



**NATHÁLIA BOTTREL MAIA PEREIRA**

**REAÇÃO DE PROGÊNIES  $S_{0:2}$  DE FEIJOEIRO À *Pseudocercospora*  
*griseola* E À *Colletotrichum lindemuthianum* ORIUNDAS DOS  
PROGRAMAS DE SELEÇÃO RECORRENTE DA UFLA PARA  
RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE E À MANCHA ANGULAR**

**LAVRAS – MG**

**2020**

**NATHÁLIA BOTTREL MAIA PEREIRA**

**REAÇÃO DE PROGÊNIES S<sub>0:2</sub> DE FEIJOEIRO À *Pseudocercospora*  
*griseola* E À *Colletotrichum lindemuthianum* ORIUNDAS DO  
PROGRAMA DE SELEÇÃO RECORRENTE DA UFLA PARA  
RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE E À MANCHA ANGULAR**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Agronomia, para a obtenção do  
título de Bacharel.

Prof (a). Dra Elaine Aparecida de Souza  
Orientadora  
Doutoranda Paula Furtado de Pádua  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2020**

**NATHÁLIA BOTTREL MAIA PEREIRA**

**REAÇÃO DE PROGÊNIES S<sub>0:2</sub> DE FEIJOEIRO À *Pseudocercospora griseola* E À *Colletotrichum lindemuthianum* ORIUNDAS DO PROGRAMA DE SELEÇÃO RECORRENTE DA UFLA PARA RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE E À MANCHA ANGULAR**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Agronomia, para a obtenção do  
título de Bacharel.

Prof (a). Dra Elaine Aparecida de Souza - UFLA  
Prof. Dr. Vinícius Quintão Carneiro - UFLA  
Doutoranda Paula Furtado de Pádua - UFLA  
Pós doutoranda Fernanda Aparecida Castro Pereira - UFLA

---

Dra. Elaine Aparecida de Souza

Orientadora

Paula Furtado de Pádua

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2020**

*À Deus por sempre me iluminar e guiar  
meus passos e aos meus pais pelos  
exemplos de amor e dedicação.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho, contei com muita ajuda e chegou o momento agradecer.

Agradeço a Deus por me guiar sempre ao melhor caminho e para tomar as melhores decisões em determinados momentos.

Aos meus pais pela confiança que sempre me depositaram e por serem um exemplo de dedicação, de amor e de carinho. Me faltam palavras para explicar o que significam em minha vida e para demonstrar o tamanho de minha gratidão.

À toda minha família, em especial às minhas avós, Elaine e Delba, por serem meu exemplo de responsabilidade, independência, afeto e ética, Aos meus primos Laiza, Vinicius e Letícia por serem os irmãos que eu não tive. Aos meus tios Cleider e Elenize por todo incentivo e por sempre se fazerem presentes.

Agradeço a todos meus amigos de Perdões e Lavras. Em especial , à Ana Vitória por ser minha amiga de infância e estar comigo em todos os momentos de minha vida. Às minhas amigas que moraram comigo em Lavras, as quais muito me incentivaram e sempre foram pacientes, tornando os anos de graduação mais leves.

À Professora Elaine que, desde meu primeiro período, sempre esteve disponível e paciente em me ensinar e compartilhar conhecimento que contribuiu de forma significativa para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

À doutoranda Paula que sempre me inspirou pelo exemplo de dedicação, comprometimento e inteligência. Sempre me ajudou em todos os experimentos e todas as dúvidas, se tornando mais que uma excelente coorientadora.

A todos os colegas do Laboratório de Resistência de Plantas à Doenças, Mariana, Ana, Fernanda, Alice, Samanta, Larissa, Julio, Rafael, Alex, Gleice, Kátia, Ednilson, Karina e Juninho, obrigada por toda ajuda e por sempre proporcionarem um ambiente de trabalho agradável. Ao Miller, que sempre esteve disponível com muita boa vontade e bom humor, em nos ajudar em todos os experimentos.

Ao GEN e à Terra Jr., por todo conhecimento e toda experiências proporcionados nesses anos de graduação, me privilegiando com grandes amizades. Aos meus amigos do curso de Agronomia por todos os momentos de estudos.

À Universidade Federal de Lavras e ao CNPq por todas as oportunidades.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização de mais essa conquista.

**OBRIGADA**

## RESUMO

Os genes de resistência no feijoeiro têm sido localizados em "clusters" em diferentes grupos de ligação próximos às regiões subteloméricas. Esses genes podem conferir resistência a diferentes patógenos. Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar se a resistência das progênies  $S_{0:2}$  selecionadas para antracnose também confere resistência à mancha angular e se as progênies  $S_{0:2}$  selecionadas para mancha angular também confere à antracnose. Foram conduzidos seis experimentos no delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições. Foram avaliadas a reação de 80 progênies  $S_{0:2}$  do programa de seleção recorrente visando resistência à antracnose, sendo 40 do ciclo I (CI) e 40 do ciclo V (CV). Foram realizados um experimento com a inoculação do isolado LV11, outro para o isolado da raça 63-63 e um para uma mistura de dez isolados (LV3, LV11, LV13, LV21, LB2, LB4, LB7, LB10, LB12 e 63-63) de *Pseudocercospora griseola* e após 18 dias as plantas foram avaliadas para severidade da mancha angular. Também foram avaliadas 60 progênies  $S_{0:2}$  do programa de seleção recorrente visando resistência à mancha angular, sendo 30 do ciclo I (CI) e 30 do ciclo IV (CIV). Foram realizados um experimento com a inoculação do isolado LV201 da raça 81, um para o LV238 da raça 65 e um para uma mistura de isolados composta por três da raça 65 (LV238, LV134 e CL1610), um da raça 89 (LV228), um da raça 81 (LV201) e um da raça 73 (1172) de *Colletotrichum lindemuthianum* e após 10 dias as plantas foram avaliadas para severidade da antracnose. Os dados médios das notas da severidade da antracnose e da mancha angular por parcela foram submetidos às análises de variância para cada experimento. Foram obtidas as estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos. A análise de variância foi feita com o auxílio do programa software R e comparadas pelo teste-F ambos à  $P \leq 0,05$ . Foram calculados os progressos genéticos e o índice de coincidência entre as progênies. As progênies  $S_{0:2}$  selecionadas para antracnose apresentam resistência à mancha angular sendo que 52, 2,5 e 7,5% apresentaram-se resistente ao isolado 63-63, LV11 e a mistura de isolados no ciclo V (CV), respectivamente, pelo acúmulo de novos alelos favoráveis. As progênies  $S_{0:2}$  selecionadas para mancha angular apresentaram porcentagem de coincidência de mais de 50%, quando inoculadas com a mistura de isolados e com o isolado R65 de *C. lindemuthianum*. Dessa maneira, a seleção recorrente, mesmo que indireta, é um método dinâmico e eficaz para o acúmulo de alelos favoráveis à resistência a patógenos.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*; resistência genética ; genes de resistência

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	10
	2.1 A cultura do feijoeiro.....	10
	2.2 Mancha Angular do feijoeiro.....	11
	2.3 Antracnose.....	12
	2.4 Seleção Recorrente visando resistência a doenças do feijoeiro.....	13
	2.5 Seleção Recorrente visando resistência à mancha angular.....	14
	2.6 Seleção Recorrente para resistência à antracnose.....	15
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
	3.1 Reação de progênies S <sub>0:2</sub> de feijoeiro à <i>Pseudocercospora griseola</i> oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à antracnose.....	16
	3.2 Reação de progênies s <sub>0:2</sub> de feijoeiro à <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à mancha angular.....	17
	3.3 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos.....	17
	3.4 Estimativa da coincidência das progênies S <sub>0:2</sub> entre as avaliações realizadas para as duas doenças.....	19
	3.5 Estimativa do Progresso Genético entre o primeiro e último ciclo avaliado.....	20
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	20
	4.1 Reação de progênies S <sub>0:2</sub> de feijoeiro à <i>Pseudocercospora griseola</i> oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à antracnose.....	20
	4.2 Reação de progênies s <sub>0:2</sub> de feijoeiro à <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à mancha angular.....	25
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	31
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais cultivadas e consumidas, especialmente nas regiões tropicais. Além da importância econômica e social, devido às propriedades nutricionais, a cultura tem um papel importante na dieta humana e especialmente para populações de baixa renda (BROUGHTON et al., 2003; DE RON et al., 2016). Entre os fatores que reduzem a produtividade e causam instabilidade na produção, destacam-se as doenças, principalmente fúngicas. Uma doença de grande relevância é a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn.), que em condições ideais para o desenvolvimento do patógeno, como temperaturas amenas e elevada umidade, pode causar perdas de até 100% da produção (PAULA JÚNIOR; WENDLAND, 2012; PADDER et al., 2017). Outra doença de grande importância é a mancha angular do feijoeiro, causada pelo fungo *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun (CROUS et al., 2006) que pode causar perdas de até 80% da produtividade e é encontrada em mais de 60 países (PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2015). Embora, o uso de fungicidas seja frequente na cultura do feijoeiro, a alternativa mais viável de controle dessas doenças é o emprego de cultivares resistentes. Uma estratégia que tem sido utilizada com sucesso na obtenção de cultivares resistentes é a seleção recorrente. O método envolve um processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção de progênies, avaliação e recombinação das melhores para formar o próximo ciclo (RAMALHO et al., 2012; NELSON et al. 2018).

A Universidade Federal de Lavras em parceria com a Embrapa vem conduzindo um programa de melhoramento de feijoeiro visando resistência à mancha angular utilizando o método de seleção recorrente, desde 1998. Ao final de cada ciclo de seleção, as progênies são avaliadas quanto a severidade da doença no campo dependendo da incidência natural do patógeno (REZENDE et al., 2014). Neste programa é realizado um ciclo por ano e, atualmente, encontra-se no décimo oitavo ciclo de seleção (ABREU et al., 2019). Novas metodologias têm sido propostas para acelerar o programa de seleção recorrente visando resistência a *P. griseola* utilizando a inoculação artificial do patógeno em casa de vegetação (PÁDUA, 2017, LIBRELON et al 2020). O ganho obtido em três ciclos de seleção recorrente realizados exclusivamente em casa de vegetação os ganhos foram de -14,83% e -5,3% para casa de vegetação e campo (PÁDUA 2017).

Outro programa de seleção recorrente com inoculação artificial tem sido conduzido visando à resistência a várias raças de *C. lindemuthianum* (COSTA, 2019). Até o momento foram realizados cinco ciclos seletivos com a obtenção de progênies resistentes à antracnose com um ganho médio de -8% nos ciclos seletivos.

