenciadora suscetível a determinado isolado (TABELA 1). Por exemplo, se um isolado ataca as cultivares andinas Don Timóteo (valor binário 1), G11796 (valor binário 2), BolónBayo (valor binário 4) e Montcalm (valor binário 8) e as mesoamericanas Pan 72 (valor binário 1), G 2858 (valor binário 2), Flor de Mayo (valor binário 4) e Cornell 49-242 (valor binário 32), sua designação será raça 15-39. O número 15 é obtido pela soma dos valores  $1+2+4+8$  referentes às cultivares andinas suscetíveis, enquanto que o número 39 vem da soma dos valores  $1+2+4+32$ , atribuídos às cultivares mesoamericanas suscetíveis. Com esta metodologia foi possível uma padronização mundial para a classificação de isolados de *P. griseola*.

Tabela 1- Cultivares diferenciadoras de feijão utilizadas para a classificação das raças de *P. griseola* pelo sistema binário.

Cultivares andinas ( $d_i$ )	Valor binário ( $2^{d_i-1}$ )	Cultivares mesoamericanas ( $d_j$ )	Valor binário ( $2^{d_j-1}$ )
1. Don Timóteo	1	1. Pan 72	1
2. G 11796	2	2. G 2858	2
3. Bolón Bayo	4	3. Flor de Mayo	4
4. Montcalm	8	4. México 54	8
5. Amendoim	16	5. Bat 332	16
6. G 5686	32	6. Cornell 49-242	32

Fonte: Pastor-Corrales & Jara (1995).

A partir daí diversos estudos têm sido realizados visando conhecer a variabilidade de *P. griseola*, utilizando as 12 cultivares diferenciadoras (PASTOR-CORRALES et al., 1998; NIETSCHKE et al., 2001; SARTORATO & ALZATE-MARIN, 2004; STENGLEIN et al., 2005; SILVA et al., 2008; BALBI et al., 2009; PEREIRA et al., 2011), bem como marcadores moleculares (GUZMÁN et al., 1995; Nietsche et al., 2001; PASTOR-CORRALES & JARA, 1995; PASTOR-CORRALES et al., 1998; STENGLEIN et al., 2005).

Em todo mundo já foram identificadas 134 raças diferentes, 80 delas somente nas Américas (JARA et al., 2015). No Brasil, utilizando a série de cultivares diferenciadoras, de 1996 a 2015, foi identificado um total de 54 raças do patógeno, distribuídas em vários estados em que se cultiva o feijoeiro (SARTORATO & ALZATE-MARIN, 2004; SILVA et al., 2008; BALBI et al., 2009; PEREIRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2015). Foi verificado que as raças 31-39, 63-31, 63-23, 63-39, 63-47, 63-55 e 63-63 são as mais frequentes e amplamente distribuídas e são comumente encontradas nos estados de Goiás e Minas Gerais. Só em Minas Gerais foram identificadas 20 raças diferentes. Além desse grande número de raças, também foi detectada grande variabilidade entre isolados da raça 63-63 (PEREIRA et al., 2015).

A ocorrência do patótipo 63-63 nos diversos levantamentos de raças que têm sido realizados no Brasil aliada à variabilidade dentro dessa raça evidenciou que a série de cultivares diferenciadoras necessitava ser revista, incluindo novas fontes (PAULA JÚNIOR et al., 2015; PEREIRA et al., 2015). Por isso, no "Common BeanDisease Workshop on Angular Leaf Spot and Root Rots" realizado em Skukuza, na África do Sul em 2015, foi proposto um novo conjunto internacional de cultivares diferenciadoras de mancha angular. Entre essas cultivares, foi incluída a linhagem MAIII-16.159. Essa linhagem é oriunda do terceiro ciclo do programa de seleção recorrente visando resistência a essa doença que vem sendo conduzido desde o ano de 1998 em Minas Gerais pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (AMARO et al., 2007).

O número crescente de raças constatado nos sucessivos levantamentos também evidencia a necessidade de busca constante por novas fontes de resistência e que o controle da mancha angular de modo eficaz não deve ser fácil.

#### **2.4. Resistência Genética do Feijoeiro à *P. griseola***

Dentre as alternativas para o controle da mancha angular, o uso de cultivares resistentes destaca-se como uma das mais eficientes, principalmente por reduzir os impactos negativos causados ao homem e ao meio ambiente, pela utilização desequilibrada de fungicidas e por não aumentar o custo de produção. Contudo, para a utilização dessa estratégia é necessária a identificação das possíveis fontes de resistência, bem como o conhecimento do seu controle genético.



Vários grupos de pesquisa têm dedicado esforços visando a um melhor entendimento do controle genético da reação do feijoeiro a *P. griseola* (NIETSCHE et al., 2000; CAIXETA et al., 2003 e 2005; MAHUKU et al., 2004; BOREL et al., 2011; VIDIGAL et al., 2010). Testes de alelismos foram realizados por Caixeta et al. (2003) para verificar se os alelos de resistência presentes em cinco fontes de resistência estão localizados em um mesmo loco ou em locos distintos. Os resultados obtidos demonstraram que a cultivar AND 277 contém quatro genes de resistência (Phg-1, Phg-22, Phg-32 e Phg-42) enquanto a cultivar México 54 apresenta três genes (Phg-2, Phg-5 e Phg-6). Mahuku, Iglesias e Jara (2009) revelaram a presença de três genes de resistência na cultivar G5686 também utilizada como diferenciadora (PhgG5686A, PhgG5686B e PhgG5685C). Provavelmente os genes encontrados nas cultivares AND 277 e G5686 são diferentes, uma vez que as mesmas são resistentes a diferentes raças do fungo (MAHUKU et al., 2009). A cultivar México 54, outra fonte de resistência, possui três genes, *Phg-2*, *Phg-5* e *Phg-6*; MAR 2 é portadora de dois genes, *Phg-4* e *Phg-5* e BAT 332 possui o gene *Phg-6*<sup>2</sup> (CAIXETA et al., 2005).

Na linhagem G 10474, Mahuku et al. (2004) verificaram que o gene de resistência ocupa um loco diferente daqueles descritos por Caixeta et al. (2005). A maioria das raças de *P. griseola* que causaram reação de suscetibilidade nas cultivares México 54, MAR 1, MAR 2, AND 277, BAT 332 e Cornell 49-242 não infectaram a linhagem G 10474. Assim, os autores concluíram que é provável que G 10474 seja portadora de um gene diferente daqueles encontrados naquelas cultivares. Genes de resistência complementares diferentes dos identificados nas cultivares México 54, MAR 2, G 10474 e Cornell 49-242 também foram encontrados por Mahuku et al. (2011) na linhagem G 10909, os quais foram denominados de *Phg<sub>G10909A</sub>* e *Phg<sub>G10909B</sub>*. Os autores verificaram que esses genes conferem resistência à raça 63-63. Na linhagem G 5686 o alelo dominante de três genes complementares, *Phg<sub>G5686A</sub>*, *Phg<sub>G5686B</sub>* e *Phg<sub>G5686C</sub>*, foram identificados por Mahuku et al. (2009) como responsáveis pela resistência à raça 31-0. Também tem sido verificado que o controle genético da resistência na folha pode ser diferente da resistência na vagem (BOREL et al., 2011).

No encontro do Bean Improvement Cooperative (BIC) de 2015, o grupo de trabalho de análise genética e melhoramento para resistência à mancha angular propôs novas denominações para os genes e QTLs ainda não nomeados, os quais foram apresentados por Souza et al. (2016) (TABELA 2).

Tabela 2 - Denominação dos genes de resistência à mancha angular no feijoeiro de acordo com o Comitê de Genética do Bean Improvement Cooperative (BIC).

Símbolo do gene		Fonte de Resistência	Grupo ligação	Raça	Referência
Novo	Original				
<i>Phg-1</i>	<i>Phg-1</i>	AND 277	Pv01	63-23	Carvalho et al. (1998) Gonçalves-Vidigal et al. (2011)
<i>Phg-2</i>	<i>Phg-2</i>	Mexico 54	Pv08	63-19 63-39	Sartorato et al. (2000) Namayanja et al. (2006) Mahuku et al. (2011)
<i>Phg-2<sup>2</sup></i>	<i>Phg-?</i>	BAT 332	Pv08	63-39	Namayanja et al. (2006)
<i>Phg-3</i>	<i>Phg-ON</i>	Ouro Negro	Pv04	63-39	Corrêa et al. (2001) Gonçalves-Vidigal et al. (2013)
<i>Phg-4</i>	ALS4.1 <sup>GS,UD</sup>	G5686	Pv04	31-0	Mahuku et al. (2009) Keller et al. (2015)
<i>Phg-5</i>	ALS10.1 <sup>DG,UC</sup>	CAL 143	Pv10	0-39	Oblessuc et al. (2012, 2013)
<i>Phg-5<sup>2</sup></i>	ALS10.1 <sup>DG,UC</sup>	G5686	Pv10	31-0	Keller et al. (2015)

Fonte: SOUZA et al.(2016).

Os programas de melhoramento do feijoeiro visando resistência aos patógenos frequentemente têm explorado mecanismos de herança monogênica, ou seja, resistência vertical. Nesse caso, os genes são mais fáceis de serem manipulados e podem ser rapidamente introgrididos em linhagens suscetíveis por meio de retrocruzamento (RAGAGNIN et al., 2009). Embora amplamente utilizado, esse procedimento, faz com que as cultivares tenham sua vida útil reduzida, pois a resistência pode ser mais facilmente suplantada, devido à alta variabilidade de *P. griseola* ou não ser eficiente em todas as regiões de cultivo (MAHUKU et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004). Contudo, quando são utilizados vários genes de efeito menor, a resistência deve ser mais efetiva,

pois esses podem diferir em sua função e conferir resistência a diferentes raças de um mesmo patógeno ou até mesmo à várias espécies de patógenos (NELSON et al., 2018).

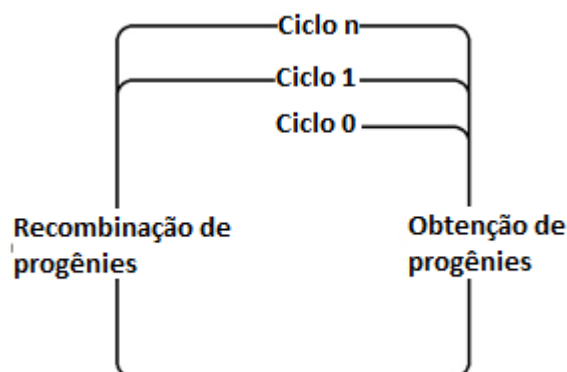
Diante dos relatos feitos, percebe-se que o melhoramento visando resistência à doenças deve procurar associar os alelos presentes nas diversas fontes de resistência visando à obtenção de resistência mais durável e efetiva. Uma boa alternativa para se atingirem esses objetivos é promover a seleção recorrente, ou seja, ciclos sucessivos de seleção precedidos pelo inter cruzamento das melhores famílias.

## **2.5. Seleção Recorrente**

Grande parte dos caracteres trabalhados pelos melhoristas são controlados por muitos genes e dificilmente é encontrada uma linhagem que concentre todos os alelos favoráveis para todas características desejáveis na cultura de estudo. No caso da resistência à mancha angular, a alta variabilidade do patógeno e o possível controle poligênico da resistência (PEREIRA, 2017) dificultam a obtenção de linhagens com alto grau de resistência a um grande número de raças. Uma boa alternativa para se atingirem esses objetivos é promover a seleção recorrente (SR), ou seja, ciclos sucessivos de seleção precedidos pelo inter cruzamento das melhores progênies.

A seleção recorrente é qualquer sistema designado para aumentar gradativamente a frequência de alelos desejáveis para características quantitativas, por meio de repetidos ciclos de seleção, sem reduzir significativamente a variabilidade genética da população. Este método envolve três etapas: i) obtenção de progênies; ii) avaliação de progênies e identificação das superiores; e iii) recombinação das progênies superiores para formar a geração seguinte (BORÉM et al., 2017) (FIGURA 1). Portanto, esse processo é contínuo e só termina quando as progênies obtidas mostram o desempenho desejado.

