

JUSSARA MENCALHA

**RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE DE CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA
RECOMENDADAS NO BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: José Eustáquio de S. Carneiro

Coorientadores: Elaine Aparecida de Souza
Pedro Crescêncio Souza Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M536r
2022
Mencalha, Jussara, 1991-
Resistência à antracnose de cultivares de feijão carioca
recomendadas no Brasil / Jussara Mencalha. – Viçosa, MG,
2022.

1 tese eletrônica (74 f.): il.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.141>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. *Colletotrichum lindemuthianum*.
3. Feijão - Melhoramento genético. I. Carneiro, José Eustáquio
de Souza, 1960-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em
Genética e Melhoramento. III. Título.

CDD 22. ed. 633.3722

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

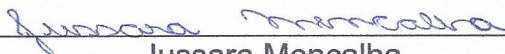
JUSSARA MENCALHA

**RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE DE CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA
RECOMENDADAS NO BRASIL**

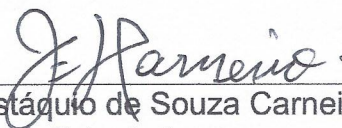
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2022.

Assentimento:



Jussara Mencalha
Autora



José Eustáquio de Souza Carneiro
Orientador

A Deus, pela saúde e por todas as bênçãos em minha vida.
Aos meus pais, Alvaro Mencialha e Divina das Graças Mencialha.
Aos meus irmãos Juscélia das Graças Mencialha e Carlos César de Souza Júnior.
Ao meu esposo Vinícius Quintão Carneiro.
Pelo incondicional apoio durante toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu amparo em todos os momentos e me dar forças para vencer cada obstáculo, tornando possível a realização deste sonho.

Aos meus pais, Alvaro Mencialha e Divina das Graças Mencialha, pelo apoio e incentivo para que alcançasse meus objetivos. À minha irmã Juscélia das Graças Mencialha pelo companheirismo, amizade e momentos de descontração.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento pela oportunidade de realizar o doutorado. Também agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro a pesquisa.

Ao meu orientador José Eustáquio de Souza Carneiro, por ter me orientado desde o mestrado, pela dedicação e conhecimentos compartilhados durante todos esses anos.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela disponibilidade de sempre ajudar e ensinamentos transmitidos.

À professora Elaine Aparecida de Souza, pela amizade, dedicação e pela oportunidade de fazer parte de seu grupo de pesquisa. A experiência profissional adquirida é inestimável para minha carreira.

Aos membros da banca, Doutora Fernanda Aparecida Castro Pereira e professor Leonardo Corrêa da Silva, pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Aos colegas do Programa Feijão da UFV e do Laboratório de Resistência de Plantas a Doenças (UFLA), pela amizade e ajuda na condução dos experimentos. A ajuda de todos foi essencial para a conclusão deste trabalho. À amiga Mariana Andrade, pela amizade, ensinamentos e ajuda na condução dos experimentos. Nossa convivência contribuiu muito para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao técnico e colega Miller Marani, que sempre me auxiliou com muito boa vontade no laboratório, sua contribuição foi fundamental para o bom andamento da pesquisa.

Aos secretários da Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Marco Túlio e Odilon, por estarem sempre dispostos a ajudar e esclarecer qualquer dúvida.

Ao meu esposo Vinícius Quintão Carneiro, que sempre me apoiou e nunca mediu esforços para me ajudar na realização dos meus sonhos. Obrigada por tudo, me sinto muito grata e abençoada por ter você em minha vida.

Enfim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado e contribuíram para realização desse trabalho.

Muito obrigada!

“O único homem que está isento de erros é aquele que não arrisca acertar”.

(Albert Einstein)

BIOGRAFIA

JUSSARA MENCALHA, filha de Alvaro Mencialha e Divina das Graças Mencialha, nasceu em 09 de maio de 1991, na cidade de Carangola, no estado de Minas Gerais, Brasil.

Em agosto de 2010, iniciou o curso superior em Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. Durante a graduação trabalhou como estagiária no laboratório de Acarologia na área de controle biológico, sob orientação do Professor Angelo Pallini. Entre 2013 e 2015 trabalhou como bolsista de iniciação científica no projeto intitulado “Controle de pragas do tomateiro com ácaros predadores” financiado pela empresa Koppert Biological Systems.

Em agosto de 2015, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia na UFV, submetendo-se à defesa de dissertação em Julho de 2017, intitulada: “Enriquecimento de sementes de feijão-comum com cobalto”.

Em março de 2018 ingressou no curso de Doutorado em Genética e Melhoramento na UFV, submetendo-se a defesa de tese em fevereiro de 2022.

RESUMO

MENCALHA, Jussara, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Resistência à antracnose de cultivares de feijão carioca recomendadas no Brasil.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Elaine Aparecida de Souza.

A antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* promove elevadas perdas na produção do feijoeiro e depreciação dos grãos quando ocorre alta severidade da doença. A utilização de cultivares resistentes é a estratégia mais eficaz e economicamente viável para controle da antracnose. Os programas de melhoramento têm dedicado esforços para o desenvolvimento de cultivares com resistências as principais raças de *C. lindemuthianum*. A identificação de potenciais genitores resistentes é crucial para alcançar este objetivo. Essa identificação tem sido realizada por meio da avaliação da severidade da antracnose em experimentos com inoculação artificial do patógeno em plantas no estágio V2. Assim, os objetivos com este trabalho foram caracterizar cultivares de feijão carioca recomendadas no Brasil quanto a reação às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum* e estimar o número mínimo de plantas por parcela para avaliar a severidade da antracnose por meio de inoculação artificial. Cultivares de feijão carioca foram avaliadas quanto a reação às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*. Para cada raça foram realizados dois experimentos em delineamento de blocos casualizados, com três repetições e parcelas constituídas por nove plantas. As plantas de cada cultivar foram inoculadas em estágio V2 com uma suspensão de esporos de cada raça do patógeno e avaliadas 12 dias após inoculação. Além de caracterizar as cultivares, foi determinado o número mínimo de plantas por parcela para obter alta precisão e acurácia. A partir dos dados de severidade de plantas individuais, foram simulados tamanhos de parcela contendo de 1 a 9 plantas. Para determinação do número de plantas, foram obtidas as estimativas de acurácia, do coeficiente de variação e da correlação de Pearson da média das cultivares em cada simulação de cada tamanho de parcela com a média das cultivares utilizando nove plantas por parcela. As cultivares IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, VC 15, BRS Notável e IPR Campos Gerais foram resistentes às quatro raças de *C. lindemuthianum*, constituindo-se em boas fontes de resistência ao referido patógeno. Seis plantas por parcela é o número mínimo