A literatura tem relatado que os genes de resistência no feijoeiro estão localizados em "clusters" em diferentes grupos de ligação próximos às regiões subteloméricas (MURUBE et al., 2019). Esses genes podem conferir resistência a diferentes patógenos. Neste caso, a resistência a múltiplas doenças se deve a existência de genes ligados ou a pleiotropia (NELSON et al. 2018). Nos trabalhos realizados por COSTA (2019) e PÁDUA (2017) foram obtidas as progênies S<sub>0.2</sub> resistentes à antracnose e a mancha angular, respectivamente, ao final de cada ciclo de seleção dos programas de seleção recorrente visando resistência à antracnose e mancha angular, respectivamente. Essas progênies podem ter alelos que conferem resistência a outras doenças, como consequência de ocorrer a seleção indireta. Na literatura há relatos de genes ligados conferindo resistência à antracnose e a mancha angular (GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2011, 2013; FRISCHE-NETO et al., 2019). Portanto, é importante verificar se a seleção direta para a resistência a uma dada doença no feijoeiro pode selecionar indiretamente para outras doenças importantes nesta cultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar se a resistência das progênies S<sub>0.2</sub> selecionadas durante dois ciclos de seleção para antracnose também confere à mancha angular e se as progênies S<sub>0.2</sub> selecionadas durante 18 ciclos de seleção para mancha angular, também confere à antracnose.

## **2. REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A cultura do feijoeiro**

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande relevância socioeconômica para os países da América do Sul, América Central e sudoeste da África. Devido às suas propriedades nutritivas, o feijão possui papel fundamental na dieta da população brasileira (LEMOS et al., 2020). O País é o maior produtor e consumidor mundial dessa leguminosa. Os grãos são excelentes fontes de proteínas, ferro, potássio, vitaminas do complexo B e compostos fenólicos (MESQUITA et al., 2007). Para a safra 2019/2020, produção brasileira foi estimada em 245,8 milhões de toneladas, o que

representa um aumento de 1,6% ou 3,9 milhões de toneladas, em comparação à safra 2018/19 (CONAB, 2019).

O cultivo do feijoeiro ocorre em diferentes sistemas de produção e em três épocas distintas. A primeira safra é denominada “safra das águas”, pois o plantio e a colheita são beneficiados pelo alto índice de chuvas. O plantio dessa safra na região Centro-Sul vai de agosto a dezembro e no Nordeste, de outubro a fevereiro. A segunda safra, ou “safra da seca” assim chamada pelo fato de ser implantada no período com o menor índice pluviométrico no país, é semeada de fevereiro a março, devido à chuva ser um fator limitante, é a safra de menor produtividade. Já a terceira, a “safra irrigada”, é assim conhecida por se referir à colheita do feijão irrigado, que têm a concentração do plantio na região Centro-Sul de abril a junho (POSSE et al., 2010).

O fato de ser possível realizar três safras ao ano favorece o desenvolvimento de doenças, principalmente as fúngicas. Além das condições climáticas e de manejo, a incidência de doenças encontra-se entre os principais fatores responsáveis pela redução na produtividade do feijoeiro comum no Brasil (POSSE et al., 2010).

## **2.2 Mancha Angular do feijoeiro**

O agente causal da mancha angular do feijoeiro passou por várias nomenclaturas: inicialmente, por Saccardo em 1878, foi nomeado *Isariopsis griseola*. Em 1909 foi reclassificado por Ferraris como *Phaeoisariopsis griseola* e, finalmente, foi sugerido *Pseudocercospora griseola* por Crous et al. (2006). A doença pode ser encontrada em mais de 60 países produtores de feijão (OBLESSUC et al., 2015). A esporulação do patógeno é favorecida a temperaturas entre 16°C e 26°C (BIANCHINI et al., 1997; HALL, 1991) e altas umidades. Estas condições favoráveis são encontradas principalmente na safra da seca, na região Centro-Sul do Brasil. Os principais agentes de disseminação dos esporos são o vento, a chuva, as sementes e as partículas de solo infestadas (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2019).

Os principais sintomas da doença são: lesões nas folhas, caule, ramos, pecíolos e vagens. Nas folhas podem ser observadas a partir do oitavo ao décimo segundo dia após a infecção. Formam-se manchas, inicialmente irregulares, cinzas ou marrons e, cerca de nove dias após a infecção, inicia-se o processo necrótico. Delimitadas pelas nervuras, as lesões assumem formato angular, causando o amarelecimento e desfolhamento prematuro da planta. O desfolhamento prematuro prejudica o enchimento das vagens, reduzindo o

tamanho dos grãos e, conseqüentemente, a produção (NIETSCHE, 2000). A variabilidade patogênica do fungo é grande devido a identificação de várias raças de *P. griseola* (JARA; CASTELLANO; MAHUKU, 2001; SARTORATO, 2002; SILVA et al., 2008; DAMASCENO-SILVA et al., 2008; BALBI et al., 2009; PEREIRA et al., 2015). Além disso, há relato da existência de variabilidade dentro das raças, como exemplo da raça 63-63 (PEREIRA et al., 2015).

Estudos relatam que a resistência específica a uma determinada raça de *P. griseola* é devida a um ou poucos genes (CAIXETA et al., 2003; FERREIRA et al., 2000; MAHUKU; IGLESIAS; JARA, 2009; NIETSCHE et al., 2000; SARTORATO et al., 2000; SINGH e SCHWATZ, 2010). Entretanto, alguns trabalhos sugerem que a resistência desta doença é quantitativa, constatando-se a presença de resistência vertical e horizontal à *P. griseola*, havendo predominância da segunda (OBLESSUC et al., 2012; REZENDE et al., 2014; NAY et al., 2019).

### **2.3 Antracnose**

A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* é uma das principais doenças da cultura do feijoeiro. Ela é encontrada em todas as regiões produtoras de feijão no mundo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais da América Latina e África Central e Oriental. O desenvolvimento do patógeno é favorecido por temperaturas entre 15 e 25°C, associadas à alta umidade relativa do ar, acima de 91% e precipitação frequente (CARBONELL et al., 2012; PINTO et al., 2001).

O aparecimento dos sintomas pode ser observado a partir do sexto dia após a infecção em plantas do feijoeiro. A doença pode afetar toda a parte aérea da planta. Na face inferior das folhas, sobre as nervuras, aparecem manchas alongadas inicialmente de cor avermelhada a púrpura e, mais tarde, pardo-escuro, estendendo-se ligeiramente no tecido circundante e, geralmente, à face superior. Já nas vagens, as lesões são arredondadas, deprimidas com centro claro e delimitadas por um anel negro protuberante. (CHAVES, 1980).

O fungo é hemibiotrófico intracelular e se reproduz assexuadamente, onde são produzidos conídios hialinos, unicelulares e cilíndricos (KIMATI et al., 1997). Na fase sexual, o patógeno é conhecido como *Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*, pertencentes à classe dos Ascomycetes. Produz em estado sexual, peritécios e ascos, dentro dos quais se

originam os conídios (KIMATI; GALLI, 1970). Os esporos são disseminados, principalmente pela ação de gotículas de chuva ou água de irrigação. Entretanto, a principal fonte de disseminação da doença a longas distâncias é por sementes infectadas, tanto dentro quanto entre países. (CARBONELL et al., 2012; FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013)

A especificidade dos alelos de resistência às diferentes raças de *C. lindemuthianum* já foram identificadas em diversas linhagens de feijoeiro seguindo um modelo de herança qualitativa (CAMPA et al., 2014; FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013, COSTA et al. 2017, PADDER et al. 2017). No entanto, mais de 20 genes têm sido identificados conferindo resistência a diferentes raças do patógeno (FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013).

## **2.4 Seleção Recorrente do feijoeiro**

A seleção recorrente é um processo cíclico que envolve a seleção de indivíduos e/ou progênies superiores de uma população, seguida pela recombinação dos indivíduos selecionados para formar uma nova população (RAMALHO et al., 2012). Há três etapas básicas: a obtenção da população base, a avaliação de progênies e recombinação das progênies selecionadas para formar a próxima geração. Após obter a população base, é feita a seleção que pode ser fenotípica (massal) ou fazendo a utilização de algum tipo de família. A seleção fenotípica é sugerida para caracteres de alta herdabilidade (RAMALHO et al., 2012), as quais são pouco influenciadas pelo ambiente.

Dentre as vantagens da seleção recorrente destacam-se: eficiência no acúmulo de alelos favoráveis que se encontram distribuídos nos diferentes genitores; maior variabilidade genética por inter cruzar múltiplos genitores; viabilidade de incorporação de germoplasma e maior oportunidade de recombinação genética, devido aos sucessivos ciclos de cruzamento (GERALDI, 1997). Além disso, a seleção recorrente também permite a obtenção de linhagens superiores a cada ciclo seletivo. (RAMALHO et al., 2012).

No programa de melhoramento genético do feijoeiro da Universidade Federal de Lavras o método tem mostrado resultados satisfatórios e é utilizado para caracteres como: produtividades de grãos (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005; LEMOS et al., 2020), porte ereto (CUNHA; RAMALHO; ABREU, 2005; MENEZES JÚNIOR; RAMALHO;

ABREU, 2008; LEMOS et al., 2020), resistência à mancha angular (AMARO et al., 2007; MODA-CIRINO et al., 2012; REZENDE et al., 2014; PÁDUA et al., 2017; LIBRELON et al., 2019) ; resistência ao mofo branco (SOUZA et al., 2014; LEITE et al., 2016; LOPES et al., 2019) e resistência à antracnose (COSTA 2019).

## 2.5 Seleção Recorrente visando resistência à mancha angular

Em 1998 foi iniciado um programa de seleção recorrente na Universidade Federal de Lavras em parceria com a Embrapa visando a resistência à mancha angular do feijoeiro. Inicialmente, foi feito um dialelo parcial com 7 linhagens de grão tipo carioca e 10 fontes de resistência a mancha angular, de diferentes tipos de grãos, resultando em 29 populações segregantes que constituíram o ciclo 0 (C0). No ano seguinte, na safra da seca, a população foi semeada no campo para a realização da seleção fenotípica das plantas mais resistentes de cada cruzamento. As plantas resistentes foram recombinados em casa de vegetação para obter as progênies do primeiro ciclo (C1). A seleção das plantas resistentes sempre foi realizada no campo na safra da seca, onde há maior ocorrência natural do patógeno. Desta forma, é possível realizar um ciclo de seleção recorrente por ano. O processo foi repetido até o ciclo XVIII (C-XVIII) (ABREU 2019; NAY et al. 2019) e contínua até os dias atuais. Em todos os ciclos as cultivares Pérola (Resistente) e Carioca MG (Suscetível) foram utilizadas como testemunha. O progresso genético, após 18 ciclos de seleção recorrente foi de 1,35% por ciclo para resistência à mancha angular, comprovando a eficiência do método (ABREU et al., 2019).