Figura1 – Método de seleção recorrente com os ciclos de seleção a partir da população inicial C0



Fonte: Do Autor

Neste processo, espera-se selecionar caracteres aumentando suas médias, porém sempre mantendo a variabilidade genética para progressos futuros (HALLAUER, 1992). Para isso, é necessário ter sempre uma população com variabilidade genética e uma estratégia de seleção e recombinação que permita ter progresso, sem exaurir a variabilidade (RAMALHO et al., 2014). Em síntese, o importante é que as três etapas da seleção acumulem alelos favoráveis até atingirem níveis satisfatórios, com maior variabilidade possível, para então se obterem linhagens superiores (BORÉM, 2017).

Há vários programas de Seleção Recorrente sendo realizados no mundo, tanto em plantas alógamas quanto autógamas. Em plantas autógamas, a utilização, é crescente. Por exemplo, Cordeiro (2017) com desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado; em feijoeiro para associação entre produtividade de grãos e arquitetura da planta (PIRES et al., 2014; PEREIRA et al., 2017), resistência a mancha angular (AMARO et al., 2007; ARANTES et al., 2010; LIBRELON, 2016), florescimento precoce (SILVA, RAMALHO, ABREU, 2007) e resistência ao mofo branco e porte ereto das plantas (LEITE et al., 2016).

Em Minas Gerais, a UFLA, em parceria com a EMBRAPA, conduzem desde o ano de 1998, um programa de seleção recorrente visando a obtenção de linhagens de feijoeiro resistentes à mancha angular. Até o momento foram conduzidos 19 ciclos seletivos com grande sucesso. Já foram obtidas linhagens com bom nível de resistência, grãos dentro do padrão comercial do grupo carioca e produtivas (AMARO et al., 2007; ARANTES et al., 2010; REZENDE et al., 2014). Para iniciar esse programa foi realizado um cruzamento dialélico parcial entre sete linhagens com grãos tipo carioca (Carioca MG, CI-140, CI-128, ANPAT 8.12, IAPAR 81, ESAL 693 e Pérola) e dez

fontes de resistência a *P. griseola* (AN 512561, AND 277, Ouro Negro, Compuesto Negro Chimaltenango, CAL 143, MAR 2, MAR 1, G 5686, MA 4.137 e Jalo) de diversos tipos de grãos. A população  $S_0$  original (C-0) foi semeada na época da "seca", semeadura em fevereiro, quando as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento do patógeno e, nessa época, a ocorrência é sempre intensa, conforme já comentado. As plantas resistentes foram selecionadas e intercruzadas em casa de vegetação, na safra do inverno, semeadura em julho, para obtenção do ciclo I (C-I). Na recombinação, cada planta selecionada foi intercruzada com outras duas seguindo um esquema dialélico circulante. As sementes  $F_1$  obtidas de cada população foram semeadas na safra das "águas", semeadura em novembro, para obtenção das sementes  $S_0$ . As populações  $S_0$  foram semeadas em fevereiro para avaliação fenotípica dos sintomas da doença e uma planta de cada população foi selecionada para originar um novo ciclo, possibilitando a continuidade do processo. Esse procedimento vem sendo repetido a cada ano. Desse modo, em três safras, isto é, um ano, é conduzido um ciclo de SR. Adicionalmente, a cada ciclo seletivo, na geração  $S_0$ , são também selecionadas mais plantas para obtenção das progênies  $S_{0:1}$ . Essas progênies são avaliadas até a geração  $S_{0:4}$  nas sucessivas safras, com ênfase na resistência à mancha angular, avaliada em condições naturais de incidência da doença, e também quanto à produtividade e tipo de grão.

Recentemente, Librelon (2016), a partir da população  $S_0$  do ciclo XV desse programa de SR, propôs a realização de três ciclos de recombinação por ano, ao invés de um, e seleção em casa de vegetação, onde o ambiente é controlado, utilizando inoculação artificial de *P. griseola*. O objetivo foi reduzir o tempo necessário para obtenção de cada ciclo de seleção recorrente, além de garantir alta incidência do patógeno para a seleção. Entretanto, o que se questiona é se as progênies selecionadas com inoculação artificial seriam também resistentes em condições de campo em diferentes locais e anos, já que a variabilidade do patógeno é grande.

## **2.6. Avaliação da Severidade de Mancha Angular no Feijoeiro**

Na condução do programa de seleção recorrente da UFLA/Embrapa visando resistência à mancha angular, mencionado anteriormente, para que se faça a seleção das progênies mais resistentes, primeiro é preciso fazer a avaliação da doença. Essa avaliação normalmente é feita por meio de escalas de notas em campo, em uma única

avaliação no final do ciclo (AMARO et al., 2007; ARANTES et al., 2010). As escalas diagramáticas utilizam notas para a severidade e são usadas para a avaliação da maioria das doenças no feijoeiro (SCHOONHOVEN & PASTOR-CORRALES, 1987; GODOY et al., 1997). Outros métodos, no entanto, podem ser utilizados, como a avaliação de uma amostra de folíolos retirados da parcela, e o percentual da área foliar lesionada, este último determinado com o auxílio de recursos computacionais (VALE et al., 2003). E todos estes métodos, incluindo a severidade em parcelas de campo, podem ser realizados à qualquer momento desde o aparecimento dos sintomas, podendo inclusive ser realizados mais de uma vez durante o ciclo, o que permite calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (REZENDE et al., 2014). Este último autor comparou a avaliação da severidade em parcelas de campo (SC) utilizando escalas de notas, severidade em folíolos amostrados (SA) utilizando escalas de notas, e percentual da área foliar amostrada lesionada (%AFL). As avaliações foram realizadas aos 21, 28, 33 e 41 dias após o florescimento (DAF) para SC, aos 7, 14, 21, 28, 33 e 41 DAF para SA e %AFL, e aos 41 DAF para severidade nas vagens. Foi estimada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para SC, SA e % AFL. Verificaram que a SC utilizando escalas de notas é o método mais indicado para avaliar a mancha angular no feijoeiro, por ser mais viável em termos práticos e que a melhor época para avaliar a doença é em torno de 30 dias após o florescimento, pois possibilita maior discriminação entre tratamentos. Entretanto, é preciso ressaltar que o sucesso da avaliação em condições naturais de incidência da doença, evidentemente depende da ocorrência da doença no campo.

Para evitar a dependência da ocorrência natural da doença, a avaliação da severidade de mancha angular também pode ser realizada em condições controladas, com inoculação artificial do patógeno (SILVA et al., 2008; PEREIRA et al., 2013; JARA et al., 2015). Neste caso, a inoculação é realizada no estágio de desenvolvimento V3 das plantas, ou seja, após a expansão completa das folhas trifolioladas. Para isso, os genótipos a serem avaliados devem ser semeados em vasos, em casa de vegetação. Essa metodologia é a mais comumente utilizada para identificação de raças e de fontes de resistência. Contudo, para avaliação de progênies em programas de melhoramento sua utilização pode ser limitada devido ao número de progênies ser grande, requerendo grande número de vasos e espaço em casa de vegetação com condições controladas.

Uma alternativa que permite a avaliação de grande número de genótipos com inoculação em condições controladas foi proposta por Pereira et al. (2011). Nesse caso a

semeadura é realizada bandejas de 162 células, contendo substrato e as plantas são inoculadas no estágio V2, que corresponde à fase onde as folhas cotiledonares estão completamente expandidas. A grande vantagem desse método é que com pouco espaço em casa de vegetação e usando pequena quantidade de inóculo, é possível avaliar um maior número de plantas. Pereira et al. (2011) compararam as metodologias de avaliação nos estádios V2 e V3 e concluíram que elas foram semelhantes, podendo ser uma boa alternativa para a avaliação da severidade de *P. griseola* nos programas de melhoramento visando a resistência à mancha angular. A partir daí, vários trabalhos foram realizados com a avaliação de plantas no estágio V2, e se mostraram eficientes na seleção de linhagens resistentes (LIBRELON et al., 2015; LIBRELON, 2016; PÁDUA et al., 2016; PEREIRA et al., 2013; PEREIRA et al., 2015). Entretanto, ainda é questionável se as progênies selecionadas com inoculação artificial seriam também resistentes em condições de campo em diferentes locais e anos, já que a variabilidade do patógeno é grande.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Locais**

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Resistência de Plantas a doenças e em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras; na fazenda experimental do Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária, localizados no município de Lavras, MG; e na unidade da EPAMIG - Campo Experimental de Lambari – CELB, localizado no município de Lambari, MG.

#### **3.2. Material Experimental**

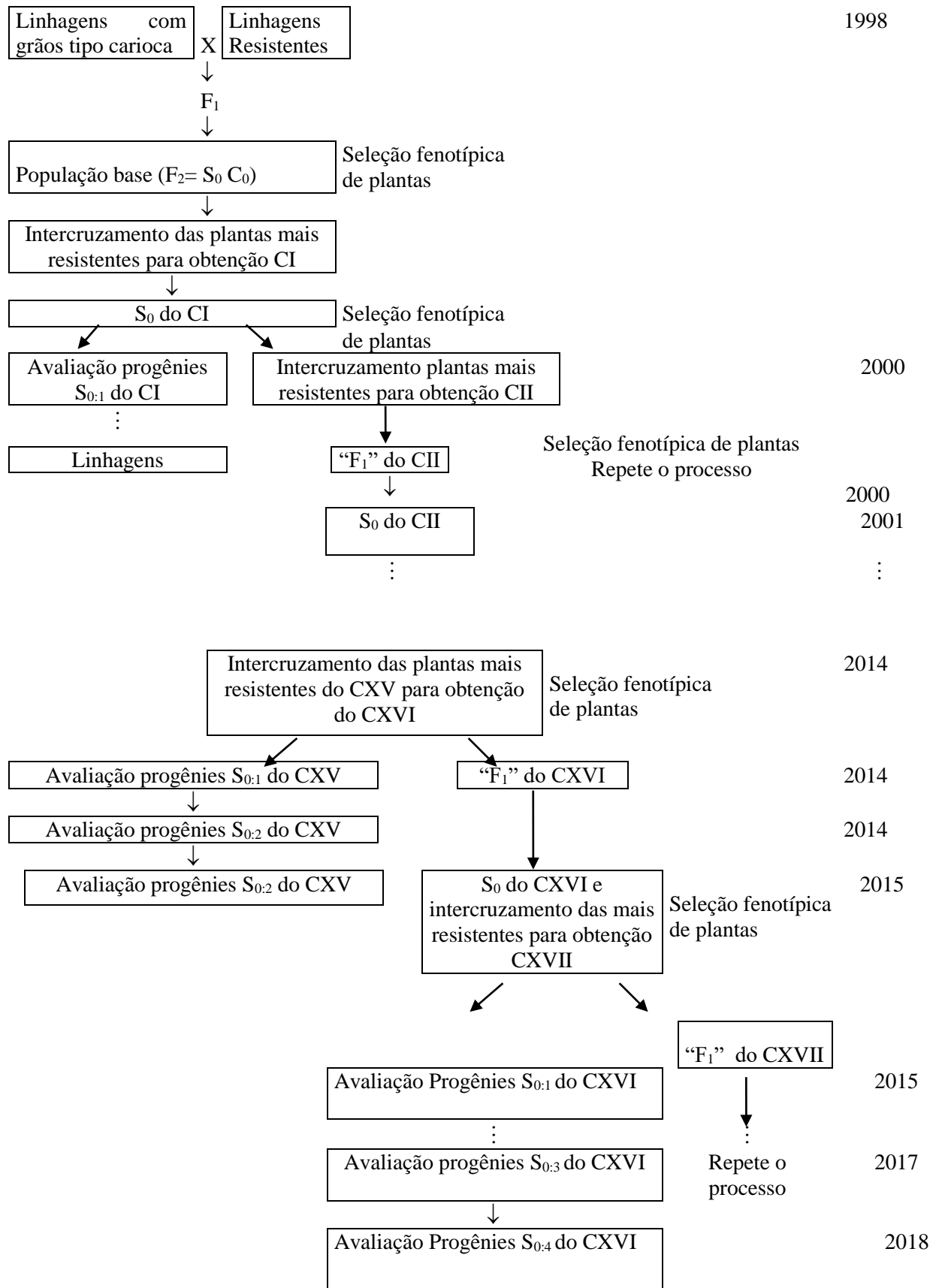
Foram avaliadas 119 progênies oriundas do programa de seleção recorrente (SR) visando resistência à mancha angular conduzido em Minas Gerais desde 1998. Detalhes do programa são apresentados por Amaro et al. (2007). Sessenta progênies são oriundas do 16º ciclo desse programa e foram obtidas por seleção em condições de ocorrência natural da doença em campo (Progênies A – PA), conforme apresentado na Figura 2.