necessário para avaliar a severidade da antracnose por meio da inoculação artificial de plantas de feijoeiro em estágio V2.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. *Colletotrichum lindemuthianum*. Melhoramento do feijoeiro.

ABSTRACT

MENCALHA, Jussara, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Resistance to anthracnose of carioca bean cultivars recommended in Brazil.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and Elaine Aparecida de Souza.

The anthracnose caused by the fungus *Colletotrichum lindemuthianum* promotes high losses in common bean production and grain depreciation when there is a high severity of the disease. The use of resistant cultivars is the most effective and economically viable strategy to control anthracnose. The breeding programs have spent effort in the development of cultivars with resistance to the main races of *C. lindemuthianum*. The identification of potential resistant parents is crucial to achieving this goal. This identification has been carried out by assessing the anthracnose severity in experiments with artificial inoculation of the pathogen in plants at stage V2. Thus, the objectives of this work were to characterize carioca common bean cultivars recommended in Brazil for their reaction to *C. lindemuthianum* races 65, 73, 81, and 89 and to estimate the minimum number of plants per plot to assess the anthracnose severity by means of artificial inoculation of plants at stage V2. Carioca common bean cultivars were assessed for reaction to *C. lindemuthianum* races 65, 73, 81 and 89. Two experiments were carried out for each race in a randomized block design, with three replications and plots of nine plants. The plants of each cultivar were inoculated at stage V2 with a suspension of spores of each race of the pathogen and assessed 12 days after inoculation. In addition to characterizing the cultivars, the minimum number of plants per plot was determined to obtain high precision and accuracy. From the anthracnose severity data of individual plants, plot sizes containing from 1 to 9 plants were simulated. To determine the number of plants per plot, estimates of the accuracy, coefficient of variation and Pearson's correlation of the mean of the cultivars in each simulation of each plot size with the mean of the cultivars using nine plants per plot were obtained. The cultivars IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, VC 15, BRS Notável and IPR Campos Gerais were resistant to the four races of *C. lindemuthianum*, and are suitable parental sources of resistance to the pathogen. Six plants per plot is the minimum number needed to assess the severity of anthracnose by artificial inoculation of the pathogen on common bean plants at stage V2.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. *Colletotrichum lindemuthianum*. Bean breeding.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A Cultura do feijão no Brasil	16
2.2 Melhoramento genético do feijoeiro no Brasil.....	17
2.3 Melhoramento genético para resistência do feijoeiro à antracnose.....	19
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 1 - POTENCIAIS GENITORES DE FEIJÃO CARIOCA PARA EMPREGO NO MELHORAMENTO VISANDO RESISTÊNCIA AO <i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	29
RESUMO.....	30
ABSTRACT	31
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4. CONCLUSÕES	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
CAPÍTULO 2 - TAMANHO DE PARCELA PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DA ANTRACNOSE EM FEIJÃO-COMUM SOB INOCULAÇÃO ARTIFICIAL	51
RESUMO.....	52
ABSTRACT	53
1. INTRODUÇÃO	54
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4. CONCLUSÕES	71
5. REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie amplamente cultivada e consumida no mundo, sobretudo nos países em desenvolvimento. O Brasil é o maior produtor e consumidor desta leguminosa, sendo uma importante fonte de proteínas e minerais para a população. Além disso, o feijão desempenha importante papel socioeconômico por contribuir com a geração de emprego e renda. A produção nacional na safra 2019/2020 foi de 2,36 milhões de toneladas em uma área de 1,58 milhões de hectares e uma produtividade média de 1498 kg ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ e FEIJÃO, 2021). Apesar desta média de produtividade ser relativamente baixa, a cultura pode superar 3000 kg ha⁻¹ em lavouras mais tecnificadas.

A ocorrência de doenças é um dos fatores que causa redução da produtividade de grãos do feijoeiro. A antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Saac. & Magnus) Briosi & Cavara pode causar perda total da produção quando são utilizadas cultivares suscetíveis sob condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno (LECLAIR et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016; COSTA et al., 2017). O controle da antracnose pode ser feito por meio da aplicação de fungicidas, o uso de sementes de qualidade e/ou emprego de cultivares resistentes. A utilização de cultivares resistentes é a forma mais eficaz e econômica de controle. No entanto, a durabilidade da resistência genética tem sido dificultada devido à grande variabilidade genética do fungo. Já foram descritas 298 raças de *C. lindemuthianum* em 29 países (NUNES et al., 2021), sendo que no Brasil há predomínio das raças 65, 73 e 81 (NUNES et al., 2021). Além disso, estudos têm demonstrado a ocorrência de variabilidade dentro das raças 65 e 81 (ISHIKAWA; RAMALHO; SOUZA, 2011; ISHIKAWA et al., 2012).