Visando aumentar a eficiência da seleção recorrente por unidade de tempo foram conduzidos dois trabalhos na UFLA a partir das progênies obtidas no referido programa de seleção recorrente acima mencionado, utilizando a inoculação artificial de *P. griseola* em casa de vegetação (LIBRELON et al., 2020; PADUA, 2017). Librelon et al. propuseram três ciclos de recombinação e seleção em casa de vegetação utilizando inoculação artificial de *P. griseola*. Para obtenção da população foi utilizada uma amostra de sementes do ciclo XVI da população S<sub>0</sub> do ciclo CXV do programa de seleção recorrente à mancha angular da UFLA em parceria com a Embrapa, as quais foram inoculadas com o isolado 63-63. Foram selecionadas as melhores e recombinadas entre si, obtendo-se as sementes F<sub>1</sub> do ciclo XVI. Esse procedimento foi repetido até se obter as sementes F<sub>1</sub> dos ciclos do XVII que foram plantadas no campo obtendo-se as sementes

S<sub>0</sub> do ciclo XVIII, as quais foram avaliadas precocemente em casa de vegetação, avaliando a eficiência desse método. O trabalho realizado por PÁDUA (2017) utilizou uma amostra de 60 sementes da geração F<sub>2</sub> do ciclo XVIII do programa de seleção recorrente para a resistência à mancha angular utilizando inoculação artificial de *P.griseola* obtida por LIBRELON et al. (2019)

para se iniciar os ciclos de seleção. Estas sementes foram semeadas em casa de vegetação e intercruzadas entre si obtendo as progênies S<sub>0</sub> do ciclo I (CI) e as sementes remanescentes foram colhidas individualmente, obtendo as progênies S<sub>0:1</sub> e, posteriormente semeadas em campo. Foram realizados três ciclos de seleção obtendo-se as progênies S<sub>0:2</sub> de cada ciclo. As progênies S<sub>0:2</sub> dos ciclos C0 ao CIII foram avaliadas em campo e casa de vegetação e o método mostrou-se eficiente para seleção de plantas resistentes (PÁDUA, 2017).

Estudos mostraram que o caráter resistência à mancha angular apresenta herdabilidade relativamente alta, sendo assim a seleção dos indivíduos para a recombinação pode ser fenotípica, já na geração F<sub>2</sub> (AMARO; ABREU; RAMALHO, 2007, ARANTES; ABREU; RAMALHO, 2010).

## **2.6 Seleção Recorrente para resistência à antracnose**

O emprego de seleção recorrente visando resistência à antracnose poderia ser questionado, considerando que os estudos do controle genético da resistência apontam, conforme já mencionado, que a resistência é monogênica, representando uma herança qualitativa (CAMPA et al., 2014; FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013). Entretanto, há um grande número de genes diferentes conferindo resistência específica à raça, conforme foi observado por COSTA et al. (2017) que genes duplicados podem estar conferindo resistência a raças específicas.

Visto isso, com o intuito de desenvolver uma resistência duradoura, foi desenvolvido na Universidade Federal de Lavras um programa de seleção recorrente visando resistência à antracnose (COSTA, 2019). A população base foi formada por 10 linhagens de feijoeiro, sendo feito um dialelo completo para a realização dos cruzamentos. A escolha das cultivares foi baseada na resistência para oito linhagens diferentes de *C. lindemuthianum*. Foi realizado, em casa de vegetação, um cruzamento biparental e foram obtidos 45 cruzamentos (F<sub>1</sub>) que foram plantados e colhidos em bulk,

formando a população base do ciclo 0 (C0), elas foram separadas para inocular com 8 isolados separadamente e uma mistura destes isolados. Foi realizada a seleção das plantas mais resistentes e elas foram inter cruzadas entre si e avançadas até S<sub>0:2</sub>, já as sementes de cruzamento formaram a população S<sub>0</sub> do ciclo I (CI).

Foram avaliadas as progênies S<sub>0:2</sub> do ciclo I (CI) ao ciclo V (CV) inoculadas artificialmente no estágio V2 e foi concluído que a seleção recorrente através da inoculação de diferentes isolados de *C. lindemuthianum* para obter progênies resistentes a diferentes raças do patógeno foi eficiente (COSTA, 2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Resistência de Plantas à doenças no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras em Lavras, Minas Gerais.

#### 3.1 Reação de progênies S<sub>0:2</sub> de feijoeiro à *Pseudocercospora griseola* oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à antracnose

Foram coletadas folhas com lesões de mancha angular em campos de feijoeiro nos municípios de Lavras e de Lambari, no sul de Minas Gerais na safra da seca de 2017. A partir das lesões foram realizados os isolamentos de *P. griseola* para obtenção de culturas monospóricas. Os isolados obtidos foram conservados por meio do método de tiras de papel. Para a avaliação das progênies foram conduzidos três experimentos no delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) com três repetições, sendo que um experimento foi conduzido um para o isolado LV11, outro para o isolado da raça 63-63 e outro para uma mistura de isolados (LV3, LV11, LV13, LV21, LB2, LB4, LB7, LB10, LB12 e LB13). Foram utilizadas 80 progênies S<sub>0:2</sub> do programa de seleção recorrente visando resistência à antracnose do feijoeiro, sendo 40 do ciclo I (CI) e 40 do ciclo V (CV), sendo 240 parcelas por experimento, totalizando 9 plantas por parcela.

Para o preparo da suspensão de conídios discos de micélio da colônia dos isolados de *P. griseola* foram 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. As progênies S<sub>0:2</sub> de feijoeiro foram semeadas em bandejas de poliestireno contendo substrato Plantmax®, de 162 células. Após 10 dias de plantio, as plântulas no estágio V2 foram inoculadas com uma suspensão de conídios do patógeno, na concentração 2x10<sup>4</sup>

conídios/ml de acordo com a metodologia de Pereira et al. 2011. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação com temperatura e umidade controladas (25°C e UR 85%). A avaliação da reação das progênies  $S_{0:2}$  à *P. griseola* foi realizada 18 dias após a inoculação, no estágio V2 com o auxílio da escala diagramática para a severidade da mancha angular proposta por Librelon et al. (2015). De acordo com a escala de notas: 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.

### **3.2 Reação de progênies $s_{0:2}$ de feijoeiro à *Colletotrichum lindemuthianum* oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à mancha angular**

Para a avaliação das progênies  $S_{0:2}$  foram conduzidos três experimentos em DBC com três repetições, sendo um para o isolado LV201 da raça 81, um para o LV238 da raça 65 e um para uma mistura de isolados composta por três da raça 65 (LV238, LV134 e CL1610), um da raça 89 (LV228), um da raça 81 (LV201) e um da raça 73 (1172). Foram utilizadas 60 progênies  $S_{0:2}$  oriundas do programa de seleção recorrente visando resistência à mancha angular do feijoeiro, sendo 30 do Ciclo I (CI) e 30 do Ciclo IV (CIV), totalizando 180 parcelas por experimento, totalizando 9 plantas por parcela.

Para o preparo da suspensão de conídios, cada linhagem de *C. Lindemuthianum* foi repicada para placas de Petri contendo meio de cultura BDA (batata- dextrose- ágar). Posteriormente, pequenos pedaços de micélio foram transferidos para vagens estéreis de feijão comum, colocadas em tubos de ensaio contendo meio ágar-água por um período de incubação de 10 dias a 22°C em BOD. As progênies  $S_{0:2}$  foram semeadas em bandejas de poliestireno contendo substrato Plantmax®, de 162 células. Após 10 dias de plantio, as plântulas no estágio V2 foram inoculadas com uma suspensão de conídios do patógeno na concentração de  $1,2 \times 10^6$  conídios/ml. Foi realizada a pulverização da suspensão nas folhas e no caule. Após a inoculação, as bandejas foram mantidas em câmara de nebulização por 48 horas com umidade relativa de 95%, temperatura de 24°C e fotoperíodo de 12 horas. Posteriormente, foram levadas à casa de vegetação e mantidas em condições controladas de umidade 80% e temperatura a 24°C. A avaliação da severidade da doença foi feita após 10 dias, utilizando uma escala diagramática de 1 a 9

(Schoonhoven and Pastor-Corrales, 1987), na qual 1 indica ausência de sintomas e 9 indica plantas mortas.

### 3.3 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos

Os dados obtidos quanto à severidade de mancha angular e de antracnose das progênies S<sub>0:2</sub> dos ciclos avaliados foram submetidos às análises de variância individuais com auxílio do programa estatístico software R e a significância dos efeitos foram testados por meio do teste F. O modelo estatístico proposto foi:

$$Y_{ij} = \mu + b_i + p_j + e_{ij}$$

em que:

Y<sub>ij</sub>: observação referente à progênie j no bloco i;

b<sub>i</sub>: efeito de bloco i, sendo i = 1, 2 e 3;

p<sub>j</sub>: efeito da progênie j, sendo j = 1, 2, 3, ..., n;

e<sub>ij</sub>: erro experimental associado à observação Y<sub>ij</sub>, com  $e_{ij} \cap N(0, \sigma^2)$ .

Foram estimadas a variância genética ( $\sigma_G^2$ ), a variância fenotípica ( $\sigma_F^2$ ) e a herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ), obtidas na avaliação das progênies S<sub>0:2</sub> dos ciclos I e II.

Para estimar os intervalos de confiança para as estimativas da herdabilidade, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de  $h^2$ , de acordo com as expressões apresentadas por Knapp et al., (1985). Também foi estimada a acurácia seletiva ( $r_{gg}$ ).

### 3.4 Estimativa da coincidência das progênies S<sub>0:2</sub> entre as avaliações realizadas para as duas doenças

Para estimar a coincidência entre as avaliações realizadas por COSTA 2019 e PÁDUA 2017 e a avaliação do presente trabalho, as progênies S<sub>0:2</sub> do primeiro ciclo e do último ciclo de cada trabalho, e II foram classificadas conforme sua reação de resistência ou suscetibilidade à *P. griseola* e à *C. lindemuthianum*. As progênies que receberam notas de severidade, tanto para reação à *P. griseola* quanto à *C. lindemuthianum*, de 1 a 3 foram consideradas resistentes e as progênies com notas superiores a 3 como suscetível. Dessa

maneira, foi calculado a porcentagem de progênies  $S_{0:2}$  que apresentavam reação semelhante e diferente para ambas doenças.

### 3.5 Estimativa do Progresso Genético entre o primeiro e último ciclo avaliado

Para estimar o Progresso Genético das 10 progênies  $S_{0:2}$  mais resistentes entre o primeiro e último ciclo avaliado, foi utilizado a seguinte expressão:

$$PG (\%) = \frac{(\bar{X}_{C_{II}} - \bar{X}_{C_0})}{\bar{X}_{C_0}}$$

em que:

$\bar{X}_{C_{II}}$  : média das progênies  $S_{0:2}$  do último ciclo.

$\bar{X}_{C_0}$  : média das progênies  $S_{0:2}$  do primeiro ciclo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Reação de progênies $S_{0:2}$ de feijoeiro à *Pseudocercospora griseola* oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à antracnose

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos confirmam a existência de variabilidade entre as progênies  $S_{0:2}$  nos dois ciclos seletivos para a reação à mancha angular, exceto para as progênies  $S_{0:2}$  do ciclo I inoculadas com o isolado LV1, sendo que a estimativa de herdabilidade foi nula (Tabela 1). No entanto, observa-se que existe variabilidade entre as progênies  $S_{0:2}$  do CV para este isolado. Para as estimativas dos limites inferior e superior das notas média da severidade no CV observa-se que a amplitude de variação das médias foi maior (Tabela 1).