As outras 59 progênies foram obtidas a partir da seleção em condições controladas das progênies do 15º ciclo de SR, que foram inoculadas, selecionadas as mais resistentes e recombinadas (Progênies B – PB). Esse processo foi repetido por três vezes obtendo-se as progênies do ciclo XVIII conforme apresentado por Librelon (2016) (FIGURA 3).

Também foram avaliadas as cultivares Carioca MG (suscetível) e Pérola (moderadamente resistente), que têm sido utilizadas desde o início desse programa de SR como testemunhas.

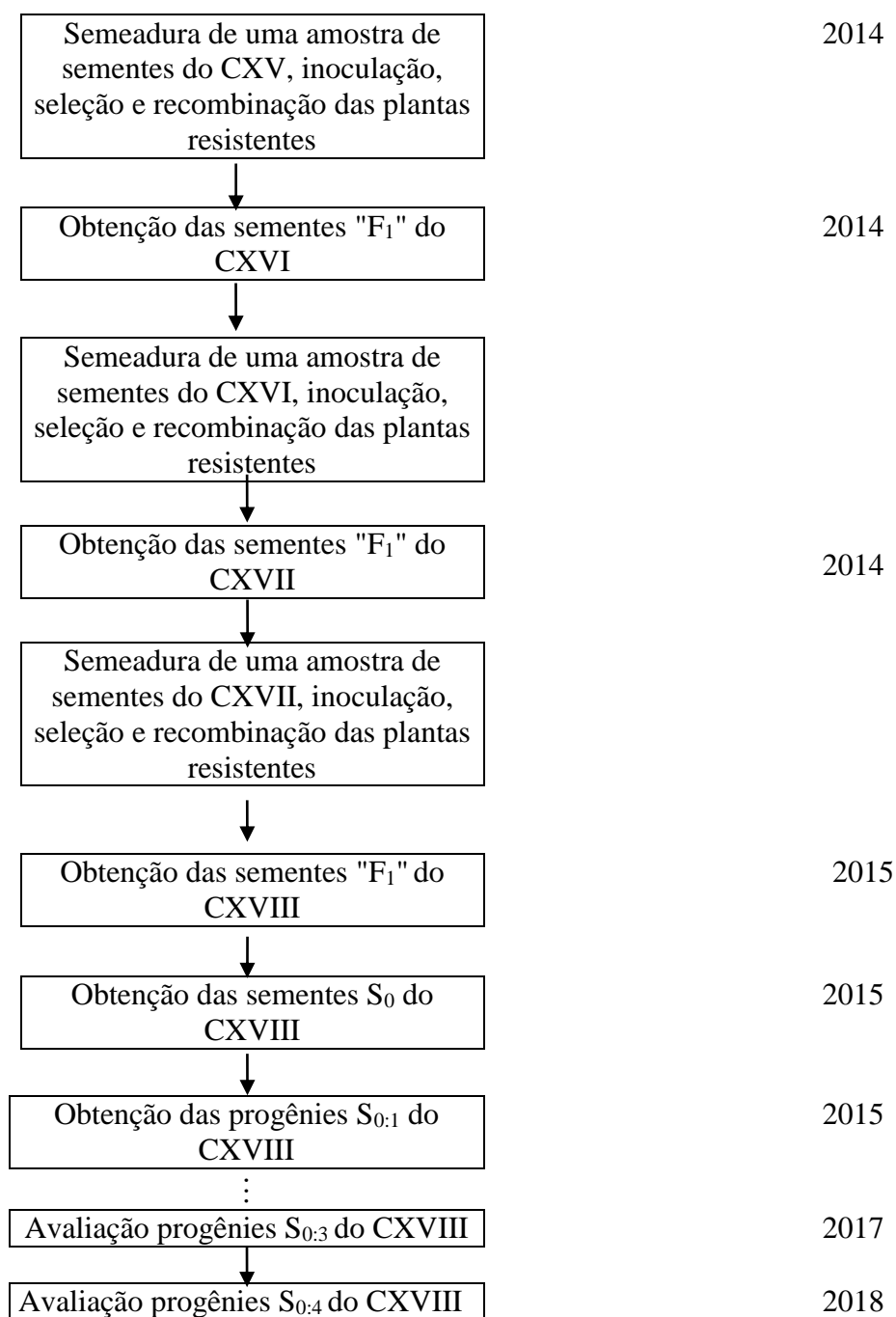


Figura 2- Esquema do programa de seleção recorrente fenotípica da UFPA/EMBRAPA até a obtenção das progênes do ciclo XVI (CXVI).



Fonte: Librelon, (2016).

Figura 3- Esquema da obtenção das progênes do ciclo XVIII após a realização de três ciclos de recombinações e seleção de plantas resistentes à mancha angular em casa de vegetação com inoculação de *P. griseola*.



Fonte: Librelon, (2016).

### **3.3. Avaliação das progênies no campo**

As 119 progênies e testemunhas foram avaliadas nas safras da "seca" de 2017 e 2018 em experimentos conduzidos no campo em Lavras e Lambari, conforme mencionado anteriormente. O delineamento experimental foi em látice triplo 11 x 11 e as parcelas de 2 linhas de 2m espaçadas de 60 cm, colocando-se 15 sementes por metro linear.

Aproximadamente 30 dias após o florescimento ocorreu a avaliação da severidade de mancha angular por meio de uma escala de severidade de nove graus proposta pelo CIAT (SCHOONHOVEN; PASTOR-CORRALES, 1987), em que: 1 - plantas sem sintomas da doença; 2 - presença de até 3% de lesões; 3 - presença de até 5% de lesões não-esporuladas; 4 - presença de lesões esporuladas, que cobrem aproximadamente 10% da área foliar; 5 - presença de várias lesões esporuladas entre 2 a 3 mm, que cobrem aproximadamente 10% a 15% da área foliar; 6 - presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem de 15% a 20% da área foliar; 7 - presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem de 20% a 25% da área foliar; 8 - presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem de 25% a 30% da área foliar, geralmente associadas a tecidos cloróticos, os quais podem coalescer e formar extensas áreas infectadas; 9 - sintomas severos da doença, resultando em queda prematura de folhas e morte.

### **3.4. Avaliação das progênies em condições controladas**

As mesmas 119 progênies e testemunhas avaliadas no campo, também foram avaliadas em casa de vegetação com temperatura e umidade controladas (25°C e UR 85%). Em cada ano foram conduzidos dois experimentos. Em um, as progênies foram inoculadas com uma mistura de isolados coletados no experimento conduzido no campo em Lavras e, no outro, com os isolados coletados no experimento no campo em Lambari.

Os experimentos foram conduzidos em bandejas de poliestireno de 162 células, contendo substrato. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com duas repetições, sendo que cada parcela era constituída por nove plântulas. A partir do estágio fenológico V2 das plântulas, ou seja, quando as folhas cotiledonares estavam completamente expandidas, foi realizada a inoculação, pulverizando-se ambas as faces

das folhas até o ponto de escorrimento. Quinze dias após a inoculação, ocorreu a avaliação das plântulas quanto à severidade da mancha-angular seguindo a escala diagramática proposta por Librelon et al. (2016) em que: 1- ausência de lesões; 2- 0,1 a 0,5% de área com lesões; 3- 0,6 a 4,0% de área com lesões; 4- 4,1 a 7,0% de área com lesões; 5- 7,1 a 16% de área com lesões; 6- 16,1 a 26% de área com lesões; 7- 26,1 a 32% de área com lesões; 8- 32,1 a 38% de área com lesões; 9- 38,1 a 60% de área com lesões.

### **3.5. Obtenção do inóculo e preparo da suspensão de *P.griseola***

Os isolados de *P. griseola* utilizados nos experimentos em casa de vegetação foram obtidos em cada ano por meio de amostragem de folhas com sintomas de mancha angular nos experimentos conduzidos no campo em Lavras e Lambari, MG.

Dez isolados de cada local foram escolhidos e repicados para tubos de ensaio contendo meio BDA (batata-dextrose-ágar) e mantidos à temperatura de 24°C na incubadora (B.O.D), por um período de 12 dias. Posteriormente, foi realizada a repicagem do micélio de cada isolado para tubos de ensaio com meio BDA para o cultivo do fungo onde permaneceu na incubadora (B.O.D.) na temperatura de 24°C por 12 dias.

Na obtenção da suspensão de conídios, a superfície da colônia formada no tubo foi raspada com o auxílio de uma pinça e água destilada estéril e, posteriormente, filtrada através de uma camada de gaze. A contagem dos conídios da suspensão foi feita em câmara de Neubauer para padronizar a concentração de inóculo para  $2 \times 10^4$  conídios/MI (PEREIRA et. al., 2011).

### **3.6. Análises de Dados**

Inicialmente foram realizadas análises de variância da severidade de mancha angular nas progênes de feijoeiro em cada ambiente (local e safra) e método de avaliação (campo e casa de vegetação).

Para a análise dos dados obtidos em casa de vegetação o modelo utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + r_j + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : observação referente ao tratamento  $i$ , na repetição  $j$ ;

$\mu$ : é o efeito fixo da média geral do experimento;

$t_i$ : efeito aleatório do tratamento  $i$ , sendo  $i=1, 2, \dots, 121$ , o qual foi decomposto em progênies com suas diferentes origens e testemunhas.

$r_j$ : efeito aleatório da repetição  $j$ , sendo  $j=1, 2$ ;

$e_{ij}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ .

Para a análise dos dados obtidos no campo o modelo adotado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : observação referente ao tratamento  $j$ , no bloco  $k$ , dentro da repetição  $i$ ;

$\mu$ : é o efeito fixo da média geral do experimento;

$t_i$ : efeito aleatório do tratamento  $i$ , sendo  $i=1, 2, \dots, 121$ , o qual foi decomposto em progênies com suas diferentes origens e testemunhas.

$r_j$ : efeito aleatório da repetição  $j$ , sendo  $j=1, 2, 3$ ;

$b_{k(j)}$ : efeito aleatório do bloco  $k$ , dentro da repetição  $j$ ;

$e_{ijk}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ .

O esquema da análise de variância com as respectivas esperanças dos quadrados médios são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Esquema da análise de variância da severidade da mancha angular em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (progênies A) e com inoculação artificial (progênies B) avaliadas por dois métodos (casa de vegetação com inoculação artificial e no campo com ocorrência natural de *P. griseola*) em quatro ambientes (Lavras e Lambari nas safras “seca” de 2017 e 2018), com as respectivas esperanças dos quadrados médios – E (QM).

FV	QM	E(QM)
Tratamento (Tr)		
Progênies (P)	Q1	$\sigma_e^2 + r\sigma_{P_l}^2$
Progênies A (PA)	Q2	$\sigma_e^2 + r\sigma_{PA_l}^2$
Progênies B (PB)	Q3	$\sigma_e^2 + r\sigma_{PB_l}^2$
PA vs PB		
Testemunhas (T)		
P vs T		
Erro	Q4	$\sigma_e^2$

$\sigma_e^2$ : variância do erro;  $\sigma_{P_l}^2$ : variância genética entre progênies;  $\sigma_{PA_l}^2$ : variância genética média entre PA no ambiente  $l$ ;  $\sigma_{PB_l}^2$ : variância genética médias entre PB no ambiente  $l$ ; e  $r$ : número de repetições.