Devido a importância da antracnose, a busca por cultivares resistentes é um dos objetivos da maioria dos programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil. Várias são as estratégias utilizadas para aumentar a durabilidade da resistência das cultivares. Dentre estas, são citadas a piramidação de alelos de resistência por meio de retrocruzamentos (MOREIRA et al., 2006), a obtenção de multilinhas (BOTELHO et al., 2011) e a seleção recorrente (COSTA et al., 2020). O programa de melhoramento do Instituto de Biotecnologia Aplicado à Agropecuária (Bioagro – UFV) obteve a linhagem Rudá-R por meio da introgressão de alelos de resistência a antracnose (*Co-6* e *Co-4*), mancha-angular (*Phg-1*) e ferrugem (*Ur-ON*) na cultivar de

feijão carioca Rudá (RAGAGNIN et al., 2009). Botelho et al. (2011) observaram que a multilinha composta por sete linhagens de feijão carioca proporcionou redução do progresso da doença no campo, com notas médias de severidade de antracnose similar às das linhagens mais resistentes que compunham a multilinha. Além disso, a produção da multilinha foi similar às das linhagens mais resistentes. A seleção recorrente tem se mostrado eficiente para aumentar a frequência de alelos de resistência às principais raças de *C. lindemuthianum*. Segundo Costa et al. (2020), com quatro ciclos de seleção recorrente foi possível obter progênies com amplo espectro de resistência à antracnose.

A seleção de genitores com amplo espectro de resistência é uma etapa fundamental para o desenvolvimento de linhagens resistentes à antracnose. Assim, o conhecimento da reação dos potenciais genitores, é de grande importância para orientação de cruzamentos. A maioria das fontes de resistência utilizadas pelos programas de melhoramento não são do grupo comercial carioca e/ou são portadoras de alguns fenótipos indesejáveis, como planta prostrada e grãos fora do padrão comercial. Assim, a identificação de fontes de resistência mais adaptadas e já com padrão comercial de grão pode trazer ganhos e acelerar o melhoramento visando resistência a antracnose. Outro aspecto, não menos importante, é o conhecimento da reação das cultivares de feijão já registradas junto ao MAPA, às principais raças do patógeno, de modo a orientar os produtores na escolha das cultivares a serem utilizadas para plantio. Neste contexto, a avaliação da reação das cultivares e linhagens elites de feijoeiro ao *C. lindemuthianum* constitui-se numa etapa primordial para o sucesso do melhoramento da cultura.

A avaliação da reação de plantas de feijão ao *C. lindemuthianum* realizada no campo com base na ocorrência natural do patógeno não é uma medida acurada e precisa, já que a doença ocorre em reboleiras devido a disseminação do patógeno pela semente e a curtas distâncias. Para tornar essa avaliação mais precisa, os experimentos de avaliação da severidade da antracnose têm sido realizados em casa de vegetação por meio da inoculação artificial de plantas em estágio V2 (ALZATE-MARIN et al., 2006; CALIL et al., 2008; CELIN et al., 2012) ou V3 (GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2012; MARTINIANO-SOUZA et al., 2021). A avaliação em estágio V2 possibilita avaliar um maior número de linhagens em um menor tempo e espaço. Barcelos et al. (2013) avaliaram 500 acessos de feijão do banco de germoplasma da

UFLA por meio da inoculação de plantas em estágio V2 quanto a reação às raças 65 e 81 de *C. lindemuthianum*.

Na maioria dos trabalhos encontrados na literatura, as avaliações da severidade da antracnose sob inoculação artificial são realizadas por meio da inoculação de uma parcela com aproximadamente nove plantas, mas sem repetição. A falta de repetição nos experimentos se justifica pelo fato de que normalmente são muitos genótipos a serem inoculados e as repetições acarretariam mais trabalho e custo. Uma alternativa para usar repetição, sem aumentar muito os custos, seria dimensionar de forma adequada o tamanho da parcela do experimento, ou seja, reduzir o número de plantas por parcela. Entretanto, não foram encontradas informações desta natureza na literatura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do feijão no Brasil

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie de grande importância no cenário mundial, sobretudo nos países em desenvolvimento. Os grãos possuem alto valor nutricional por ser fonte de proteínas, carboidratos e minerais, constituindo-se em um alimento de grande importância para o Brasil e para os povos de vários outros países (UMEDA, 2017). No Brasil, o cultivo é bem diversificado, sendo produzido individualmente (cultivo exclusivo) ou consorciado com outras culturas. A maior parte da produção é proveniente de áreas de pequenos e médios produtores, normalmente conduzidas sob baixos níveis tecnológicos. Porém, nos últimos anos tem aumentado o cultivo de feijão por grandes produtores, com utilização de alta tecnologia, incluindo a irrigação (MOURA; BRITO, 2015; FARIAS, 2018).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum e os estados maiores produtores são Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás, Bahia e São Paulo (CONAB, 2022). Na safra 2019/2020 o Brasil produziu 2,36 milhões de toneladas em uma área cultivada de 1,58 milhões de hectares e uma produtividade média de 1498 kg ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ e FEIJÃO, 2021). O feijoeiro se adapta às mais variadas condições edafoclimáticas, o que permite o seu cultivo durante quase todo o ano.

O cultivo do feijão-comum concentra-se em três safras: Safra das “águas” (1ª safra), com plantio nos meses de setembro a novembro; safra da “seca” (2ª safra), com plantio de fevereiro a março; e safra de outono/inverno ou feijão irrigado (3ª safra), com plantio de abril a julho (ARAÚJO; CAMELO, 2015). As safras das “águas” e da “seca” são consideradas de risco, pois nas “águas” a colheita pode coincidir com o período chuvoso comprometendo a qualidade dos grãos e sua produção, enquanto na “seca” a escassez de chuva é a maior limitação (WANDER, 2007). Já a safra de “inverno”, ou irrigada, é considerada de menor risco, uma vez que a maioria desse feijão é produzido sob alta tecnologia. Portanto, nesta safra tem-se obtido as maiores produtividades, principalmente nos estados localizados na região do planalto central brasileiro. Os estados de Goiás e Distrito Federal alcançaram produtividade de cerca de 3000 kg ha⁻¹ na terceira safra de 2018/2019, enquanto a produtividade média nacional foi de 1240 kg ha⁻¹ no mesmo período (CONAB, 2020).