Tabela 1: Análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos da severidade da mancha angular de progênies  $S_{0:2}$  dos ciclos I e V (CI e CV) de seleção recorrente, inoculadas com dois isolados de *P. griseola* (63-63 e LV1) e uma mistura de isolados.

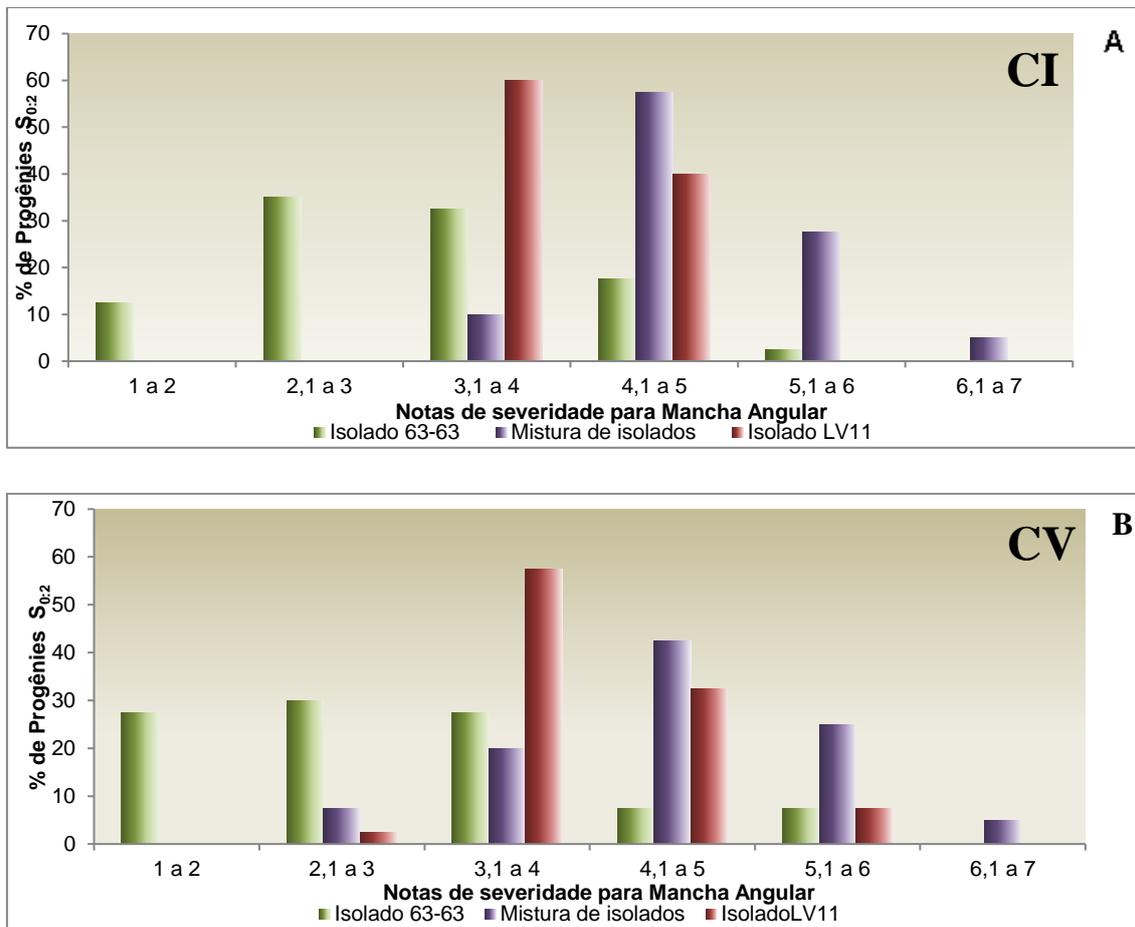
FV	GL	QM					
		LV11	Mistura	63-63			
Bloco	2	1.60 n.s.	0.53 n.s.	0.68 n.s.			
Progenies $S_{0:2}$	79	0.80 **	1.97 **	3.10 **			
Progenies $S_{0:2}$ ciclo I	39	0.53 n.s.	1.17 **	2.31 **			
Progenies $S_{0:2}$ ciclo V	39	1.10 **	2.80 **	3.94 **			
PCI x PCV	1	0.02 n.s.	1.13 n.s.	1.14 n.s.			
Erro	158	0.53	0.53	0.42			
Total	239						
		CI	CV	CI	CV	CI	CV
Médias (LI – LS)		3.94 (3.15 – 4.83)	3.97 (2.88 – 5.70)	4.67 (3.50 – 6.16)	4.53 (2.56 – 6.56)	3.07 (1.69 – 5.04)	2.94 (1.70 – 5.31)
$\sigma_G^2$		0.00	0.19	0.21	0.76	0.63	1.17
$\sigma_F^2$		0.18	0.37	0.39	0.93	0.77	1.31
$h^2$ (%) (LI-LS)		0.00 (-68.90 – 8.04)	52.05 (17.70- 69.82)	54.80 (22.47- 88.12)	81.12 (67.60- 88.10)	81.63 (68.50 -93.22)	89.22 (68.51- 93.22)
$r_{\text{reg}}(\%)$		12.4	72.14	74.02	90.06	90.35	94.46

\*\* = Interação significativa ; n.s = interação não foi significativa

Fonte: Da autora, 2020

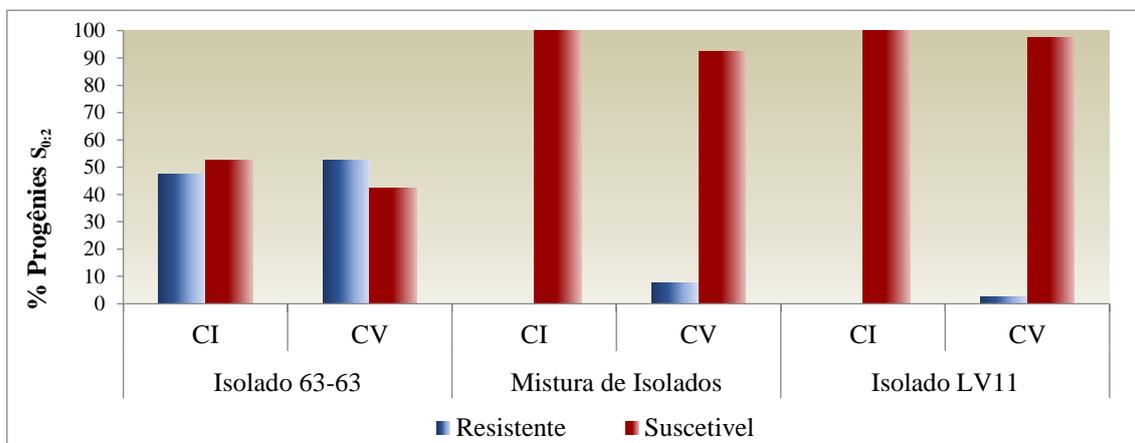
Houve um aumento no número de progênies  $S_{0:2}$  do CI para o CV com notas de 1 a 3 (Figuras 1A e 1B, 2). Na distribuição de frequência das notas de severidade das progênies  $S_{0:2}$  inoculadas com os dois isolados e a mistura pode ser observada uma tendência de assimetria à esquerda no CV (Figura 1B). Observa-se, de um modo geral, que as notas de severidade das progênies  $S_{0:2}$  quando inoculadas com a mistura foram superiores e para o isolado 63-63 foram inferiores (Figura 3). Além disso, na mistura e no LV11 passou-se de 0% de resistentes para 10 e 5%, respectivamente. Dessa forma, as estimativas do progresso genético para a resistência à mancha angular das 10 progênies  $S_{0:2}$  mais resistentes, do CI para CV foram de 5,15, 12,50 e 16,13% para os isolados LV11, 63-63 e à mistura, respectivamente na redução das notas de severidade.

Figura 1: Distribuição de frequência de notas de severidade da mancha angular das progênies  $S_{0:2}$  dos CI e CV. A) Progênies  $S_{0:2}$  do ciclo I.B) Progênies  $S_{0:2}$  do ciclo V



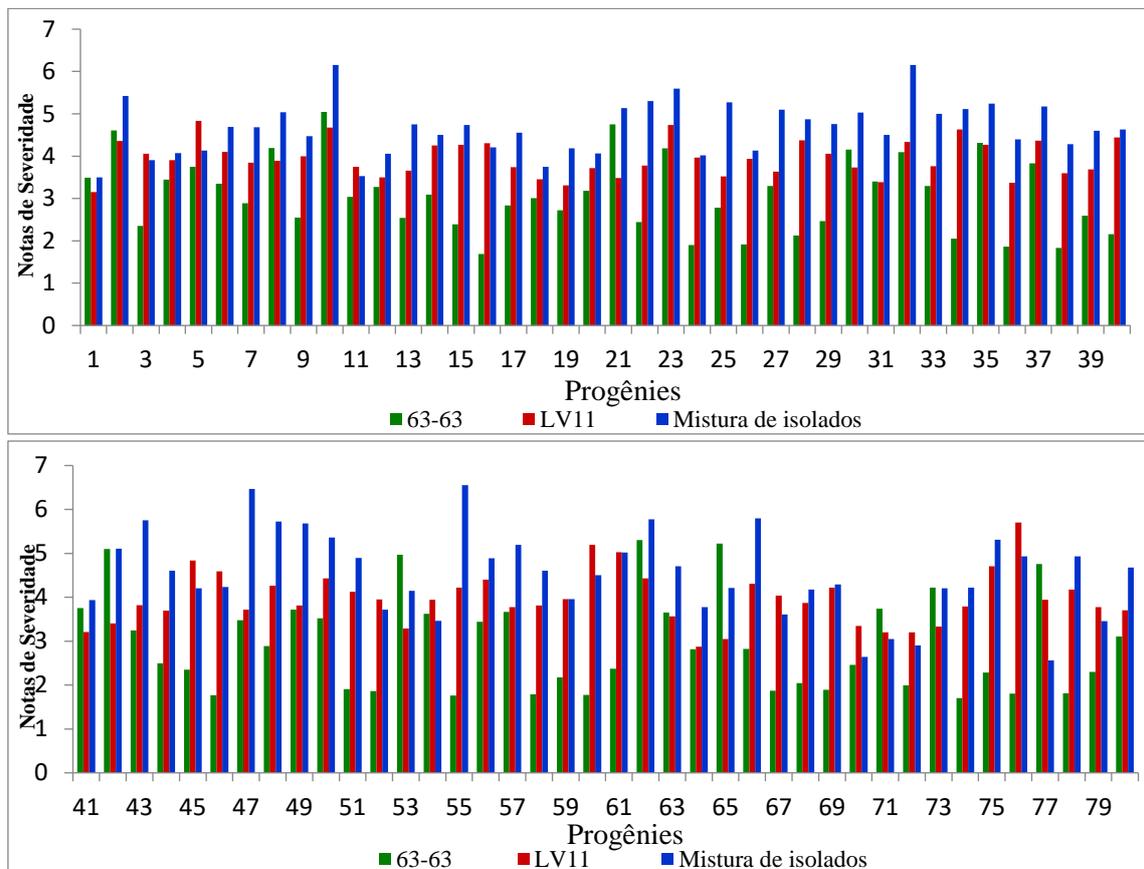
Fonte: Da autora, 2020

Figura 2: Porcentagem de progênies  $S_{0:2}$  resistentes e suscetíveis aos isolados 63-63, LV11 e a mistura de isolados de *P.griseola* nos ciclos I e V(CI e CV) .