A partir das esperanças dos quadrados médios apresentados na Tabela 3, foram estimadas, em cada ambiente, a variância genética entre progênies ( $\sigma_{P_l}^2$ ), a variância fenotípica entre médias de progênies ( $\sigma_{FP_l}^2$ ) e a herdabilidade ( $h_{P_l}^2$ ) para a seleção entre médias de progênies no ambiente  $l$  com suas diferentes origens (PA e PB), pelos seguintes estimadores:

$$\sigma_{P_l}^2 = \frac{Q_1 - Q_4}{r} \quad \sigma_{PA_l}^2 = \frac{Q_2 - Q_4}{r} \quad \sigma_{PB_l}^2 = \frac{Q_3 - Q_4}{r}$$

$$\sigma_{FP_l}^2 = \frac{Q_1}{r} \quad \sigma_{FPA_l}^2 = \frac{Q_2}{r} \quad \sigma_{FPB_l}^2 = \frac{Q_3}{r}$$

$$h_{P_l}^2 = \frac{Q_1 - Q_4}{Q_1} \times 100 \quad h_{PA_l}^2 = \frac{Q_2 - Q_4}{Q_2} \times 100 \quad h_{PB_l}^2 = \frac{Q_3 - Q_4}{Q_3} \times 100$$

Para determinar os intervalos de confiança para as estimativas da herdabilidade entre a média das progênes com suas diferentes origens (PA e PB), foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de  $h^2$ , de acordo com as expressões apresentados por Knapp et al. (1985):

Entre todas as progênes:

$$LI = 1 - [(Q_1/Q_4)]/F_{(1-\alpha/2)}^{-1}$$

$$LS = 1 - [(Q_1/Q_4)]/F_{(\alpha/2)}^{-1}$$

Entre as PA:

$$LI_{PA} = 1 - [(Q_2/Q_4)]/F_{(1-\alpha/2)}^{-1}$$

$$LS_{PA} = 1 - [(Q_2/Q_4)]/F_{(\alpha/2)}^{-1}$$

Entre as PB:

$$LI_{PB} = 1 - [(Q_3/Q_4)]/F_{(1-\alpha/2)}^{-1}$$

$$LS_{PB} = 1 - [(Q_3/Q_4)]/F_{(\alpha/2)}^{-1}$$

em que:

$Q_1, Q_2, Q_3$  e  $Q_4$ : quadrados médios apresentados na Tabela 3.

F: valor tabelado da distribuição F de Snedecor a partir dos graus de liberdade associados às progênes consideradas e graus de liberdade do resíduo, ao nível de significância ( $\alpha=0,05$ ).

Foi estimada também a acurácia seletiva ( $r_{g'g}$ ) para todas as análises pelo seguinte estimador:

$$r_{g'g} = \sqrt{1 - \frac{1}{F}}$$

Após realizar as análises individuais, utilizando-se as médias ajustadas dos tratamentos procedeu-se a análise de variância conjunta dos dados obtidos em campo e em casa de vegetação seguindo o esquema apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Esquema da análise de variância conjunta de progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência de mancha angular (progênies A) e com inoculação artificial (progênies B), avaliadas no campo em quatro ambientes e em casa de vegetação, com inoculação de mistura de isolados de *P. griseola* coletados nesses ambientes, com as respectivas esperanças dos quadrados médios.

FV	Campo e Casa de Vegetação	
	QM	E(QM)
Ambiente (A)		
Tratamento (Tr)		
Progênie (P)	$Q_5$	$\sigma_e^2/r + \sigma_{AxP}^2 + a \sigma_P^2$
Progênies A (PA)	$Q_6$	$\sigma_e^2/r + \sigma_{AxPA}^2 + a \sigma_{PA}^2$
Progênies B (PB)	$Q_7$	$\sigma_e^2/r + \sigma_{AxPB}^2 + a \sigma_{PB}^2$
PA vs PB		
Testemunha (T)		
P vs T		
A x Tr		
A x P	$Q_8$	$\sigma_e^2/r + \sigma_{AxP}^2$
A x PA	$Q_9$	$\sigma_e^2/r + \sigma_{AxPA}^2$
A x PB	$Q_{10}$	$\sigma_e^2/r + \sigma_{AxPB}^2$
A x PA vs PB		
A x T		
A x P vs T		
Erro	$Q_{11}$	$\sigma_e^2/r$

$\sigma_e^2$ : variância do erro;  $\sigma_{P_i}^2$ : variância genética entre progênies;  $\sigma_{PA_i}^2$ : variância genética entre PA;  $\sigma_{PB_i}^2$ : variância genética entre PB;  $\sigma_{AxP}^2$ : variância da interação progênies x ambientes;  $\sigma_{AxPA}^2$ : variância da interação PA x ambientes;  $\sigma_{AxPB}^2$ : variância da interação PB x ambientes; a: número de ambientes; r: número de repetições (campo: r= 3; casa de vegetação: r= 2).



A partir das esperanças dos quadrados médios apresentados na Tabela 5, foram estimadas, a variância genética ( $\sigma_G^2$ ), variância fenotípica ( $\sigma_F^2$ ) e a herdabilidade ( $h^2$ ) no sentido amplo entre todas as progênies, entre as PA e entre as PB para os dois métodos de avaliação, campo e casa de vegetação, pelos seguintes estimadores:

$$\sigma_P^2 = \frac{Q_5 - Q_8}{a} \quad \sigma_{PA}^2 = \frac{Q_6 - Q_9}{a} \quad \sigma_{PB}^2 = \frac{Q_7 - Q_{10}}{a}$$

$$\sigma_{FP}^2 = \frac{Q_5}{a} \quad \sigma_{FPA}^2 = \frac{Q_6}{a} \quad \sigma_{FPB}^2 = \frac{Q_7}{a}$$

$$h_P^2 = \frac{Q_5 - Q_8/a}{Q_5/a} \times 100 \quad h_{PA}^2 = \frac{Q_6 - Q_9/a}{Q_6/a} \times 100 \quad h_{PB}^2 = \frac{Q_7 - Q_{10}/a}{Q_7/a} \times 100$$

Para determinar os intervalos de confiança para as estimativas da herdabilidade, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas, de acordo com as expressões apresentados por Knapp et al. (1985).

Para as progênies:

$$LI = 1 - [(Q_5/Q_8)]/F_{(1-\alpha/2)}^{-1}$$

$$LS = 1 - [(Q_5/Q_8)]/F_{(\alpha/2)}^{-1}$$

Para as PA:

$$LI_{PA} = 1 - [(Q_6/Q_9)]/F_{(1-\alpha/2)}^{-1}$$

$$LS_{PA} = 1 - [(Q_6/Q_9)]/F_{(\alpha/2)}^{-1}$$

Para as PB:

$$LI_{PB} = 1 - [(Q_7/Q_{10})]/F_{(1-\alpha/2)}^{-1}$$

$$LS_{PB} = 1 - [(Q_7/Q_{10})]/F_{(\alpha/2)}^{-1}$$

### **3.7. Estimativa da coincidência entre as avaliações das progênies no campo e em casa de vegetação**

Para estimar a coincidência entre as progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de incidência da doença (progênies A - PA) e com inoculação artificial (progênies B - PB) em cada ambiente (local e safra) e método de avaliação (campo e casa de vegetação) para as notas de severidade da mancha-angular, as progênies foram classificadas conforme sua reação de resistência ou suscetibilidade à *P. griseola*. As progênies que receberam notas de severidade da mancha angular de 1 a 3 foram consideradas resistentes e as progênies com notas superiores a 3 foram classificadas como suscetíveis. Além disso, foram também obtidas as estimativas de correlação entre as notas médias de severidade de mancha angular das progênies nos vários ambientes em que foram avaliadas.

Todas as análises de variância foram realizadas utilizando-se o programa R.

## **4. RESULTADOS**

Diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) foram observadas entre as progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de incidência da doença (progênies A - PA) e com inoculação artificial (progênies B - PB) em cada ambiente (local e safra) e método de avaliação (campo e casa de vegetação) para as notas de severidade da mancha-angular, evidenciando a existência de variabilidade entre as progênies em relação ao nível de resistência à *P. griseola* nas diferentes condições de avaliação (Tabelas 1A a 4A do Anexo). As testemunhas diferiram apenas nas avaliações realizadas em condições controladas com os isolados coletados em Lavras na safra da seca de 2017 e com os isolados de Lambari da safra da seca de 2018 (Tabelas 1A e 2A do Anexo). Nessas condições, a cultivar Pérola apresentou nota ligeiramente superior à da Carioca MG. Nas avaliações realizadas em campo, as testemunhas não diferiram (Tabelas 3A e 4A do anexo).

Foi realizada a análise de variância conjunta das progênies nos diversos ambientes considerando cada método de avaliação, campo ou condições controladas (TABELA 8). Verificou-se que houve diferença significativa entre todos os tipos de progênies pelos dois métodos. Nas avaliações realizadas no campo, não houve diferença entre a média dos dois tipos de progênies, conforme pode ser verificado pela não

significância do contraste PA vs PB. Já em condições controladas, houve diferença entre a média dos dois tipos de progênies.

Em casa de vegetação, as notas médias de severidade de mancha angular variaram de 1,4 a 5,0 entre todas as progênies; entre as PA, de 1,5 a 5,0 e entre as PB de 1,4 a 4,1 (TABELA 8). Considerando as progênies com notas inferiores a 3,0 como resistentes, verificou-se que 67,9% das PA e 83,9% das PB foram resistentes à mancha angular em casa de vegetação (FIGURA 4). Para as avaliações em campo, houve uma variação de 2,0 a 7,1, entre as notas de todas as progênies, de 2,0 a 6,5 para as PA e de 2,0 a 7,1 para as PB (TABELA8). As porcentagens de resistência foram bem inferiores às observadas em casa de vegetação, 18,8% para as PA e 17,4% para PB (FIGURAS 4 e 5).

De maneira geral pode-se observar que a severidade da doença no campo foi maior que em casa de vegetação para os dois tipos de progênies (TABELA 8 e FIGURA 4). Entretanto, para as PB, que são oriundas de seleção em condições controladas, na fase V2 das plantas, as notas no campo foram superiores às notas obtidas em casa de vegetação. Já no caso das PA, oriundas de seleção realizada no campo, as notas foram maiores em casa de vegetação. As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos obtidos na média dos quatro ambientes dentro de cada método de avaliação evidenciaram também que as progênies diferiram com relação a severidade de ocorrência do patógeno. As estimativas de herdabilidade podem ser consideradas elevadas, superiores à 60% em todos os casos, com limites inferiores positivos, indicando a possibilidade de sucesso com a seleção nas duas condições de avaliação das progênies (TABELA 9).

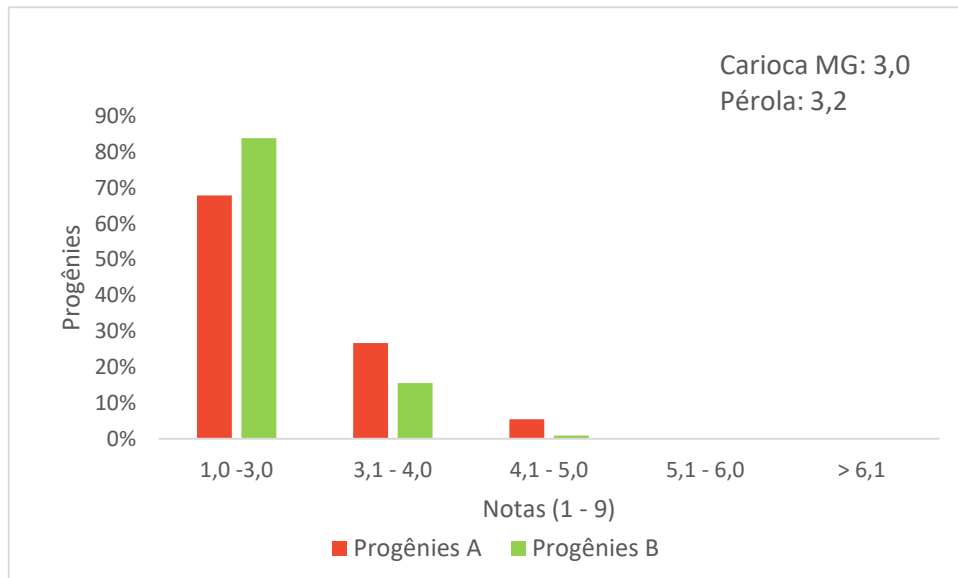
Tabela 8 - Resumo das análises de variância para a severidade da mancha angular (notas de 1 a 9) em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (PA) e com inoculação artificial (PB), avaliadas no campo em quatro ambientes (Lavras e Lambari nas safras da "seca" de 2017 e 2018) e em casa de vegetação, com inoculação de mistura de isolados de *P. griseola* coletados nesses ambientes.