O feijoeiro apresenta grande diversidade quanto a cor do tegumento dos grãos, que são comercializados e produzidos de forma regionalizada (BORÉM; CARNEIRO, 2015). No Brasil predomina cultivo e consumo de feijões de grãos pequenos, denominados mesoamericanos, das mais variadas cores. O tipo comercial mais produzido e consumido no Brasil é o feijão carioca, entretanto em algumas regiões predomina a preferência por outros tipos comerciais. O feijão preto é preferido no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Sul do Espírito Santo (BARBOSA; GONZAGA, 2012; FARIA et al., 2014). Já o feijão vermelho é popular na Zona da Mata do estado de Minas Gerais. Além da cor do tegumento outros fatores influenciam na comercialização como o tamanho, a forma e o brilho do grão. Devido a maior importância e abrangência do feijão carioca no Brasil, os programas de melhoramento dedicam-se especialmente a este tipo comercial. O desenvolvimento de cultivares melhoradas trouxe uma contribuição efetiva no incremento da produtividade, na facilidade dos tratos culturais, na colheita e melhoria da qualidade tecnológica e nutricional dos grãos do feijão-comum, especialmente do grupo comercial carioca.

2.2 Melhoramento genético do feijoeiro no Brasil

O melhoramento do feijoeiro tem apresentado resultados promissores ao longo dos anos, contribuindo para o aumento da produtividade e redução dos custos de produção, resultando em maior lucro (BARILI et al., 2016). Assim, os programas de melhoramento dedicam seus esforços no desenvolvimento de cultivares que apresentem vantagens em relação aquelas disponíveis no mercado e que atendam a demanda dos produtores, comerciantes e consumidores (RAMALHO; ABREU, 2015; MARTINS, 2015).

O melhoramento genético do feijoeiro no Brasil é realizado por empresas que se concentram no setor público (COELHO et al., 2017). Dentre os principais programas de melhoramento do feijoeiro no país destacam-se os conduzidos pela EMBRAPA Arroz e Feijão, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) (RAMALHO; ABREU, 2015).

Os principais objetivos dos programas de melhoramento do feijoeiro são obter cultivares com maior potencial produtivo, melhor arquitetura de plantas, alta qualidade tecnológica e comercial dos grãos e resistência a doenças (TSUTSUMI; BULEGON; PIANO, 2015; AMABIELE et al., 2018). A produtividade de grãos é um dos caracteres de maior importância na cultura do feijoeiro. O sucesso dos programas de melhoramento para esta característica é observado pela grande quantidade de cultivares recomendadas que superam os 2000 kg.ha⁻¹ e o elevado progresso genético alcançado (BARILI et al., 2015).

Uma grande preocupação dos programas de melhoramento é obter cultivares que associem elevada produtividade de grãos, arquitetura ereta de planta e grãos com boa aceitação comercial. O uso de cultivares de porte ereto proporcionam certas vantagens como facilidade nos tratos culturais e menores perdas na colheita (CUNHA; RAMALHO; ABREU, 2005; MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008; MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009). Além disso, o emprego de cultivares com porte ereto promove maior circulação de ar nas entrelinhas e, portanto, redução na severidade de patógenos, especialmente mofo-branco (KOLKMAN; KELLY, 2002; MIKLAS et al., 2006).

A qualidade comercial dos grãos é fator limitante para a recomendação de novas cultivares. Esse carácter está diretamente relacionado com a aceitação comercial, sendo observados os atributos externos dos grãos, como cor, tamanho, formato e brilho, além das propriedades nutritivas e culinárias (BALDONI; TEIXEIRA; SANTOS, 2002). Com relação a qualidade tecnológica, a rápida hidratação, o tempo de cocção e a espessura do caldo têm recebido enorme atenção dos programas de melhoramento, pois independentemente do tipo comercial, o consumidor é exigente quanto a estes atributos (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO et al., 2005).

O feijoeiro é acometido por várias doenças que causam redução da produtividade de grãos, podendo levar a perdas de até cem por cento da produção em alguns casos. As principais doenças que ocorrem no feijoeiro são a antracnose, a mancha-angular, o crestamento-bacteriano, a ferrugem, o mosaico-dourado, a murcha-de-fusário e o mofo-branco. Nesse cenário, o melhoramento de plantas visa desenvolver cultivares resistentes a essas doenças, pois a resistência é a estratégia mais eficiente, econômica e de fácil adoção pelos produtores (MIKLAS et al., 2006; FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013). Esse processo deve ser contínuo já que a resistência duradoura é dificultada devido à grande variabilidade genética dos

patógenos. Diferentes estratégias são utilizadas no melhoramento do feijoeiro, incluindo a seleção recorrente.

A seleção recorrente é uma estratégia utilizada tanto no melhoramento de plantas alógamas quanto de autógamas. Esta estratégia pode ser realizada através da seleção fenotípica ou massal, no qual a seleção é feita com base no fenótipo do indivíduo e nenhuma informação genotípica é utilizada como critério. Esse método é recomendado para caracteres de alta herdabilidade e os melhores indivíduos são selecionados e intercruzados após avaliação do fenótipo da população. As sementes dos indivíduos selecionados são colhidas e utilizadas para formar a população que será submetida a um novo ciclo de seleção. A seleção recorrente também pode ser realizada através da avaliação de progênies em experimentos de campo com repetições, conduzidos em diferentes ambientes. Dessa forma, é possível estimar com maior precisão os valores genotípicos das progênies, o que torna esse método mais eficiente que a seleção recorrente fenotípica e uma alternativa para o melhoramento de caracteres de baixa herdabilidade. No melhoramento do feijoeiro, a seleção recorrente tem sido empregada com sucesso para melhoramento de caracteres como produtividade de grãos (SILVA et al., 2010), arquitetura de plantas (PIRES et al., 2014) e resistência a doenças (NAY et al., 2019; LOPES et al., 2019; COSTA et al., 2020)