Fonte: Da autora, 2020

Figura 3: Notas de severidade das progênies  $S_{0:2}$  dos ciclos I e V selecionadas para resistência à mancha angular.

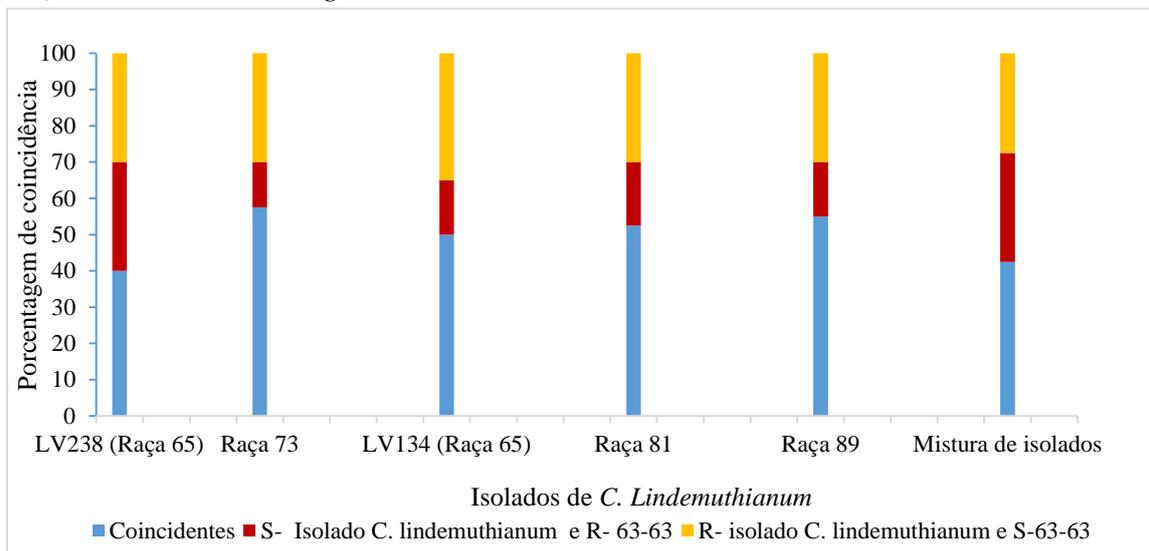


Fonte: Da autora, 2020

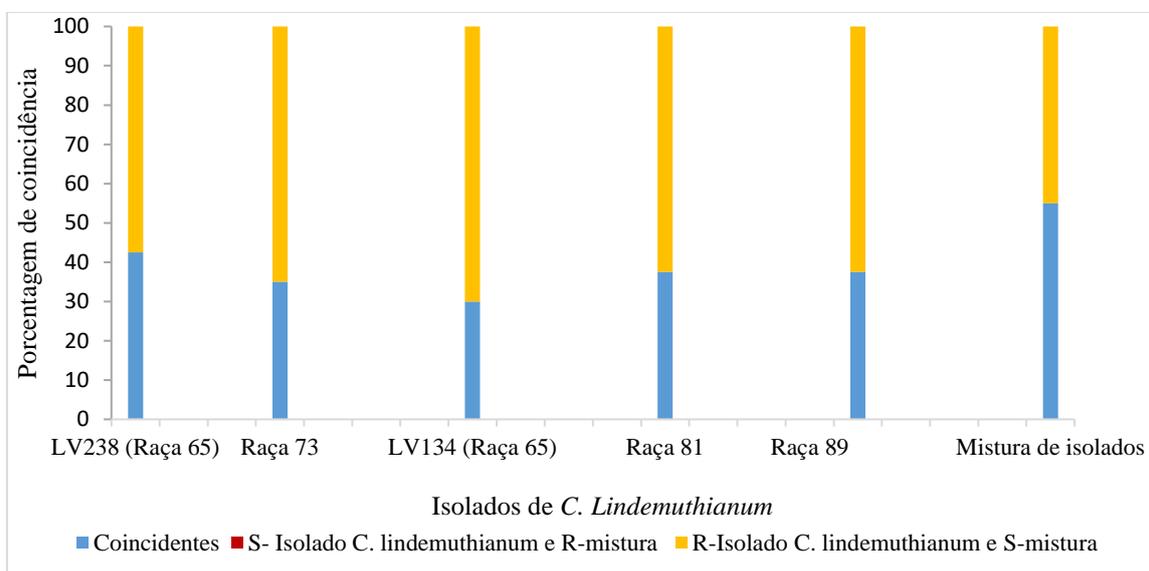
Quando estimada a coincidência entre as progênies  $S_{0:2}$ , observou-se que a coincidência entre o isolado 63-63 foi maior quando comparado ao isolado LV11 e à mistura de isolados de *P. griseola* (Figura 4). Além disso, a porcentagem de coincidência do isolado 63-63 foi igual ou maior que 50% para 4 isolados de *C. lindemuthianum* (Figura 4.a). Já para a mistura de isolados de *P. griseola*, observou-se coincidência entre as progênies  $S_{0:2}$  apenas para a mistura de isolados de *C. lindemuthianum*, sendo que para os demais isolados, observou-se maior quantidade de progênies  $S_{0:2}$  resistentes aos isolados de *C. lindemuthianum* e suscetível à mistura de *P. griseola* (Figura 4.b).

Figura 4) Porcentagem de coincidência entre as progênies  $S_{0:2}$  do CV em relação aos cinco isolados de *C. lindemuthianum* avaliados por COSTA 2019 e os três isolados de *P. griseola* avaliados no presente trabalho, em que R indica resistência e S suscetibilidade.

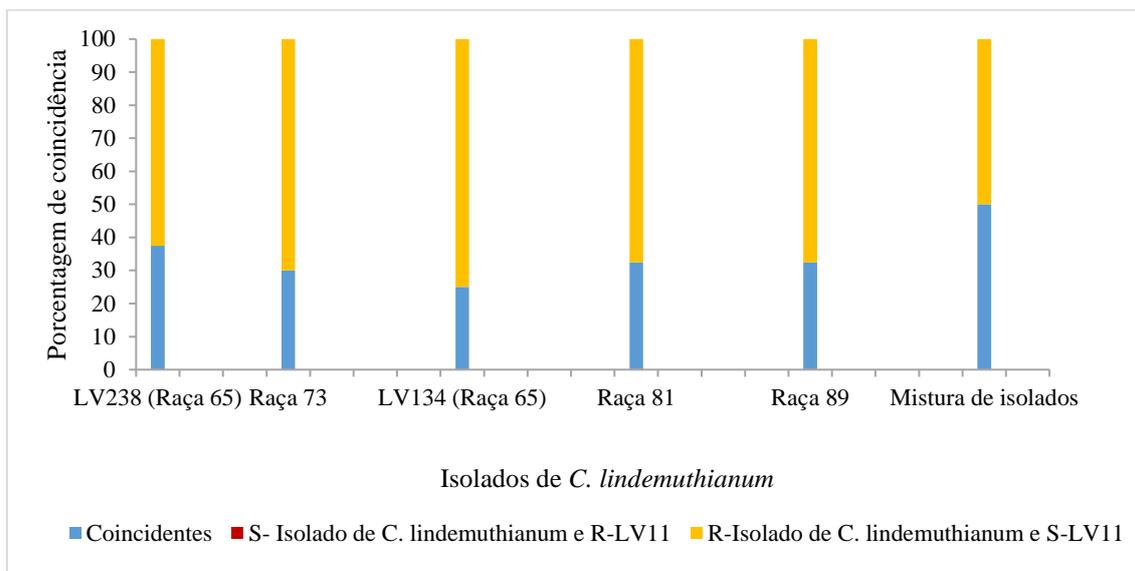
4.a) Isolado 63-63 de *P. griseola*:



4.b) Mistura de isolados de *P. griseola*:



## 4.c) LV 11



#### 4.2 Reação de progênies $S_{0:2}$ de feijoeiro à *colletotrichum lindemuthianum* oriundas do programa de seleção recorrente da UFLA para resistência à mancha angular

Nas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, confirmou-se que houve variabilidade entre as progênies  $S_{0:2}$  nos dois ciclos seletivos apenas à mistura de isolados, sendo que a estimativa da herdabilidade foi nula para as progênies  $S_{0:2}$  dos ciclos I e IV inoculadas com o isolado R65 e do ciclo I inoculadas com o isolado da R81. As estimativas dos limites inferior e superior das notas médias da severidade quando inoculadas com a mistura de isolados de *C. lindemuthianum* no CIV apresentaram maior amplitude de variação.

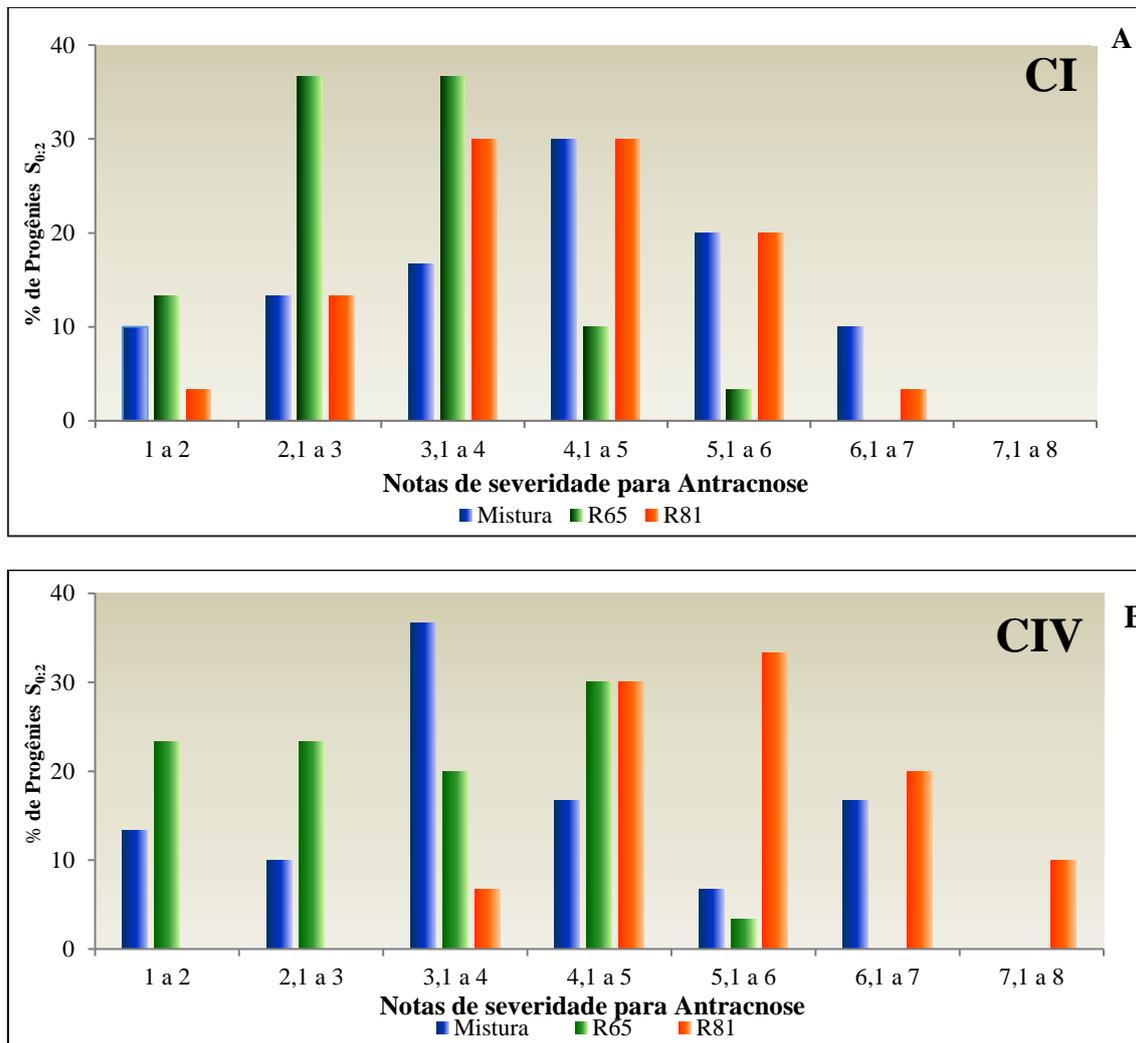
Tabela 2: Análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos da severidade da antracnose de progênies S<sub>0:2</sub> dos ciclos I e IV (CI e CIV) de seleção recorrente, inoculadas com dois isolados de *C. lindemuthianum* (R65 e R81) e uma mistura de isolados.