FV	GL	Campo		Casa de Vegetação	
		QM	P valor	QM	P valor
Ambiente (A)	3	106,534	0,00	16,07	0,00
Tratamento (Tr)	120	0,962	0,00	0,757	0,00
Progênie (P)	118	0,903	0,00	0,757	0,00
Progênies A (PA)	59	0,846	0,00	0,734	0,00
Progênies B (PB)	58	0,952	0,00	0,564	0,00
PA vs PB	1	1,460	0,25	13,307	0,00
Testemunha (T)	1	0,211	0,43	0,061	0,56
P vs T	1	8,630	0,07	1,477	0,26
A x Tr	360	0,315	0,02	0,162	0,52
A x P	354	0,312	0,02	0,163	0,50
A x PA	177	0,272	0,35	0,199	0,05
A x PB	174	0,339	0,01	0,115	1,00
A x PA vs PB	3	1,137	0,00	0,773	0,00
A x T	3	0,251	0,41	0,141	0,46
A x P vs T	3	0,713	0,04	0,079	0,69
Erro	840	0,261		0,163	
Progênies		4,1 (2,0 - 7,1)		2,7 (1,4 - 5,0)	
PA		4,0 (2,0 - 6,5)		2,8 (1,5 - 5,0)	
PB		4,1 (2,0 - 7,1)		2,5 (1,4 - 4,1)	
Carioca MG		5,3		3,0	
Pérola		5,0		3,2	
CV (%)		12,5		15,0	
rg'g (%)		80,9		88,6	

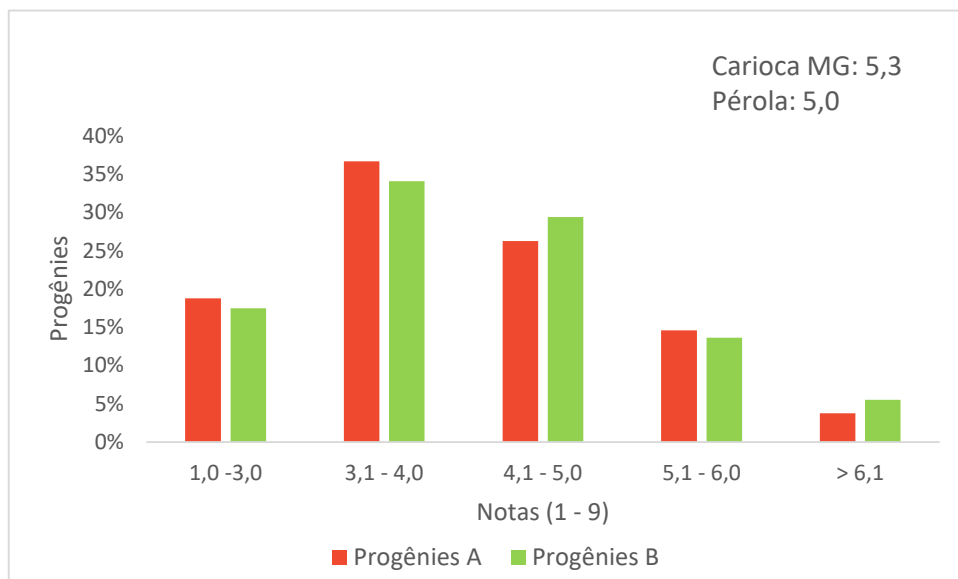
Figura 4- Distribuição de frequência das notas (1-9) de severidade de mancha angular em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (PA) e com inoculação artificial (PB) em

quatro ambientes (Lavras e Lambari nas safras da "seca" de 2017 e 2018), avaliadas por dois métodos: A) Em casa de vegetação com inoculação artificial de *P. griseola*; B) No campo com ocorrência natural do patógeno.

A)



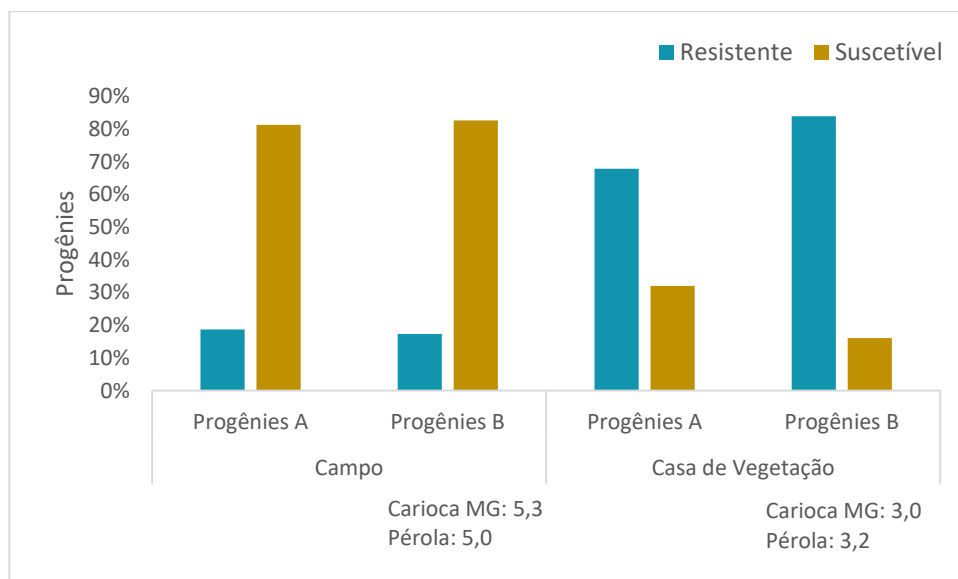
B)



Fonte: Do Autor

Figura 5- Porcentagem de progênies A (obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência de mancha angular) e de progênies B (obtidas com inoculação artificial *P. griseola*), resistentes (notas de severidade de mancha angular  $\leq 3,0$ ) e suscetíveis (notas  $\geq 3,1$ ) a mancha

angular quando avaliadas em duas condições diferentes: campo com ocorrência natural de *P. griseola* e casa de vegetação com inoculação artificial de *P. griseola*.



Fonte: Do Autor

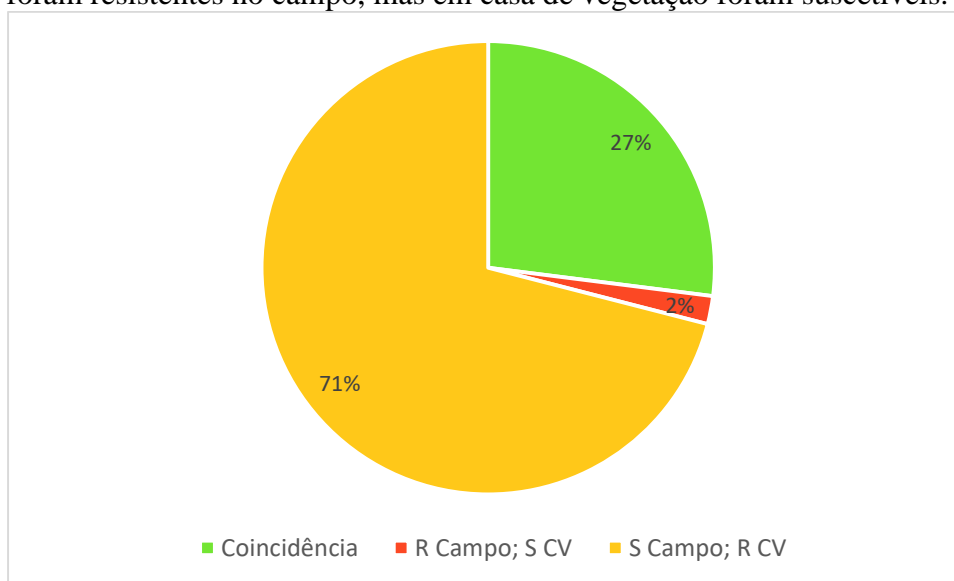
Tabela 9 - Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos para a severidade da mancha angular (notas de 1 a 9) em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (PA) e com inoculação artificial (PB), avaliadas no campo em quatro ambientes (Lavras e Lambari nas safras da "seca" de 2017 e 2018) e em casa de vegetação, com inoculação de mistura de isolados de *P. griseola* coletados nesses ambientes.

	Campo	Casa de vegetação
$\hat{\sigma}_G^2$	0,148	0,148
$\hat{\sigma}_{G_{PA}}^2$	0,143	0,143
$\hat{\sigma}_{G_{PB}}^2$	0,153	0,112
$\hat{\sigma}_F^2$	0,226	0,189
$\hat{\sigma}_{F_{PA}}^2$	0,211	0,183
$\hat{\sigma}_{F_{PB}}^2$	0,238	0,141
$h_P^2$ (%)	65,5 (53,0 - 74,0)	78,5 (70,7 - 83,8)
$h_{PA}^2$ (%)	67,8 (50,0 - 78,4)	77,8 (57,8 - 81,8)
$h_{PB}^2$ (%)	64,4 (44,4 - 76,2)	79,6 (68,1 - 86,3)

Visando identificar as progênies que foram resistentes ou suscetíveis nas duas condições, foi estimada a porcentagem de coincidência entre as avaliações realizadas no campo e em casa de vegetação com inoculação artificial de *P. griseola*. Considerando

todas as progênies avaliadas, 27% apresentaram a mesma classificação, ou seja, as progênies resistentes em casa de vegetação também foram resistentes em campo, assim como as suscetíveis. Cerca de 73% das progênies apresentaram comportamento não coincidente nos dois métodos. Um total de 71% das progênies foi resistente em casa de vegetação, mas no campo foi suscetível, enquanto apenas 2% das progênies que foram suscetíveis em casa de vegetação, foram resistentes no campo (FIGURA 6).

Figura 6- Porcentagem de coincidência das avaliações realizadas no campo e em casa de vegetação. S-Campo, R-CV: Progênies que foram suscetíveis no campo, mas em casa de vegetação foram resistentes, R-Campo, S-CV: Progênies que foram resistentes no campo, mas em casa de vegetação foram suscetíveis.



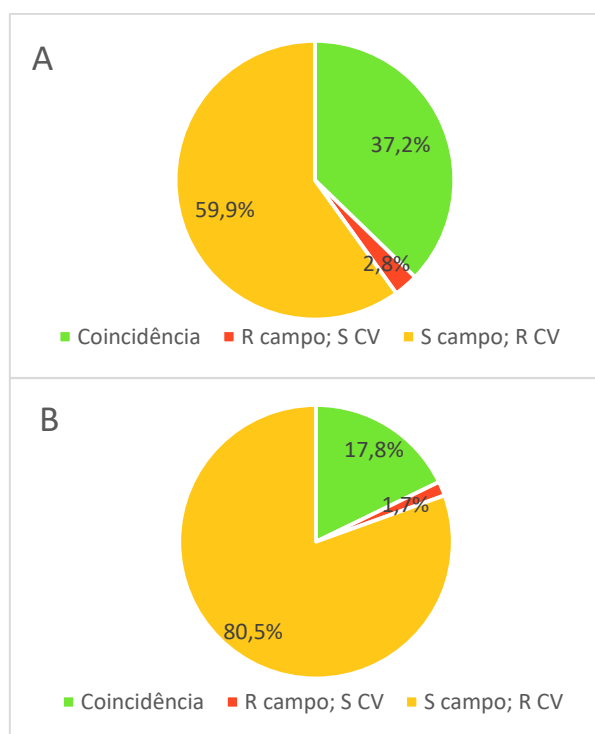
Fonte: Do Autor

Dentre as PA, 37,2% apresentaram reação coincidente pelos dois métodos, ou seja, as progênies resistentes em casa de vegetação também foram resistentes em campo, assim como as suscetíveis (FIGURA 7). Cerca de 68,2% das PA apresentaram comportamento não coincidente. Destas, 59,9% foram resistentes em casa de vegetação, mas no campo suscetíveis. O contrário também foi observado, 2,8% das progênies foram suscetíveis em casa de vegetação, mas resistentes no campo. Na avaliação das PB, o número de plantas coincidentes foi menor, 17,8%. Do restante não coincidente, 80,5% foram suscetíveis no campo e resistentes em casa de vegetação e apenas 1,7% apresentaram resistência no campo, mas em casa de vegetação foram suscetíveis (FIGURA 7).

A baixa coincidência de desempenho das progênies no campo e casa de vegetação também pode ser confirmada pelas estimativas de correlação entre as notas

médias de severidade de mancha angular das progênies nos vários ambientes em que foram avaliadas (Tabela 10). Observa-se que, das 28 estimativas possíveis para cada tipo de progênie, 12 foram não significativas entre as PA e 16 entre as PB. O maior número de correlações significativas do desempenho em campo e condições controladas foi entre as PA (seis estimativas significativas). Entre as PB apenas uma estimativa envolvendo campo e condições controladas foi significativa, enquanto das 16 não significativas, 15 envolveram essas duas condições de avaliação. Entre as PA, das 12 correlações não significativas, nove foram entre campo e condições controladas.