A fase final do melhoramento de plantas autógamas, de modo geral, constitui-se da avaliação das linhagens elites em regiões representativas das áreas para as quais se quer recomendar cultivares. Para o feijoeiro, no estado de Minas Gerais, esta fase é realizada em parceria por meio de um convênio firmado entre UFLA, UFV, Embrapa e Epamig. Assim, a avaliação de linhagens visando a recomendação de cultivares de feijão para Minas Gerais é realizada de forma cooperativa entre estas instituições. Entre as cultivares recomendadas por meio deste convênio, podemos citar a BRSMG Amuleto, BRSMG Marte, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRSMG Talismã e BRSMG Madrepérola (MAPA, 2022).

2.3 Melhoramento genético para resistência do feijoeiro à antracnose

A antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus) Briosi & Cavara, é uma das doenças mais agressivas e de maior importância na cultura do feijoeiro, podendo provocar perda total da produção quando são utilizadas sementes contaminadas e/ou cultivares suscetíveis sob condições

climáticas favoráveis para o desenvolvimento da doença durante o ciclo da cultura (CAMPA; TRABANCO; FERREIRA, 2014). Regiões com alta umidade relativa, e temperaturas moderadas entre 15 e 25°C são favoráveis ao desenvolvimento do patógeno (PAULA JÚNIOR et al., 2015). Em condições mais severas, a doença ainda pode causar manchas nos grãos depreciando a qualidade do produto final e tornando-os indesejáveis ao consumo (PAULA JÚNIOR; ZAMBOLIM, 2006). No Brasil, a doença ocorre na maioria dos estados produtores, sendo mais frequentes em Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO et al., 2005).

O uso de sementes sadias, a eliminação de restos culturais, o cuidado no manejo dos implementos e a rotação de culturas com plantas não hospedeiras são medidas preventivas recomendadas para evitar a transmissão de inóculo entre safras (REIS; CASA; BIANCHIN, 2011; CARBONELL et al., 2012). Embora vários fungicidas tenham sido recomendados para controle da antracnose (SARTORATO, 2006; LIMA et al., 2010), isto onera os custos de produção. Dessa forma, o uso de cultivares resistentes é a estratégia mais eficaz, segura e economicamente viável no controle da antracnose. No entanto, a grande variabilidade genética do fungo evidenciada pelo grande número de raças fisiológicas identificadas, tem dificultado o controle da doença por meio de cultivares com resistência durável (PINTO et al., 2012; PADDER et al., 2017), o que demanda uma permanente busca por novas fontes de resistência (MAHUKU et al., 2002). Em todo o mundo já foram descritas 298 raças de *C. lindemuthianum* (NUNES et al., 2021). No Brasil, foram identificadas 89 raças, das quais, as raças 65, 73 e 81 são as mais frequentes (NUNES et al., 2021).

A resistência à *C. lindemuthianum* segue, geralmente, um modelo de herança qualitativo, em que os fenótipos resistentes e suscetíveis, são claramente diferenciados (FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013; CAMPA; TRABANCO; FERREIRA, 2014). Nos estudos sobre o controle genético da resistência de cultivares de feijoeiro às mais diversas raças de *C. lindemuthianum* tem sido relatado vários alelos de resistência, provenientes de diferentes genes (FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013; LACANALLO; GONÇALVES-VIDIGAL, 2015; SOUSA et al., 2015; COSTA et al., 2017). Até o momento, já foram identificados 23 alelos *Co*'s, provenientes de diferentes genes. Alelismo múltiplo também tem sido relatado nos locus *Co-1*, *Co-3*, *Co-4* e *Co-5*. Com exceção do alelo *Co-8*, identificado na cultivar AB136 (ALZATE-MARIN et al., 1997), no qual a resistência é relatada como sendo conferida por um

alelo recessivo, nos demais casos, o alelo dominante é descrito como o responsável pela resistência. Em estudo realizado por Costa et al. (2017), o controle genético de cultivares de feijão a seis diferentes isolados da raça 65 indicou que alelos dominantes provenientes de genes duplicados podem estar conferindo resistência específica a cada um dos isolados utilizados. Também tem sido relatado presença de QTLs (*Quantitative Trait Loci*) conferindo resistência parcial a um único isolado de *C. lindemuthianum* (FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013; OBLESSUC et al., 2014; PERSEGUINI et al., 2016; ZUIDERVEEN et al., 2016).

Algumas estratégias têm sido empregadas para controle da antracnose, por meio da utilização da resistência genética das cultivares, tais como piramidação de alelos de resistência por meio de retrocruzamentos (RAGAGNIN et al., 2009), utilização de multilinhas (BOTELHO et al., 2011; CARVALHO, 2018) e seleção recorrente (COSTA et al., 2020). Com a piramidação procura-se introgradir, em uma cultivar comercial, vários alelos de resistência a diferentes raças de *C. lindemuthianum* por meios de retrocruzamentos. Utilizando-se deste procedimento, foi obtida pelo BIOAGRO/UFV a linhagem Rudá-R, portadora de alelos de resistência à antracnose (*Co-6* e *Co-10*), ferrugem (*Ur-OM*) e mancha-angular (*Phg-1*) (RAGAGNIN et al. 2009). Posteriormente, Costa et al. (2010) transferiram estes alelos da Rudá-R para a cultivar Diamante Negro. Todo o processo de seleção foi assistido por marcadores moleculares.