FV	GL	QM					
		Mistura		R65		R81	
Bloco	2	3,39 **		35,60 **		66,87 ***	
Progenies S <sub>0:2</sub>	59	6,80**		4,08 n.s.		3,81 n.s.	
Progenies S <sub>0</sub> ciclo I	29	6,00**		3,64n.s.		4,68 ***	
Progenies S <sub>0:2</sub> ciclo IV	29	7,73**		4,65 n.s.		2,96 n.s.	
PCI x PCIV	1	3,27**		0,04 n.s.		3,28 n.s.	
Erro	118	0,78		3,71		2,977	
Total	179						
		CI	CIV	CI	CIV	CI	CIV
Médias (LI - LS)		4,07 (1,79 - 7,01)	4,13 (1,04 - 6,96)	3,39 (1,19 - 5,68)	3,14 (1,04 - 5,19)	3,10 (1,40 - 5,88)	3,37 (1,13 - 5,12)
$\sigma_G^2$		1,74	2,32	0,00	0,00	0,57	0,00
$\sigma_F^2$		2,00	2,58	1,21	1,65	0,99	0,99
h <sup>2</sup> (%) (LI-LS)		87,04 (75,54 - 92,39)	89,94 (81,02 - 94,09)	0,00	0,00	33,59 (-20,08 - 40,95)	0,00
$r_{\text{ggb}}^2(\%)$		93,30	94,80	0,00	44,95	58,00	0,00

Observa-se, de um modo geral, que as notas de severidade das progênies S<sub>0:2</sub> do ciclo I quando inoculadas com a mistura de isolados de *C. lindemuthianum* (Figura 7) foram maiores do que os isolados R65 e R81. As estimativas do progresso genético para a resistência à antracnose das progênies S<sub>0:2</sub>, do CI para CIV da mistura foi de 6,23% na redução das notas de severidade.

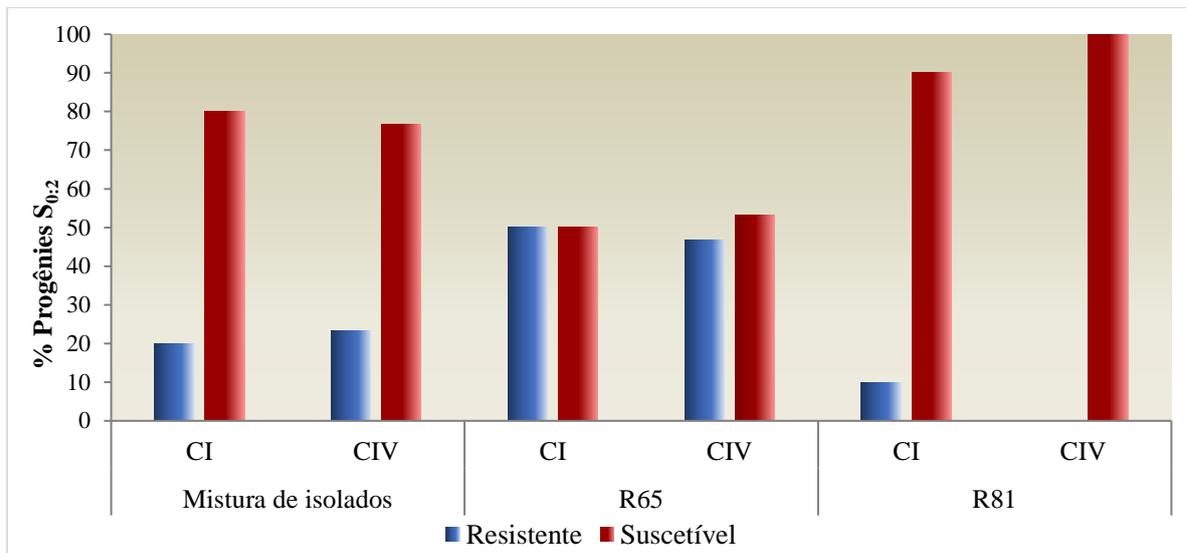
Observa-se no geral, que a nota do ciclo IV à antracnose foi maior nas progênies S<sub>0:2</sub> quando inoculadas com o isolado R81.

Figura 5: Distribuição de frequência de notas de severidade da antracnose das progêneses  $S_{0,2}$  dos CI e CIV. A) Progêneses  $S_{0,2}$  do ciclo I. B) Progêneses  $S_{0,2}$  do ciclo IV



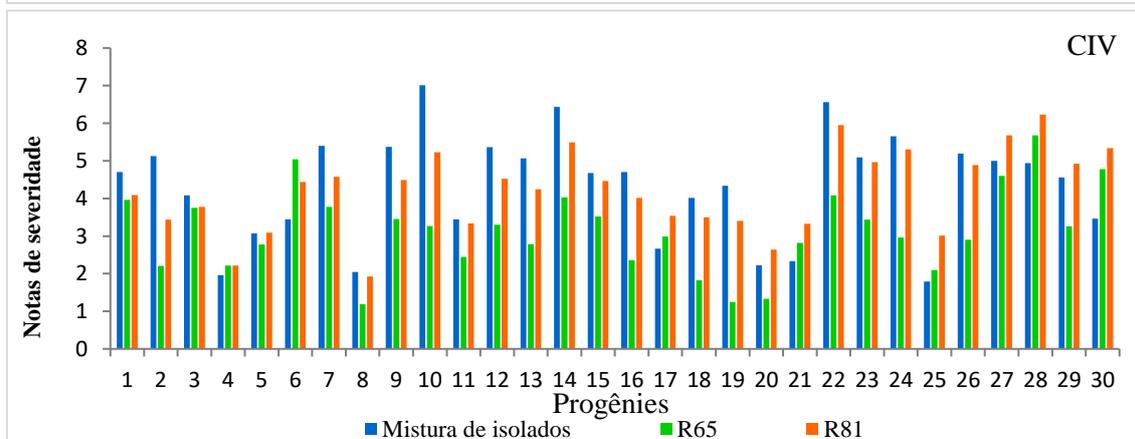
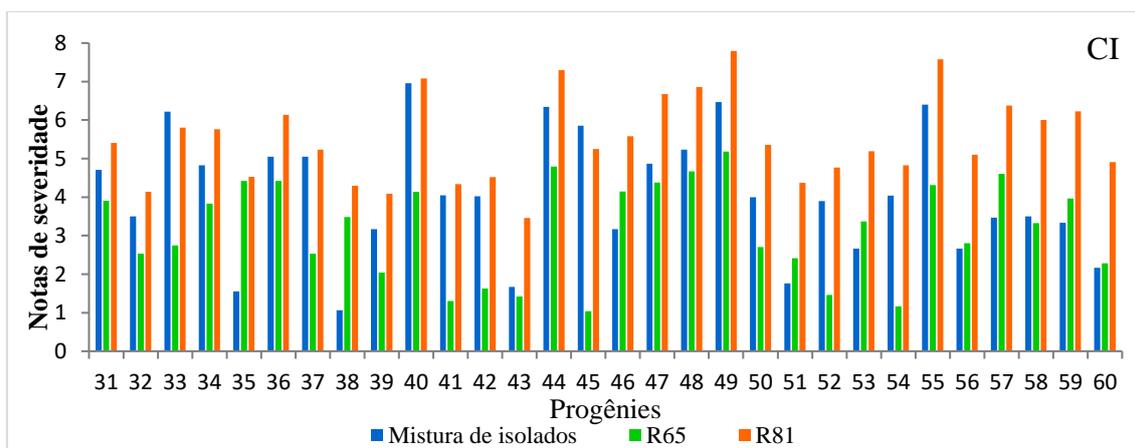
Fonte: Do autor, 2020

Figura 6: Porcentagem de progênies  $S_{0:2}$  resistentes e suscetíveis aos isolados R65, R81 de *C. lindemuthianum* e a mistura de isolados nos ciclos I e e IV(CI e CIV) .