Figura 7- Nível de coincidência das avaliações realizadas no campo e em casa de vegetação para as progênies: A) Progênies A - obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença; B) Progênies B - obtidas por seleção com inoculação artificial. S-Campo, R-CV: Progênies que foram suscetíveis no campo, mas em casa de vegetação foram resistentes, R-Campo, S-CV: Progênies que foram resistentes no campo, mas em casa de vegetação foram suscetíveis.



Fonte: Do Autor

Tabela 10 - Coeficientes de correlação entre as notas de severidade de mancha angular em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência de mancha angular (progênies A-acima da diagonal) e com inoculação artificial (progênies B-abaxo da diagonal), avaliadas no campo (CP) em condições naturais de ocorrência da doença em Lavras (LV) e



Lambari (LB) nos anos de 2017 e 2018 e em casa de vegetação (CV), com inoculação de mistura de isolados de *P. griseola* coletados nesses ambientes.

Ambientes	CP	CV	CP	CV	CP	CV	CP	CV
	LV-17	LV-17	LB-17	LB-17	LV-18	LV-18	LB-18	LB-18
CP-LV-17		-0,08	0,40**	0,15	0,30*	0,17	0,23	0,14
CV-LV-17	-0,23		0,36**	0,57**	0,12	0,41**	0,40**	0,18
CP-LB-17	0,46**	-0,16		0,41**	0,41**	0,34**	0,28*	0,19
CV-LB-17	0,08	0,46**	0,22		0,11	0,62**	0,36**	0,52**
CP-LV-18	0,38**	0,19	0,29*	0,10		-0,00	0,45**	-0,01
CV-LV-18	0,02	0,37**	0,29*	0,61**	0,04		0,274*	0,66**
CP-LB-18	0,02	0,10	0,26*	0,01	0,26*	0,06		0,22
CV-LB-18	-0,02	0,43**	0,23	0,59**	0,11	0,68**	-0,02	

\* e \*\*: Estimativa de correlação significativa pelo teste t ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

## 5. DISCUSSÕES

Em um programa de melhoramento visando a resistência à doenças, evidentemente, é indispensável que a doença alvo do programa ocorra. Em se tratando da mancha angular no feijoeiro, no estado de Minas Gerais ela é de ocorrência comum na safra da seca, semeadura em fevereiro/março, quando as condições ambientais são mais favoráveis ao seu desenvolvimento (MODA-CIRINO et al., 2012; LOBO JÚNIOR, 2014). Por esse motivo, no programa de seleção recorrente (SR) visando a obtenção de linhagens de feijoeiro resistentes à mancha angular da UFLA/EMBRAPA, conduzido desde 1998 em Minas Gerais, a avaliação e seleção de progênies vem sendo realizada em condições naturais de ocorrência da doença, nessa safra. Até então o programa tem sido eficiente na obtenção de progênies que têm aliado boa resistência ao patógeno, à grãos tipo carioca de boa qualidade e produtividade (AMARO et al., 2007; ARANTES et al., 2010; REZENDE et al., 2014). Nos cinco primeiros ciclos foi obtido ganho com a seleção para resistência de 6,4% por ciclo seletivo (AMARO et al., 2007). Atualmente esse programa encontra-se em seu 20º ciclo seletivo. Contudo, à medida que o programa avança e as progênies se tornam mais resistentes, as diferenças a serem

detectadas se tornam cada vez menores. Assim, para se continuar tendo sucesso, é necessário que a precisão na avaliação das progênes seja a melhor possível.

Nas avaliações realizadas em condições naturais no campo podem ocorrer algumas dificuldades, como a não ocorrência da doença em severidade suficiente para discriminação das progênes ou a ocorrência de outras doenças, além da mancha angular, que mascaram os sintomas, dificultando a avaliação com boa precisão. Uma opção para superar essas dificuldades é a avaliação em condições controladas, com inoculação do patógeno, conforme realizado nesse trabalho. Pelas estimativas de acurácia, que refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro e aquele estimado por informações experimentais, verificou-se que as duas condições proporcionaram precisão semelhante. Nas avaliações realizadas em casa de vegetação as estimativas de acurácia variaram de 61,4 a 76,6% e no campo, de 61,2 a 70,4% (TABELAS 1A a 4A do Anexo). Portanto, verificou-se que, em termos de precisão, apesar das dificuldades mencionadas, a avaliação no campo pode ser considerada semelhante à realizada em condições controladas. Em outros trabalhos conduzidos na região, as precisões obtidas nas avaliações no campo têm sido inferiores, com menor acurácia, que as obtidas em condições controladas (LIBRELON, 2016; PEREIRA, 2017; PÁDUA, 2017).

Na maioria dos trabalhos que utilizam inoculação artificial são utilizadas raças já identificadas, como por exemplo a 63-63 e 63-23, que são de ampla ocorrência no estado de Minas Gerais (SILVA et al., 2008; PEREIRA et al., 2015). Contudo, em trabalho em que foi comparada inoculação de isolados individualmente e mistura dos isolados, foi verificado que a inoculação da mistura se mostrou mais agressiva e que se aproximaria mais da população do patógeno que ocorre naturalmente nos campos de feijoeiro (PEREIRA, 2017). Assim, a fim de tentar reproduzir o ambiente do campo, foi utilizada uma mistura de isolados coletados no próprio campo onde foi conduzido o experimento, esperando com isso refletir as mesmas condições, sem o inconveniente de ocorrência de outras doenças. Em princípio, essa estratégia pode ser considerada como eficiente, uma vez que permitiu discriminar as progênes com boa precisão tanto no campo quanto em condições controladas (TABELAS 1A a 4A do Anexo).

Em um programa de melhoramento visando resistência a doença também é importante utilizar cultivares testemunhas que apresentem reação já conhecida ao patógeno. No caso de *P. griseola*, as cultivares Carioca MG (considerada suscetível) e Pérola (moderadamente resistente) têm sido utilizadas desde o início do programa de

SR como testemunhas (AMARO et al., 2007; ARANTES; ABREU; RAMALHO, 2010; REZENDE et al., 2014). Entretanto, nesse trabalho, elas diferiram apenas nas avaliações realizadas em casa de vegetação com os isolados de Lavras na safra da seca de 2017 e com os isolados de Lambari da safra da seca de 2018 (TABELAS 1A e 2A do Anexo). No campo, as duas testemunhas foram suscetíveis à mancha angular (TABELAS 3A e 4A do Anexo). O mesmo fato tem sido observado em avaliações dessas linhagens em outras safras na região (REZENDE et al., 2011; LIMA et al., 2011; REZENDE et al., 2014; LIBRELON, 2016; PÁDUA, 2017). Uma possível explicação é que, apesar do genótipo das testemunhas não ter mudado, as raças do patógeno mais frequentes mudam com o tempo, conforme já verificado em diversos levantamentos da variabilidade desse patógeno (SILVA et al., 2008; PEREIRA et al., 2015; SANGLARD et al., 2016). Assim sendo, provavelmente tem havido mudança de raças ao longo do tempo, que têm vencido a resistência da cultivar Pérola. Mas, o programa de SR tem conseguido acompanhar essa evolução, haja vista que foram identificadas progênies resistentes em todos os ambientes considerados (FIGURAS 6 e 7). Com a SR, provavelmente têm sido acumulados alelos de resistência de vários genes, nas progênies. De acordo com Nelson et al. (2018), a resistência poligênica, associada a diversos mecanismos de defesa é necessária para fornecer proteção duradoura contra patógenos que têm a capacidade de evoluir rapidamente. A probabilidade do patógeno “quebrar” essa resistência, utilizando seus mecanismos naturais de geração de variabilidade é reduzida (MATIELLO; BARBIERI; CARVALHO, 1997; NELSON et al., 2018).

Nas análises de variância conjunta considerando a avaliação das progênies separadamente pelos métodos campo e condições controladas nos diversos ambientes, verificou-se diferença significativa entre todos os tipos de progênies e também altas estimativas de herdabilidade por todos os métodos, principalmente na avaliação em condições controladas (TABELAS 8 e 9). A maior herdabilidade em condições controladas, nesse caso, pode ser atribuída à menor estimativa de variância fenotípica, evidentemente, devido ao maior controle ambiental (RAMALHO et al., 2012). As estimativas de herdabilidade para a resistência a *P. griseola* no feijoeiro variam consideravelmente na literatura. Entretanto, frequentemente têm sido obtidas estimativas elevadas (AMARO et al., 2007; ARANTES; ABREU; RAMALHO, 2010; CHILAGANE et al., 2013; LIBRELON, 2016).

É interessante também destacar que não foi verificada interação entre as PA e os ambientes nas avaliações realizadas no campo. Levando em consideração que os

ambientes se referem à dois locais e duas safras de cultivo, pode-se inferir que as PA podem ter acumulado alelos de resistência de vários genes, conforme aventado anteriormente. Esse tipo de resistência é a chamada resistência horizontal ou quantitativa (PARLEVLIET & ZADOKS, 1977; VANDERPLANK, 1968; NELSON et al., 2018) e é a que mais interessa em um programa de seleção recorrente, para que a variabilidade não seja exaurida. Contudo, quando avaliadas em condições controladas, ocorreu o contrário. A interação com ambientes foi significativa apenas entre as PB, confirmando que o método de obtenção e avaliação pode interferir na reação das progênies. Há pelo menos duas hipóteses para explicar essa situação. A primeira é que, apesar da inoculação em condições controladas ter sido realizada com uma mistura de isolados coletados no campo, essa amostra pode não ter contido todas as possíveis raças que estavam no campo. Outra questão é que a inoculação em condições controladas é realizada no estágio V2 das plantas e, no campo, os sintomas da doença normalmente aparecem no final do ciclo, quando foi realizada a avaliação. Ou seja, a resistência avaliada no campo é da planta adulta e em condições controladas, de plantas jovens. Conseqüentemente, das correlações não significativas, a maioria foi entre o desempenho das PB no campo e condições controladas (TABELA 10). Estudos mostram que alguns genes de resistência são expressos somente no estágio de planta adulta, como nos patossistemas *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* - trigo e *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* - aveia (BARCELLOS et al., 1997; FIGUEIRÓ, 2012).

Observou-se que a nota média em casa de vegetação foi inferior à observada no campo (TABELA 8 e FIGURA 5) e que o comportamento das progênies foi melhor (menor nota de severidade) pelo método de avaliação semelhante ao de sua origem, reforçando a hipótese de que genes diferentes estão sendo expressos em casa de vegetação e no campo, conforme mencionado. Além disso, é importante comentar que na safra da seca de 2017, no campo em Lavras, foram observadas outras doenças junto à mancha angular, o que dificultou a avaliação e pode ter levado à atribuição de notas maiores. Com isso, as notas no campo nessa safra foram superiores às da safra de 2018 e também às das duas safras em Lambari (TABELA 3A do Anexo). Entretanto, notas mais elevadas no campo também foram obtidas por Pereira (2017) no mesmo patossistema. Este fato demonstra a importância de se utilizar os dois tipos de avaliação para que haja maior segurança na seleção.

A principal questão a ser respondida nesse trabalho é: as progênies selecionadas em condições artificiais terão o mesmo desempenho quando cultivadas no campo, que

será o local em que serão efetivamente utilizadas? Para tentar respondê-la, as condições de campo foram reproduzidas em casa de vegetação, utilizando uma mistura de isolados do patógeno, diferentemente de trabalhos semelhantes realizados anteriormente em que foi empregado apenas um isolado de *P. griseola* (LIBRELON, 2016; PÁDUA, 2017). Verificou-se que, entre as PA, 37,2% apresentaram reação coincidente pelos dois métodos e, entre as PB, apenas 17,8% (FIGURA 7). Essa menor coincidência entre as PB indica que a seleção utilizando apenas um isolado do patógeno, conforme realizado na obtenção das PB, pode não ser eficiente devido à grande variabilidade que ocorre em condições de campo, conforme já mencionado (SILVA et al., 2008; PEREIRA et al., 2015; SANGLARD et al., 2016).