Outra alternativa para controle da antracnose é o emprego de multinha, que consiste na mistura previamente definida, de linhagens fenotipicamente semelhantes, porém, com alelos diferentes de resistência diferentes às várias raças do patógeno. Com o uso da multinha, espera-se que ocorra redução de inóculo efetivo do patógeno no campo, resultando em maior estabilidade da produção e maior durabilidade da resistência em relação a uma linhagem com vários alelos piramidados (MUNDT, 2014). Em estudo realizado por Botelho et al. (2011), o uso da multinha proporcionou redução do progresso da doença no campo, com notas de severidade média similar às linhagens resistentes que compõe a multinha. Além disso, a multinha apresentou produção similar às linhagens mais produtivas.

A seleção recorrente é uma estratégia de melhoramento que visa aumentar a frequência de alelos favoráveis sem perda da variabilidade genética, por meio de sucessivos ciclos de avaliação, seleção e recombinação. Seu emprego tem sido frequente no melhoramento de várias culturas, autógamias e alógamas. No

melhoramento genético do feijoeiro, esse método tem sido utilizado para melhoramento de vários caracteres como produtividade, porte e precocidade. Além disso, o método tem sido eficiente para aumentar a frequência de alelos favoráveis para resistência à *Pseudocercospora griseola* (NAY et al., 2019) e à *C. lindemuthianum* (COSTA et al., 2020). Em estudo realizado por Costa et al. (2020), a seleção recorrente fenotípica realizada em casa de vegetação com inoculação artificial de diferentes isolados de *C. lindemuthianum* foi eficiente para obtenção de progênies resistentes as raças 65, 73 e 89 do patógeno.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZATE-MARIN, A. L. et al. Genetic diversity analysis of races of *Colletotrichum lindemuthianum* that occur in some regions of Brazil by RAPD markers. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, p. 85–88, 1997.
- ALZATE-MARIN A. L. et al. Reação do cultivar de feijoeiro-comum “Vermelhinho” à ferrugem, antracnose e mancha angular. **Revista Ceres**, v. 56, n. 306, p. 164–170, 2006.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E), 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106825>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- ARAÚJO, G. A. A.; CAMELO, G. N. Preparo do Solo e Plantio. In: CARNEIRO, J. E.S; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Org.). **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 115-144.
- BALDONI, A. B.; TEIXEIRA, F. F.; SANTOS, J. B. Controle genético de alguns caracteres relacionados à cor da semente de feijão no cruzamento Rosinha x Esal 693. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1427–1431, 2002.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Documentos (INFOTECA-E), Embrapa Arroz e Feijão, 2012.
- BARCELOS, Q. L. et al. Investigation of sources of resistance to antracnose disease in a *Phaseolus vulgaris* germplasm collection in Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 56, p. 37–38, 2013.
- BARILI, L. D. et al. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1–11, 2016.
- BARILI, L. D. **Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil**. 2015. 38 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S.; A cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2015. p. 9-15.
- BOTELHO, F. B. S. et al. Multiline as a strategy to reduce damage caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 3, p. 175–180, 2011.

CALIL, I. P., et al. Characterization of accessions of *Phaseolus vulgaris* L. for reaction to the fungus *Colletotrichum lindemuthianum*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 51, p. 178–179, 2008.

CAMPA, A.; TRABANCO, N.; FERREIRA, J. J. 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**, v. 14, p. p. 1–12, 2014.

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

CELIN, E. F. et al. Sources of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in carioca common bean class. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 137-138, 2012.

COELHO, C. G.; OLIVEIRA, L. S. G.; BERNARDES, L. Melhoramento do feijoeiro no Brasil: uma revisão de literatura. In: Ciência que aproxima ciência que liberta, XXI, 2017, São José dos Campos. **Anais...**São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2017. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_0869_1360_01.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 20 jan. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 20 dez. 2021.

COSTA, L. C. et al. Are duplicated genes responsible for anthracnose resistance in common bean? **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, p. 1–15, 2017.

COSTA, L. C. et al. Effectiveness of recurrent selection for anthracnose resistance in common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 63, p. 73–74, 2020.

COSTA, M. R. et al. Development and characterization of common black bean lines resistant to anthracnose, rust and angular leaf spot in Brazil. **Euphytica**, v. 176, p. 149–156, 2010.

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 379–386, 2005.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Socioeconomia**. 2021. Disponível em: <https://www.cnpef.embrapa.br/socioeconomia/index>. Acesso em: 20 dez. 2021.

FARIAS, F. C. **Progresso genético do programa de seleção recorrente para produtividade de grãos de feijoeiro-comum da Embrapa**. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

FARIA, L. C. et al. Genetic progress during 22 years of black bean improvement. **Euphytica**, v. 199, n. 3, p. 261–272, 2014.

FERREIRA, J. J.; CAMPA, A.; KELLY, J. D. Organization of genes conferring resistance to anthracnose in common bean. In: VARSHNEY, R. K.; TUBEROSA, R. **Translational genomics for crop breeding**. New York: John Wiley & Sons, p. 151–176, 2013.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. et al. Reaction of common bean cultivars inoculated simultaneously with *Colletotrichum lindemuthianum* and *Pseudocercospora griseola*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 97–98, 2012.

ISHIKAWA, F. H. et al. Investigating variability within race 81 of *Colletotrichum lindemuthianum* strains from Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 141–142, 2012.

ISHIKAWA, F. H.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Common bean lines as potential differential cultivars for race 65 of *Colletotrichum lindemuthianum*. **Journal of Plant Pathology**, v. 93, n. 2, p. 461–464, 2011.

KOLKMAN, J. M.; KELLY, J. D. Agronomic traits affecting resistance to white mold in common bean. **Crop Science**, v. 46, p. 693–699, 2002.

LACANALLO, G. F.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. Mapping of an andean gene for anthracnose resistance (*Co-13*) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Jalo Listras Pretas landrace. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 5, p. 394–400, 2015.