Fonte: Do autor, 2020

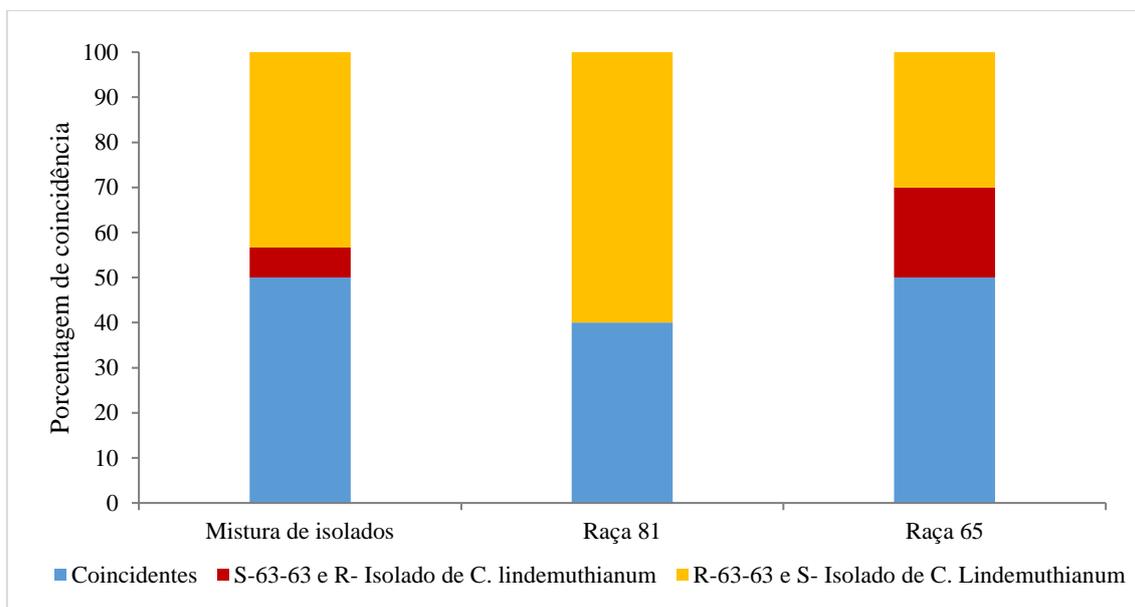
Figura 7: Notas de severidade das progênies  $S_{0:2}$  para antracnose



Fonte: Do autor, 2020

A coincidência observada entre as progênies  $S_{0:2}$  do ciclo IV, foi igual ou superior a 50%, para a mistura de isolados e o isolado R65 de *C. lindemuthianum*. Já para o isolado R81 60% das progênies  $S_{0:2}$  apresentaram reação de resistência ao isolado 63-63 de *P. griseola* e de suscetibilidade ao isolado R81.

Figura 8) Porcentagem de coincidência entre as progênies  $S_{0:2}$  do CIV em relação ao isolado da raça 63-63 de *P. griseola* avaliado por PÁDUA 2017 e os 3 isolados de *C. lindemuthianum* avaliados no presente trabalho, onde R indica resistência e S indica suscetibilidade.



Fonte: Da autora, 2020

## 5. DISCUSSÃO

A distribuição de frequência das notas de severidade das progêneses  $S_{0:2}$  de seleção recorrente para antracnose, inoculadas com os dois isolados de *P. griseola* e a mistura de isolados tende a uma assimetria à esquerda, principalmente para o isolado da raça 63-63 no CV, sugerindo a ocorrência de dominância, ou seja, um gene de efeito maior no controle do caráter. (Figura 1B). Na composição da população base desse trabalho de seleção recorrente visando resistência à antracnose foram incluídas as linhagens Ouro Negro e MAIII-16.159 que são fontes de resistência à mancha angular (PEREIRA et al. 2015). A linhagem MAIII-16.159 é resistente ao isolado 63-63 e há evidência da presença de um gene de efeito maior (PÁDUA et al., 2019), o que está de acordo com resultados observados no presente trabalho. Para a mistura há uma tendência de simetria e neste caso, como são vários isolados, a resistência parece ser conferida por genes de pequeno efeito, o que caracterizaria uma resistência quantitativa ou resistência horizontal.

O aumento do número de progêneses  $S_{0:2}$  do CI para o CV com notas de 1 a 3 evidencia o aumento da resistência à mancha angular no decorrer dos ciclos (Figuras 1A e 1B, 2). Deve ser ressaltado, que a seleção neste programa foi para a resistência à antracnose. Além disso, observa-se que existe variabilidade entre as progêneses  $S_{0:2}$  do CIV ao isolado 63-63, sugerindo que ao longo dos ciclos de seleção recorrente novas combinações genóticas favoráveis foram surgindo. As estimativas dos limites inferior e superior das notas média da severidade no CV corroboram para a vantagem desse método.

O progresso genético estimado das progêneses  $S_{0:2}$  para cada um dos cinco ciclos seletivos avaliados para a antracnose foi em média de 8% para cada uma das raças de *C. lindemuthianum* utilizadas (COSTA 2019). Portanto, podemos considerar que o ganho genético indireto obtido para a resistência à mancha angular foi expressivo.

Além disso, a porcentagem de coincidência do isolado 63-63 foi igual ou maior que 50% para 4 isolados de *C. lindemuthianum* (Figura 4.a). O isolado 63-63 de *P. griseola*, que é um dos mais agressivos e com maior incidência nos campos de cultivo em Minas Gerais, têm vencido os alelos de resistência de todas as cultivares diferenciadoras (PEREIRA et al. 2015). A alta porcentagem de coincidência entre as progêneses  $S_{0:2}$  quando inoculadas com os 4 isolados de *C. lindemuthianum*, pode ser devida a alguns

desses genes de resistência ao isolado da raça63-63 e portanto, evidencia o envolvimento de genes de efeito pleiotrópico ou genes ligados para a resistência a ambas às doenças.

Já para a mistura de isolados de *P. griseola*, observou-se coincidência entre as progênies S<sub>0:2</sub> do programa de seleção recorrente para mancha angular, apenas para a mistura de isolados de *C. lindemuthianum*, para os demais isolados, observou-se maior quantidade de progênies S<sub>0:2</sub> resistentes aos isolados de *C.lindemuthianum* e suscetíveis à mistura de *P.griseola* (Figura 4.b). Esses resultados corroboram com a hipótese de que para uma mistura de isolados de *P. griseola* existe uma resistência de herança quantitativa, diferente da resistência para antracnose, que é uma resistência gene a gene, também conhecida por como resistência qualitativa ou vertical e é conferida por poucos genes de efeito maior (NELSON et al. 2018; ROBINSON, 1971; VANDERPLANK, 1963). Já para o isolado LV11 a estimativa de coincidência foi a mais baixa entre as demais avaliações, exemplificando que são genes diferentes ligados ao controle da resistência às duas doenças.

A redução das notas médias das progênies S<sub>0:2</sub> do CIV quando inoculadas com a mistura de *C. lindemuthianum*, de modo geral, pode ter acontecido porque estão envolvidos vários alelos de resistência devido a presença de várias raças do patógeno, O mesmo não aconteceu para o isolado R81, o que é explicado devido ao caráter ser oligogênico e, provavelmente, ocorreu a fixação de um gene de resistência de efeito maior nessas progênies S<sub>0:2</sub> do CIV (PÁDUA 2017) por serem inoculadas com apenas um isolado da raça 63-63 de *P. griseola*. Já para o isolado da raça65, houve mais de 50% de coincidência entre as progênies S<sub>0:2</sub> do ciclo CIV, sugerindo que genes que conferem resistência a esse isolado podem estar ligados aos genes que conferem resistência ao isolado 63-63 ou apresentam efeito pleiotrópico.

O ganho genético estimado das progênies S<sub>0:2</sub> para cada um dos quatro ciclos seletivos avaliados à mancha angular foi em média de 14,83% para a avaliação em casa de vegetação (PÁDUA 2017). Portanto, podemos considerar que o ganho genético indireto obtido quando inoculado uma mistura de isolados para a resistência à antracnose foi expressivo.

A resistência à patógenos no feijoeiro é devida a vários genes que estão localizados em clusters nas regiões subteloméricas dos grupos de ligação (MURUBE et al., 2019). Dois genes no genótipo da cultivar G10909, presentes nos cromossomos Pv04

e Pv08 conferem resistência à raça 63-63 (MAHUKU et al., 2011; NAY et al., 2019). Além disso, foram relatados 3 genes dominantes independentes para resistência à mancha angular, denominados *Phg-1*, *Phg-2* e *Phg-3* presentes nos cromossomos Pv01, Pv08 e Pv04, respectivamente (NAY et al., 2019). Os alelos *Phg-3* que confere resistência à mancha angular e *Co-34* à antracnose presentes na cultivar Ouro Negro conferem resistência a pelo menos 21 raças de *C. lindemuthianum* e sete raças de *P. griseola*, incluindo também a raça 63-63 (FALEIRO et al. 2001, 2003; GOLÇALVES-VIDIGAL e KELLY, 2006; RAGAGNIN et al. 2009; NAY et al., 2019). Além disso, foram relatados dois QTLs, *Phg-4* e *Phg-5*, nos cromossomos Pv04 e Pv 10 (KELLER et al., 2015; NAY et al., 2019). o trabalho de mapeamento associativo realizado por COSTA 2019, mostrou que genes que conferem resistência aos isolados Lv134 e Lv268 da raça 65 *C. lindemuthianum* estão presentes no cromossomo Pv04.

O estudo feito por Gonçalves-Vidigal et al. (2011) visando estudar a herança da resistência da linhagem AND277 à antracnose e à mancha angular, verificou que um alelo dominante *Phg-1* é responsável pela resistência a raça 63-23 de *P. griseola*, o qual encontra-se no grupo de ligação Pv01 de feijoeiro, fortemente ligado ao gene que confere resistência a várias raças de *C. lindemuthianum*, formando assim, um cluster de genes de resistência. (GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2011). Já o estudo realizado por Fritsche et al. 2019, mostrou uma reação independente das linhagens avaliadas quanto a severidade à mancha angular e à antracnose, não tendo uma correlação alta, o que explicado pelo fato dos SNPs associados aos principais QTLs das doenças estão localizados em cromossomos diferentes. Isso é importante pois demonstra que pode-se selecionar genótipos resistentes para ambas doenças ao mesmo tempo, visto que tais características encontram-se em diferentes cromossomos no estudo realizado.

Dessa maneira, podemos considerar que o ganho genético indireto obtido tanto para a resistência aos isolados de *P. griseola* e à mistura de isolados avaliados quanto para a resistência à mistura de isolados de *C. lindemuthianum* foi expressivo. Portanto, os alelos de resistência selecionados para a antracnose podem também ter efeito pleiotrópico ou estão ligados a genes que conferem resistência à mancha angular, o que tem sido relatado na literatura (NAY et al 2019).

## 6. CONCLUSÃO

A antracnose do feijoeiro, assim como a mancha angular, são consideradas as principais doenças que acometem a cultura. Dessa forma, é interessante que a seleção direta para uma doença possa selecionar indiretamente para outra doença, mostrando que ambos os programas devem ser continuados pela variabilidade existente. No presente trabalho foi possível observar, principalmente para a avaliação da mistura de isolados, que ocorreu coincidência entre as progênies avaliadas para ambas as doenças, comprovando que a seleção recorrente é um método dinâmico e eficaz para o acúmulo de alelos favoráveis à resistência a patógenos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABREU AFB, MIRANDA LP, RAMALHO MAP, SOUZA EA, PEREIRA FAC, CARNEIRO VQ. Genetic Progress after 18 Cycles of Recurrent Selection for Angular Leaf Spot Resistance in Brazil. 2019 Biennial **BEAN IMPROVEMENT COOPERATIVE MEETING**. F a r g o , N o r t h D a k o t a, 2019. **Disponível em:** [https://www.bicnapia.org/uploads/1/4/7/7/14774216/2019\\_bic\\_biennial\\_meeting\\_web\\_version.pdf](https://www.bicnapia.org/uploads/1/4/7/7/14774216/2019_bic_biennial_meeting_web_version.pdf) > acesso em 25 de junho de 2020.