A porcentagem de progênies resistentes no campo (18,8% para as PA e 17,1% para as PB) foi bem inferior à porcentagem de resistência em condições controladas (67,9% das PA e 83,9% das PB) (FIGURAS 4 e 5). Isso indica que progênies selecionadas como resistentes em condições controladas, no estágio V2 das plantas, também devem ser submetidas à avaliação no campo para confirmar a resistência. Nesse caso as avaliações devem ser realizadas em torno de 30 dias após o florescimento que, no campo, é o melhor estágio para a discriminação de resistência no feijoeiro (REZENDE et al., 2014). Esse resultado reforça o que foi comentado anteriormente, de que diferentes genes podem atuar na resistência em plantas jovens e adultas (BARCELLOS et al., 1997; FIGUEIRÓ, 2012). Maior coincidência de reação tem sido observada comparando avaliações em condições controladas, porém, no estágio V3, e campo (PEREIRA, 2017). Contudo, para avaliações no estágio V3 as plantas têm que ser cultivadas em vasos, o que requer grande espaço em casa de vegetação e também grande quantidade de inóculo. Nas fases iniciais de avaliação das progênies, como por exemplo, geração  $S_{0:1}$  nos programas de SR, o número de progênies a serem avaliadas é muito grande, tornando praticamente inviável essa estratégia.

A maior porcentagem de não coincidência foi observada na classificação de resistência em casa de vegetação e suscetibilidade no campo (59,9% das PA e 80,5% das PB) (FIGURA 7). Apenas 2,8 % das PA e 1,7% das PB foram resistentes no campo e suscetíveis em casa de vegetação (FIGURA 7). Esses resultados indicam que progênies selecionadas em condições controladas, no estágio V2, têm maior probabilidade de serem suscetíveis no campo, que progênies selecionadas no campo. Trabalhos semelhantes realizados anteriormente obtiveram maiores coincidências entre as avaliações nessas duas condições. Pádua (2017) observou coincidência de 44% entre

as progênies avaliadas em campo e casa de vegetação para a resistência a *P. griseola*. Pereira et al. (2016) ao avaliar linhagens de feijoeiro também para a resistência a *P. griseola* em diferentes estádios de desenvolvimento obteve coincidência de 69% entre as avaliações no campo e no estádio V2. Já Librelon (2016) obteve estimativa de coincidência de 78%. Contudo, esses trabalhos foram realizados por apenas uma safra de cultivo e em apenas um local, enquanto aqui foram utilizados quatro ambientes (duas safras e dois locais). Portanto, é esperado que representem melhor o que ocorre no cultivo do feijoeiro, onde ocorre grande variabilidade de raças e que variam com o tempo e local (SILVA et al., 2008, PEREIRA et al., 2015; SANGLARD et al., 2016).

Os resultados obtidos indicam que uma boa estratégia para seleção de progênies com resistência à mancha angular em programas de melhoramento, seria, nas gerações iniciais, onde o número de progênies é elevado, realizar as avaliações no estádio V2 em condições controladas com inoculação de mistura de isolados coletados na região de cultivo, apenas para descarte das progênies mais suscetíveis. As que forem consideradas resistentes devem então ser submetidas à avaliações no campo, no maior número de ambientes possível para seleção daquelas com resistência mais ampla e durável. Agindo dessa forma a variabilidade entre as progênies pode ser explorada, economizando-se espaço, trabalho e recursos nas avaliações de campo. Nas gerações mais avançadas dos programas, com número bem menor de progênies, os dois métodos poderiam ser utilizados para seleção mais precisa de linhagens, inclusive avaliações no estádio V3, conforme também indicado por Pereira (2017).

## **6. CONCLUSÕES**

A avaliação da severidade de mancha angular no feijoeiro com inoculação artificial em condições controladas pode levar à seleção de progênies que serão suscetíveis em condições naturais de ocorrência da doença. Ela deve ser utilizada para uma triagem inicial e eliminação das progênies mais suscetíveis. As selecionadas devem ser submetidas às avaliações no campo, em vários ambientes, com incidência natural do patógeno, para identificação daquelas com resistência mais ampla.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ-AYALA, G.; SCHWARTZ, H. F. Preliminary investigations of pathogenic variability expressed by *Phaeoisariopsis griseola*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 22, p. 86-87, 1979.
- AMARO, G. B.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, p. 584-588, 2007.
- ANDRADE, M. J. B. de Fitotecnia. In: RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F.B.; GUILHERME, S. R. (Eds) **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2015-2017**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014, p.44-96.
- ARANTES, L. de O.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P. Eight cycles of recurrent selection for resistance to angular leaf spot in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 232-237, 2010.
- BALBI, B. P.; SANGLARD, D. A.; ARRUDA, K. M. A.; COSTA, M. R.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Characterization of *Pseudocercospora griseola* isolates collected in th estate of Minas Gerais, Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 52, p. 56-57, 2009.
- BARCELLOS, A. L.; MORAES-FERNANDES, M. I. B; ROELFS, A. P. Ferrugem da folha do trigo (*Puccinia recondita*): durabilidade da resistência. **Summa Phytopathol**, v. 23, p.101-111, 1997.
- BIANCHINI, A.; MARINGONI, A.C.; CARNEIRO, S.M.T.P.G. Doenças do feijoeiro. In: KIMATI, H., AMORIM, C., BERGAMIN FILHO, A., CAMARGO, L.E.A. & REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia. Doenças das Plantas Cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005, v.2, 4.ed.
- BOREL J. C.; RAMALHO M. A. P.; ABREU A. F. B.; Maia L. G. S. (2011). Genetic control of the angular leaf spot reaction in common bean leaves and pods. **Sci. Agric**. 2011. 68: p. 661-664.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa MG: Editora: UFV, 2017. v. 7. p. 296-320.
- BOYKO, A.; KOVALCHUK. I. Genome instability and epigenetic modification - heritable responses to environmental stress? **Current Opinion in Plant Biology**, Alexandria, v. 14, n. 3, p. 260-266, June 2011.
- BRESSAN, R.A., et al. "Epigenetics Connects the Genome to Its Environment." **Plant Breeding Reviews**, Westport, v. 38, p. 69-142, Nov. 2014.
- BROCK, R. D. Resistance to angular leaf spot among varieties of beans. **Journal Australian Institute Agricultural Science**, Melbourne, v. 17, n. 1, p. 25-30, 1951.

CAIXETA, E. T.; BORÉM, A.; ALZATE-MARIN, A. L.; FAGUNDES, S. A.; SILVA, M. G. M.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Allelic relationships for genes that confer resistance to angular leaf spot in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 145, n. 3, p. 237-245, Oct. 2005.

CAIXETA, E. T. et al. Inheritance of angular leaf spot resistance in common bean line BAT 332 and identification of RAPD markers linked to the resistance gene. **Euphytica**, Wageningen, 2003. v. 134, n. 3, p. 297-303, Dec.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL - CIAT. **Annual report 1985**: bean program. Cali, 1986. p. 27-34. (Working Document, n. 14).

CHILAGANE et al. Incorporation of resistance to angular leaf spot and bean common mosaic necrosis virus diseases into adapted common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype in Tanzania. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, p. 4343-4350, 2013.

CONAB. **Levantamentos de Safra**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: fevereiro. 2019.

CORDEIRO, A. C. C. Desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado para a região tropical do Brasil no período de 2009 a 2014. **Documentos 60** / Antônio Carlos Centeno Cordeiro, Paula Pereira Torga. – Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2017.

CORREA-VICTORIA, F.J. **Pathogenic variation, production of toxic metabolites, and isozyme analysis in *Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferr.** 1987. 120 p. Thesis (PhD in Botany and Plant Pathology) - Michigan State University, East Lansing.

FIGUEIRÓ, A. A. **Aspectos moleculares e bioquímicos associados à resistência parcial à ferrugem da folha em *Avena sativa* L.** 2012. 206 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GAO, D. et al. Annotation and sequence diversity of transposable elements in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Frontiers in plant science**, Lausanne, v. 5, p. 339, July 2014.

GEPTS, P.; BLISS, F. A. Phaseolin variability among wild and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Colômbia. **Economic Botany**, New York, v. 40, n. 4, p. 469-478, Oct/Dec, 1986.

GODOY, C. V. et al. Evaluation of recurrent selection families for tolerance to water deficit in common bean. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation. **Zeitschrift Fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, Stuttgart, v. 104, n. 4, p. 336-345, 1997.

GUZMÁN, P.; GILBERTSON, R. L.; NODARI, R.; JOHNSON, W. C.; TEMPLE, S. R.; MANDALA, D.; MKANDAWIRE, A.B.C.; GEPTS, P. Characterization of variability in the fungus *Phaeoisariopsis griseola* suggests evolution with the common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Phytopathology**, Saint Paul, v. 85, n. 5, p. 600-607, May 1995.



- HABGOOD, R. M. Designation of physiological races of plant pathogens. **Nature**, London, v. 227, n. 19, p. 1268-1269, Set. 1970.
- HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 9, n. 1, p. 115-179, June 1992.
- JARA, C. et al. Virulence diversity of *Pseudocercospora griseola* and its implication for breeding Common bean for resistance to angular leaf spot. In: **International Center for Tropical Agriculture (CIAT)**. Cali, Colombia: poster 1 p, 2015.
- KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, v. 25, n. 1, p. 192-194, 1985
- LEITE, M. E. et al. Increasing the resistance of common bean to white mold through recurrent selection. **Scientia Agricola**, 2016. v. 73, n. 1, p. 71-78.
- LIBRELON, S. S. et al. Diagrammatic scale to evaluate angular leaf spot severity in primary leaves of common bean. **Australasian Plant Pathology**, v. 44, p. 385-395, 2015.
- LIBRELON, S. S. **Seleção Recorrente visando a Resistência à Mancha Angular no feijoeiro com Inoculação Artificial Precoce**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, 2016.
- LIMA, D. C. et al. Avaliação de linhagens de feijoeiro de um programa de seleção recorrente quanto a reação a raça 63-31 de *Pseudocercospora griseola*. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2011. 1 CD-ROM.
- LOBO JÚNIOR, M. Fitossanidade. In: RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B.; GUILHERME, S.R. (Eds) **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2015-2017**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014, p.106-164.
- MAHUKU, G. S. et al. Inheritance and characterization of angular leaf spot resistance gene present in common bean accession G 10474 and identification of an AFLP marker linked to the resistance gene. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 5, p. 1817-1824, Sept./Oct. 2004.
- MAHUKU, G. S. et al. Inheritance and development of molecular markers linked to angular leaf spot resistance genes in the common bean accession G10909. **Molecular Breeding**, v.28, p.57-71, 2011.
- MAHUKU, G. S.; IGLESIAS, A. M.; JARA, C. Genetics of angular leaf spot markers linked to the resistance genes. **Euphytica**, Wageningen, June 2009.
- MAHUKU, G. S.; IGLESIAS, A. M.; JARA, C. Genetics of angular leaf spot resistance in the Andean common bean accession G5686 and identification of markers linked to the resistance genes. **Euphytica**. v. 167. p. 381-396, 2009.