LECLAIR, E. et al. Transmission of anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with artificial and natural inoculum in a wet and dry canopy. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 5, p. 913–921, 2015

LIMA, P. R. A. et al. Eficiência de fungicidas no controle da antracnose e da mancha angular do feijoeiro comum. **Cerrado Agrocências**, v. 1, n. 1, p. 54-59, 2010.

LOPES, F. S. et al. Recurrent selection in common bean aiming at resistance to white mold in a greenhouse. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 95–101, 2019.

MAHUKU, G. S. et al. Sources of Resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in the Secondary Gene Pool of *Phaseolus vulgaris* and in Crosses of Primary and Secondary Gene Pools. **Plant Disease**, v. 86, n. 12, p. 1383–1387, 2002.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2022. Disponível em: <

https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php >. Acesso em: 10 jan. 2022.

MARTINIANO-SOUZA, M. C. et al. Virulence and genetic diversity of *Colletotrichum lindemuthianum* and resistance of local common bean germplasm to anthracnose in Pernambuco State, Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 159, p. 727–740, 2021.

MARTINS, S. M. **Estratégias de melhoramento do feijoeiro-comum para altos teores de ferro e zinco**. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1312–1318, 2009.

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

MIKLAS, P. N. et al. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica**, v. 147, p. 105–131, 2006.

MOREIRA, M. A. et al. BRSMG Pioneiro: New carioca common bean cultivar resistant to anthracnose and rust, for the southern of Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, n. 49, 279–280, 2006.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. Aspectos socioeconômicos. In: Carneiro, J. E.; Júnior, T. J. P.; Borém, A. (Ed.). **Feijão do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV. 2015. p. 16-36.

MUNDT, C. C. Durable resistance: A key to sustainable management of pathogens and pests. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 27, p. 446–455, 2014.

NAY, M. M. et al. A Review of Angular Leaf Spot Resistance in Common Bean. **Crop Science**, v. 59, p. 1376–1391, 2019.

Nunes, M. P. B. A. et al. Relationship of *Colletotrichum lindemuthianum* races and resistance loci in the *Phaseolus vulgaris* L. genome. **Crop Science**, v. 61, n. 1, p. 3877–3893, 2021.

OBLESSUC, P. R. et al. Quantitative analysis of race-specific resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Molecular Breeding**, v. 34, p. 1313–1329, 2014.

PADDER, B. A. et al. *Colletotrichum lindemuthianum*, the causal agent of bean anthracnose. **Journal of Plant Pathology**, v. 99, n. 2, p. 317–330, 2017.

PAULA JÚNIOR, T. J., VIEIRA, R. F., TEIXEIRA, H., LOBO JUNIOR, M., WENDLAND, A. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In CARNEIRO, J. E. S.,

PAULA JÚNIOR, T. J., BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 270-299, 2015.

PAULA JÚNIOR, T. J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: Editora UFV, p. 359-414, 2006.

PERSEGUINI, J. M. K. C. et al. Genome-Wide Association Studies of Anthracnose and Angular Leaf Spot Resistance in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–19, 2016.

PINTO, J. M. A. et al. Investigating Phenotypic Variability in *Colletotrichum lindemuthianum* Populations. **Phytopathology**, v. 102, n. 5, p. 490–497, 2012.

PIRES, L. P. M. et al. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 3, p. 240–243, 2014.

RAGAGNIN, V. A. et al. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**, v. 128, p. 156–163, 2009.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Obtenção de Cultivares. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 96-114, 2015.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BIANCHIN, V. Controle de doenças de plantas pela rotação de culturas. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 3, p. 85–91, 2011.

RIBEIRO, T. et al. Classification of *Colletotrichum lindemuthianum* races in differential cultivars of common bean. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 179–184, 2016.

SARTORATO, A. Sensibilidade “in vitro” de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* a fungicidas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 3, p. 211–213, 2006.

SILVA, G. S. et al. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 351–356, 2010.

SOUSA, L. L. et al. Genetic Characterization and Mapping of Anthracnose Resistance of Common Bean Landrace Cultivar Corinthiano. **Crop Science**, v. 55, n. 5, p. 1900–1910, 2015.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro: Avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 217–223, 2015.

UMEDA, W. M. **Caracterização nutricional, capacidade antioxidante e composto bioativos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2017. 100 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2017.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do Feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, p. 301-392, 2005.

WANDER, A. E. **Produção e consumo de feijão no Brasil, 1975-2005**. Informações Econômicas, v. 37, n. 2, p. 7–21, 2007.

ZUIDERVEEN, G. H. et al. Genome-Wide Association Study of Anthracnose Resistance in Andean Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1–17, 2016.

CAPÍTULO 1

**POTENCIAIS GENITORES DE FEIJÃO CARIOCA PARA EMPREGO NO
MELHORAMENTO VISANDO RESISTÊNCIA AO *Colletotrichum lindemuthianum***

RESUMO

O feijão-comum do tipo carioca é o mais produzido e consumido no Brasil. A produção de feijão é afetada por doenças fúngicas como a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*. A maioria das fontes de resistência a antracnose utilizadas em cruzamentos pelos programas de melhoramento do feijoeiro não são do grupo comercial carioca e/ou são pouco produtivas e menos adaptadas. Por isso, a identificação de novas fontes de resistência à antracnose, mais adaptadas e portadoras de fenótipos favoráveis poderão trazer ganhos e acelerar o melhoramento visando resistência a este patógeno. Assim, o objetivo com este trabalho foi caracterizar 40 cultivares de feijão carioca já recomendadas no Brasil quanto a reação à *C. lindemuthianum*, raças 65, 73, 81 e 89. Para isso, estas cultivares e a testemunha resistente, BRS Esplendor, foram inoculadas em casa de vegetação em duas épocas distintas, constituindo assim dois experimentos. As plântulas com folhas primárias completamente expandidas foram inoculadas com uma suspensão de cada raça do patógeno e avaliadas doze dias após a inoculação. Vinte e sete das 40 cultivares avaliadas mostraram suscetibilidade aos isolados correspondentes às quatro raças de *C. lindemuthianum* inoculadas (65, 73, 81 e 89). As demais apresentaram resistência a uma, duas, três ou às quatro raças. As cultivares IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, VC 15, BRS Notável e IPR Campos Gerais foram resistentes às quatro raças, constituindo-se em bons genitores fontes de resistência ao referido patógeno. Em regiões e épocas favoráveis à ocorrência de antracnose no feijoeiro, deve ser dada atenção na escolha de cultivares com algum nível de resistência. Assim, as informações obtidas também são úteis aos produtores e aos responsáveis pela assistência técnica à produtores de feijão no país.