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 22 resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v.30, p.584-588, 2007

ARANTES, L. de O.; ABREU, Â. 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, n. 3, p. 232-237, 2010.

BALBI, B.P. et al. Characterization of *Pseudocercospora griseola* isolates collected in the state of Minas Gerais, Brazil. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, v.52, p.56-57, 2009.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de fitopatologia, doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1997. v. 2, p. 376-379.

BROUGHTON, W., G. HERNANDEZ, M. BLAIR, S. BEEBE, P. GEPTS, et al. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant Soil** 252: 55–128.

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**, v. 134, n. 3, p. 297-303, Dec. 2003.

CAMPA, A. et al. Genetic analysis of the response to eleven *Colletotrichum lindemuthianum* races in a RIL population of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **BMC Plant Biology**, London, v. 14, p. 115, Jan. 2014.

CARBONELL, S. A. M. et al. Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças. Viçosa: **conab** 2012. 157 p.

CHAVES, G. La antracnosis. In: SCHWARTZ, H. F.; GÁLVEZ, G. E: (Eds). **Problemas del producción del frijol**: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris*. CALI: CIAT, 1980. p 37-53

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Primeiro levantamento da safra 2019/20 de grãos indica produção de 245 milhões de t**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3080-primeiro-levantamento-da-safra-2019-20-de-graos-indica-producao-de-245-8-milhoes-de-t>. Acesso em: 27 de julho de 2019.

CORRALES, MARCIAL A. PASTOR; VAN SCHOONHOVEN, Aart. **Standard system for the evaluation of bean germplasm**. CIAT, 1987.

COSTA, C. L. Mapeamento de genes de resistência a diferentes isolados de *colletotrichum lindemuthianum* e seleção recorrente visando à resistência a antracnose do feijoeiro. **Tese de doutorado**. Universidade Federal de Lavras, 2019.

CROUS, P. W. et al. Re-evaluating the taxonomic status of *Phaeoisariopsis griseola*, the causal agent of angular leaf spot of bean. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 55, n. 1, p. 163-173, Jan. 2006.

CUNHA, W. G. da; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, n.4, p.379-386, 2005. 24

DAMASCENO-SILVA, K. J. et al. Pathogenic variability of isolates of *Pseudocercospora griseola*, the cause of common bean angular leaf spot, and its implications for resistance breeding. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 156, n. 10, p. 602-606, Oct. 2008.

DE RON, A.M., A.M. GONZÁLEZ, L. GODOY, AND A.P. Rodiño. 2016. History of the common bean crop : its evolution beyond its areas of origin and domestication. **Arbor Ciencia, Pensam. y Cult.** 192(779): 1–11.

FALEIRO, F. G.; RAGAGNIN, V. A. CORRÊA, R. X.; VINHADELLI, W. S.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Inheritance of the rust resistance of the common bean cultivar Ouro Negro (Honduras-35) and identification of linked rapd markers. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 44, p. 105-106, 2001b.

FERREIRA, J. J.; CAMPA, A.; KELLY, J. D. Organization of genes conferring resistance to anthracnose in common bean. In: VARSHNEY, R. K.; TUBEROSA, R. (Org.). **Translational genomics for crop breeding**. New York: John Wiley & Sons, 2013. P151-176.

FERREIRA, C. F. et al. Inheritance of angular leaf spot resistance in common bean and identification of a RPD marker linked to a resistance gene. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 4, p. 1130-1133, July 2000.

FRITSCHÉ-NETO, ROBERTO; SOUZA, THIAGO LÍVIO PESSOA OLIVEIRA DE; PEREIRA, Helton Santos; *et al.* Association mapping in common bean revealed regions associated with Anthracnose and Angular Leaf Spot resistance. **Scientia Agricola**, Piracicaba, ESALQ/USP, v. 76, n. 4, p. 321-327, 2019.

GERALDI, I. Selección recurrente en el mejoramiento de plantas. In: **GUIMARÃES, E. P.** (Ed.). Selección recurrente en arroz. Cali: CIAT, 1997. P. 3-11.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C., CRUZ, A. S., GARCIA, A., KAMI, J., VIDIGAL FILHO, P. S., SOUSA, L. L., ... & PASTOR-CORRALES, M. A. (2011). Linkage mapping of the Phg-1 and Co-14 genes for resistance to angular leaf spot and anthracnose in the common bean cultivar AND 277. **Theoretical and applied genetics**, 122(5), 893-903.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. et al. Co-segregation analysis and mapping of the anthracnose Co-10 and angular leaf spot Phg-ON disease-resistance genes in the common bean cultivar Ouro Negro. **Theoretical and applied genetics**, v. 126, n. 9, p.2245-2255, 2013.

JARA, C.; CASTELLANO, G.; MAHUKU, G. Estado actual y proyección de la investigación relacionada com la mancha angular del frijol (*Phaeoisariopsis griseola*). **Fitopatología Colombiana**, Santa Fé Bogotá, v. 25, n. 1, p. 1-6, 2001.

KELLER L, et al. (2015) Macyranonos: Structure, Biosynthesis, and Binding Mode of an Unprecedented Epoxyketone that Targets the 20S Proteasome. **J Am Chem Soc** 137(25):8121-30

KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. 690 p.

KIMATI, H.; GALLI, F. *Glomerella cingulata* (Stonem.) Spauld. Et v. Scherenk. f. sp. *phaseoli* n. f., fase ascógena do agente causal da antracnose do feijoeiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, n. 27, p. 411-437, 1970.

LEITE, M. E. et al. Increasing the resistance of common bean to white mold through recurrent selection. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 1, p. 71-78, 2016

LEMOS, R.C.; ABREU, A.F.B.; SOUZA, E.A.; SANTOS, J.B.; RAMALHO, M.A.P. 2020. A half century of a common bean breeding program in the South and Alto Paranaíba region of Minas Gerais. *b* (in press).

LIBRELON, S. S. SELEÇÃO RECORRENTE VISANDO RESISTÊNCIA À MANCHA ANGULAR COM O USO DE INOCULAÇÃO ARTIFICIAL DE *Pseudocercospora griseola*. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Lavras, 2016.

LIBRELON, Samira Santiago et al. Increasing the efficiency of recurrent selection for angular leaf spot resistance in common bean. **Crop Science**.(in press)

LOPES, F. S., LEITE, M. E., PORTO, A. C. M., MIGUEL, L. A., REIS, V. D. O. L., & SANTOS, J. B. D. (2019). Recurrent selection in common bean aiming at resistance to white mold in a greenhouse. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 19(1), 95-101.

MAHUKU, G.S., M.A. HENRÍQUEZ, C. MONTOYA, C. JARA, H. TERAN, AND S. BEEBE. 2011. Inheritance and development of molecular markers linked to angular leaf spot resistance genes in the common bean accession G10909. *Mol. Breed.* 28:57–71. doi:10.1007/s11032-010-9461-x

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.

MENEZES JÚNIOR, J.A.N.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v.67, n.4, p.833-838, 2008.

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

MIKLAS, P.N., J.D. KELLY, S.E. BEEBE, AND M.W. BLAIR. 2006. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica** 147(1–2): 105–131.

MODA-CIRINO, V et al. Mancha angular. Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças. Viçosa, MG: **EPAMIG** Zona da Mata, 2012, 158p.

MURUBE, E.; CAMPA, A.; FERREIRA, J.J. Integrating genetic and physical positions of the anthracnose resistance genes described in bean chromosomes Pv01 and Pv04. **Plos One**. p. 1-17, 2019.

NAY, Michelle M. et al. A review of angular leaf spot resistance in common bean. **Crop Science**, 2019.

NELSON, REBECCA et al. Navigating complexity to breed disease-resistant crops. **Nature Reviews Genetics**, v. 19, n. 1, p 21-33., 2018.

NIETSCHKE, S. et al. RAPD and SCAR markers linked to a gene conferring resistance to angular leaf spot in common bean. **Journal of Phytopathology**, v.148, p.117–121, 2000.

OBLESSUC, P. R.; FRANCISCO, C.; MELOTTO, M. The Co-4 locus on chromosome Pv08 contains a unique cluster of 18 COK-4 genes and is regulated by immune response in common bean. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 128, n. 6, p. 1193–1208, June 2015.

OBLESSUC, P.R et al. Common bean reaction to angular leaf spot comprises transcriptional modulation of genes in the ALS10.1QTL. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 152, 2015.

PADDER, B. A., SHARMA, P. N., AWALE, H. E., & KELLY, J. D. (2017). *Colletotrichum lindemuthianum*, the causal agent of bean anthracnose. **Journal of Plant Pathology**, 99(2), 317-330.

PÁDUA, F. P. Inoculação artificial de *Pseudocercospora griseola* na seleção recorrente visando a resistência no feijoeiro. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Lavras, 2017.

PAULA JÚNIOR, T. J.; WENDLAND, A. Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças. Viçosa: **EPAMIG**, 2012. 157 p.

PAULA JÚNIOR, T. J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Org.). Feijão. 2. ed. Viçosa: **Ed. UFV**, 2006. p. 359–414.

RAGAGNIN VA et al. (2009) Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding 128**: 156-163

PEREIRA, R et al. Aggressiveness of *Pseudocercospora griseola* strains in common bean genotypes and implications for genetic improvement. **Genetics and Molecular Research**, v.14, p.5044 - 5053, 2015.

PINTO, A. C. S. et al. Análise do padrão espacial e do gradiente da antracnose do feijoeiro em duas épocas de cultivo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 27, p. 392–398, 2001.

POSSE, S. C. P; RIVA-SOUZA, E. M; SILVA, G. M; FASOLO, L. M; SILVA, M. B;ROCHA, M. A. M. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região centralbrasileira: 2009-2011. Vitória: **INCAPER**, 245 p. 2010. (INCAPER, Documentos 191).

RAMALHO, M. A. P. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamias. Lavras: **Ed. UFLA**, 2012. 522 p.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B.; SANTOS, J.B. Genetic progress in common bean after four cycles of recurrent selection. **Euphytica**, v.144, p.23-29, 2005.

RAVA, CARLOS A. Doenças fúngicas da parte aérea. **Agência de Informação Embrapa**. Brasília, 2011. Disponível em:

<[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG01\\_106\\_1311200215105.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG01_106_1311200215105.html)>. Acesso em: 29 de junho de 2020.

REZENDE, BRENO A. et al. Severity Evaluation Methods in Common Bean Recurrent Selection Programme for Resistance to Angular Leaf Spot. **Journal of Phytopathology**, v. 162, n. 10, p. 643-649, 2014

SARTORATO, A. et al. RAPD and SCAR markers linked to resistance gene to angular leaf spot in common beans. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n. 4, p. 637-642, 2000

SARTORATO, A. Identification of *Phaeoisariopsis griseola* pathotypes from five states of Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 78-81, Jan./Feb. 2002.

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, 2008.

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

SOUZA, R. S.; WANDER, A. E. Aspectos econômicos da produção de feijão no Brasil. **Revista de Política Agrícola, Brasília**, v. 23, n. 3, p. 43-54, jul./set. 2014.