- MATIELLO, R. R.; BARBIERI, R. L.; CARVALHO, F. I. F. de. Resistência das plantas a moléstias fúngicas. **Ciência Rural**. Santa Maria. v. 27, n. 1 (jan./mar. 1997), p. 161-168, 1997.
- MODA-CIRINO, V.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; CARNEIRO, J.E.S.; WENDLAND, A.; PEREIRA, H.S.; CARNEIRO, P.C.S.; CARNEIRO, V.Q. Mancha-angular. In: PAULA JÚNIOR, T. J. de; WENDLAND, A. (Eds.) **Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças**. Viçosa, MG: EPAMIG Zona da Mata, 2012, p.71-81.
- MONDA, E. T.; SENDERS, F. E.; HICK, A. Infection and colonization of bean leaf by *Phaeoisariopsis griseola*. **Plant Pathology**, Honolulu, v. 50, n. 1, p.103-110, Jan. 2001.
- NELSON, R.; WIESNER-HANKS, T.; WISSER, R. e BALINT-KURTI, P. Navigating complexity to breed disease-resistant crops. **Nature Reviews Genetics**. Jan. 2018. v. 19. n. 10. p. 21-33.
- NIETSCHÉ, S. et al. RAPD and SCAR markers linked to a gene conferring resistance to angular leaf spot in common bean. **Journal of Phytopathology**, Berlin, Feb. 2000. v. 148, n. 2, p. 117–121.
- NIETSCHÉ, S., BORÉM, A., CARVALHO, G. A., PAULA JÚNIOR, T. J., FERREIRA, C. F., BARROS, E. G. & MOREIRA, M. A. Genetic diversity of *Phaeoisariopsis griseola* in the State of Minas Gerais, Brazil. **Euphytica**, v. 117, n. 1, p. 77-84. 2001.
- OLIVEIRA, E. J. de; ALZATE-MARIN, A. L.; BORÉM, A.; MELO, C. L. P.; BARROS, E.G. de; MOREIRA, M.A. Reação de cultivares de feijoeiro comum a quatro raças de *Phaeoisariopsis griseola*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 220-223, mar./abr. 2004.
- PÁDUA, P. F.; Inoculação artificial de *pseudocercosporagriseolana* seleção recorrente visando a resistência no feijoeiro. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras, 2017.
- PARLEVLIET, J.E.; ZADOKS, J.C. The integrated concept of disease resistance; a new view in cluding horizontal and vertical resistance in plants. **Euphytica**, Wageningen, v. 26, n. 1, p. 5-21, Mar, 1977.
- PASTOR-CORRALES, M. A., JARA, C. E. & SINGH, S. Pathogenic variation in, source of, and breeding for resistance to *Phaeoisariopsis griseola* causing angular leaf spot in common bean. **Euphytica**, v. 103, p.161-171. 1998.
- PASTOR-CORRALES, M. A.; JARA, C. La evolución de *Phaeoisariopsis griseola* com el frijol comum em América Latina. **Fitopatologia Colombiana**, Santa Fe de Bogotá, v. 19, n. 1, p. 15-22, 1995.
- PAULA JÚNIOR, T. J. de; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; LOBO JÚNIOR, M.; WENDLAND, A. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In:

CARNEIRO, J.E. de S.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015, p. 270-299.

PAULA-JUNIOR T. J., VIEIRA R. F., ZAMBOLIM L. (2004). **Manejo integrado de doenças do feijoeiro**. Informe Agropecuário 25(223):99-112.

PEREIRA, R.; ABREU, M. J.; SOUZA, E. A. Alternative method to assess the reaction of common bean strains to *Pseudocercospora griseola*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 54, p. 230-231, 2011.

PEREIRA, L. A.; ABREU, A. de F.B.; VIEIRA JÚNIOR, I. C.; PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; Genetic progress estimation strategy Y for upright common bean plant S using recurrent selection. *Genetics and Molecular Research*, v.16, n.1, 2017.

PEREIRA, R. et al. Aggressiveness of *Pseudocercospora griseola* strains in common bean genotypes and implications for genetic improvement. **Genetics and Molecular Research**. Ribeirão Preto, Maio, 2015. p. 5044-5053.

PEREIRA R., SOUZA E. A., BARCELOS Q. L. and ABREU A. B. F. Evaluation of resistance in common bean genotypes to the causal agent of angular leaf spot. *Ann. Rep. BeanImprov. Coop.* 56: 33-34, 2013.

PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, v. 71, n.3, p. 240-243, 2014.

RAGAGNIN, V. A.; SOUZA, T. L. P. O.; SANGLARD, D. A.; ARRUDA K. M. A.; COSTA, M. R.; ALZETE-MARIN A. L.; CARNEIRO, J. E. S.; MOREIRA, M. A. e BARROS E. G. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**. v. 128. 2009.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. Lavras Mg: 2012.UFLA. 522 p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A.F.B.; GUILHERME, S.R. **Informações Técnicas para o Cultivo do feijoeiro comum na região central-Brasileira**. Lavras: Editora FUNDECC, UFLA. 2014. cap. 5 p. 111-115.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B. dos. Impact of angular leaf spot on grain yield of common bean lines. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, v.50, p.97-99, 2007.

REBOLLO, R.; ROMANISH, M.T; MAGER, D.L. Transposable elements: an abundant and natural source of regulatory sequences for host genes. **Annual Review Genetics**, Berlin, v. 46, p. 21-42, Agosto. 2012.

REZENDE, B. A.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P. Ganho com seteciclos de seleção recorrente para resistência a mancha angular e produtividade de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2011. 1 CD-ROM

REZENDE, B. A. et al. Severity evaluation methods in common bean recurrent selection programme for resistance to angular leaf spot. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 162, n. 10, p. 643–649, Oct. 2014.

SANGLARD, D. A. et al. PYRAMIDED LINES OF “CARIOCA” COMMON BEAN AND THEIR REACTION TO *Pseudocercospora griseola*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 1, n. 59, p.197-198, abr. 2016.

SARTORATO, A.; ALZATE-MARIN, A.L. Analysis of the pathogenic variability of *Phaeoisariopsis griseola* in Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 47, p. 235-237, 2004.

SARTORATO, A. & RAVA, C. A. Mancha angular. In: Sartorato, A & Rava, C. A. (Eds.). **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. p. 41-68.

SATTHELTHWAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometric Bulletin**, London, v. 2, p. 110-114, 1946.

SCHOONHOVEN, A. van; PASTOR-CORRALES, M. A. Standard system the evaluation of bean germoplasm. Cali: **CIAT**. p. 54, 1987

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro ‘Carioca’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1437-1442, 2007.

SILVA, K. J. D.; SOUZA, E. A.; SARTORATO, A.; FREIRE, C. N. S. 2008. Pathogenic variability of isolates of *Pseudocercospora griseola*, the cause of common bean angular leaf spot, and its implications for resistance breeding. **Journal of Phytopathology**, 156: p. 602-606. v. 167, n. 3, p.381-396.

SILVA, OSMIRA FÁTIMA DA. **O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro**. / Osmira Fátima da Silva, Alcido Elenor Wander. - Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013.

SINGH, S. P.; SCHWATZ, H. F. Breeding common bean for resistance to diseases: a review. **Crop Science**, Madson, v. 50, n. 6, p. 2199-2223, Nov. 2010.

SOUZA, T. L. P. O.; GONÇALVES-VIDIGAL, MARIA C.; RAATZ, B, MUKANKUSI, C.M., ABREU, A de F. B.; MELO, L.C.; PASTOR-CORRALES, M.A. Major angular leaf spot resistance loci in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 59, p. xv-xviii, 2016.

STENGLEIN, S.A.; FERMOSELLE, G.E.; BALLATI, P.A. Pathogenic and molecular studies of *Phaeoisariopsis griseola* in Argentina. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 92-93, 2005.

VALE, F. X. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; LIBERATO, J. R. Quant: a software for plant disease verity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2003, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch: University Christchurch, 2003. P. 105. Abstract.

VANDERPLANK, J. E. Disease resistance in plants. New York: **Academic Press**, 206 p. 1968.

VIDIGAL, P. S. et al. Molecular markers linked to angular leaf spot resistant genes in common bean accessions from eastern Africa and Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 92-93, 2010.

VIEIRA, C. **Métodos culturais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 57-60, 2004.

WANDER, A. E. Socioeconomia. In: RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; GUILHERME, S. R. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região Central-Brasileira: 2015-2017**. Lavras: Ed. UFLA, 2014, cap. 1, p. 15-35.

## ANEXOS

Tabela 1A - Resumo das análises de variância da severidade da mancha angular (notas de 1 a 9) em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (progênies A) e com inoculação artificial (progênies B) avaliadas em casa de vegetação, com inoculação de mistura de isolados de *P. griseola* coletados em Lavras, MG, nas safras da "seca" de 2017 e 2018.

FV	GL	Seca 2017		Seca 2018	
		QM	P valor	QM	P valor
Tratamento (Tr)	120	1,19	0,00	0,524	0,00
Progênies (P)	118	1,203	0,00	0,524	0,01
Progênies A (PA)	59	1,489	0,00	0,438	0,09
Progênies B (PB)	58	0,595	0,00	0,564	0,01
PA vs PB	1	19,643	0,58	32,149	0,00
Testemunhas (T)	1	0,64	0,00	0,16	0,48
P vs T	1	0,136	0,64	0,907	0,10
Erro	120	0,629		0,326	
<b>Médias</b>					
Progênies		2,9 (1,7 - 5,0)		2,8 (1,6 - 4,3)	
PA		3,2 (1,7 - 5,0)		2,9 (2,0 - 4,1)	
PB		2,6 (1,7 - 4,1)		2,7 (1,6 - 4,3)	
Carioca MG		2,7		3,5	
Pérola		3,5		3,1	
CV (%)		27,0		20,0	
r <sup>2</sup> g (%)		69,1		61,4	

Tabela 2A - Resumo das análises de variância da severidade da mancha angular (notas de 1 a 9) em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (progênies A) e com inoculação artificial (progênies B) avaliadas em casa de vegetação, com inoculação de mistura de isolados de *P. griseola* coletados em Lambari, MG, nas safras da "seca" de 2017 e 2018.

FV	GL	Seca 2017		Seca 2018	
		QM	P valor	QM	P valor
Tratamento (Tr)	120	0,348	0,00	0,428	0,00
Progênies (P)	118	0,3401	0,00	0,428	0,00
Progênies A (PA)	59	0,363	0,00	0,375	0,00
Progênies B (PB)	58	0,271	0,00	0,392	0,00
PA vs PB	1	3,024	0,04	56,205	0,00
Testemunhas (T)	1	0,023	0,80	0,203	0,00
P vs T	1	1,604	0,04	0,733	0,32
Erro	120	0,141		0,206	0,06
<b>Médias</b>					
Progênies		2,1 (1,4 - 3,2)		2,7 (1,6 - 3,9)	
PA		2,2 (1,5 - 3,2)		2,9 (2,0 - 3,9)	
PB		2,0 (1,4 - 2,9)		2,6 (1,6 - 3,8)	
Carioca MG		2,8		3,0	
Pérola		2,7		3,4	
CV (%)		18,0		17,0	
r <sup>2</sup> g (%)		76,6		72,0	

Tabela 3A - Resumo das análises de variância da severidade da mancha angular (notas de 1 a 9) em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (progênies A) e com inoculação artificial (progênies B), avaliadas no campo na cidade de Lavras MG, com incidência natural de *P. griseola*, nas safras da "seca" de 2017 e 2018.

FV	GL	Seca 2017		Seca 2018	
		QM	P valor	QM	P valor
Tratamento (Tr)	120	1,447	0,00	1,771	0,00
Progênies (P)	118	1,453	0,00	1,644	0,00
Progênies A (PA)	59	1,194	0,00	1,386	0,01
Progênies B (PB)	58	1,739	0,00	2,681	0,00
PA vs PB	1	0,065	0,76	1,548	0,19
Testemunhas (T)	1	0,24	0,57	0,06	0,79
P vs T	1	1,005	0,24	6,577	0,01
Erro	210	0,734		0,901	
Médias					
Progênies		5,4 (3,1 - 7,1)		4,1 (2,0 - 5,9)	
PA		5,4 (3,1 - 6,5)		4,0 (2,0 - 5,3)	
PB		5,4 (4,0 - 7,1)		4,2 (2,6 - 5,9)	
Carioca MG		5,7		6,0	
Pérola		6,1		5,8	
CV (%)		16,0		19,0	
r <sup>2</sup> g (%)		70,4		61,2	



Tabela 4A - Resumo das análises de variância da severidade da mancha angular (notas de 1 a 9) em progênies de feijoeiro obtidas por seleção para resistência em condições naturais de ocorrência da doença (progênies A) e com inoculação artificial (progênies B), avaliadas no campo na cidade de Lambari, MG, com incidência natural de *P.griseola*, nas safras da "seca" de 2017 e 2018.

FV	GL	Seca 2017		Seca 2018	
		QM	P valor	QM	P valor
Tratamento (Tr)	120	1,506	0,00	1,005	0,00
Progênies (P)	118	1,472	0,00	0,952	0,00
Progênies A (PA)	59	2,008	0,00	0,876	0,03
Progênies B (PB)	58	1,412	0,00	0,904	0,02
PA vs PB	1	0,537	0,40	2,721	0,03
Testemunhas (T)	1	2,535	0,07	0,06	0,75
P vs T	1	0,814	0,30	2,864	0,03
Erro	210	0,763		0,595	
Médias					
Progênies		3,3 (2,0 - 5,4)		3,5 (2,3 - 5,1)	
PA		3,4 (2,00 - 5,4)		3,3 (2,3 - 4,7)	
PB		3,2 (2,00 - 4,8)		3,6 (2,4 - 5,1)	
Carioca MG		4,6		4,8	
Pérola		3,3		4,6	
CV (%)		26,0		27,0	
r <sup>2</sup> g (%)		69,4		67,2	