ABSTRACT

Carioca common beans are the most produced and consumed in Brazil. The production of common bean is affected by fungal diseases such as anthracnose, caused by the fungus *Colletotrichum lindemuthianum*. Most sources resistant to anthracnose, used in crosses by breeding programs are not derived from the market group and/or are poorly productive and less adapted. Therefore, the identification of new sources of resistance to anthracnose, more adapted and with favorable phenotypes may bring gains and accelerate the common bean breeding to resistance. Thus, the objective of this study was to characterize 40 carioca common bean cultivars already recommended in Brazil for their reaction to *C. lindemuthianum* races 65, 73, 81, and 89. The cultivars and the resistant control, BRS Esplendor, were inoculated in a greenhouse with two different experiments for each race. Seedlings with fully expanded primary leaves were inoculated with a suspension of each pathogen race and assessed after 12 days. Twenty-seven of the 40 cultivars assessed presented susceptibility to the four inoculated *C. lindemuthianum* races (65, 73, 81 and 89). The others ones presented resistance to one, two, three or four races. The cultivars IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, VC 15, BRS Notável, and IPR Campos Gerais were resistant to the four races and are parental sources of resistance to the pathogen. In regions that favor the occurrence of anthracnose in common bean, cultivars with certain level of resistance should be selected. Therefore, the information obtained are useful to the farmers and technicians that offer assistance to farmers.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (FAOSTAT, 2021), cultivado ao longo de todo o ano e em praticamente todo território nacional. A produção nacional na safra de 2018/2019 foi cerca de 2,23 milhões de toneladas em uma área de 1,49 milhões de hectares com produtividade de 1496 kg ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ e FEIJÃO, 2021). Dentre os principais tipos comerciais cultivados no Brasil, destaca-se o feijão carioca que é o mais consumido e produzido no país (BORÉM; CARNEIRO, 2015).

Apesar da média nacional de produtividade ser baixa, a cultura tem potencial para superar os 3000 kg ha⁻¹ em áreas irrigadas. A ocorrência de doenças no feijoeiro é um dos principais fatores da baixa produtividade observada no Brasil. Além de promover redução na produção, algumas das principais doenças da cultura ocasionam depreciação no aspecto dos grãos (SINGH; SCHWARTZ, 2010). A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus) Briosi & Cavara, é uma das doenças de maior destaque na cultura do feijoeiro, pois pode acarretar perdas econômicas de até 100%, quando são utilizadas sementes contaminadas e/ou cultivares suscetíveis, sob condições ambientais favoráveis (LECLAIR et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016; COSTA et al., 2017). Regiões com alta umidade relativa, e temperaturas moderadas entre 15 e 25 °C são favoráveis ao desenvolvimento do patógeno (SCHWARTZ; PASTOR-CORALES, 1989; KIMATI et al., 1997). No Brasil, os estados do Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais e Goiás possuem o maior número de raças identificadas. O Paraná possui a maior diversidade de virulência em relação a *C. lindemuthianum*, 65 raças estão presentes (PAULINO et al., 2022).

As principais estratégias de controle da antracnose incluem o uso de sementes saudáveis, a aplicação de fungicidas e o emprego de cultivares resistentes (SARTORATO; RAVA; RIOS, 1996). Outras metodologias incluem cuidados no manejo dos implementos de modo a evitar a propagação entre campos de produção e rotação de culturas com plantas não hospedeiras (PAULA JÚNIOR et al., 2015; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015; COSTA et al., 2017). Entretanto, no Brasil a maior parte da produção é proveniente de áreas de pequenos produtores que não adotam muitas dessas práticas e não realizam o controle químico devido ao alto custo de produção.

O uso de cultivares resistentes ao *C. lindemuthianum* é a estratégia mais eficaz, segura e economicamente viável no controle da antracnose (MIKLAS et al., 2006; FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013). No entanto, a variabilidade genética do fungo evidenciada pelo grande número de raças fisiológicas já identificadas (ISHIKAWA; SOUZA; DAVIDE, 2008; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015), dificulta a obtenção de cultivares com resistência durável. Além disso, estudos têm demonstrado a ocorrência de variabilidade dentro das raças (DAVIDE; SOUZA, 2009; ISHIKAWA; RAMALHO; SOUZA, 2011; ISHIKAWA et al., 2013; COSTA et al., 2017), o que dificulta ainda mais a obtenção de cultivares com resistência duradoura ao patógeno.

Cerca de 298 raças de *C. lindemuthianum* já foram descritas em todo mundo (NUNES et al., 2021). No Brasil, 89 raças já foram registradas, das quais, as raças 65, 73 e 81 são as mais frequentes (NUNES et al., 2021) e constituem o principal foco dos programas de melhoramento do feijoeiro visando resistência ao *C. lindemuthianum*. Algumas estratégias têm sido empregadas com o objetivo de aumentar a durabilidade da resistência genética a doenças, em especial quanto à antracnose, tais como piramidação de alelos de resistência por meio de retrocruzamentos (RAGAGNIN et al. 2009), utilização de multilinhas (BOTELHO et al., 2011; CARVALHO, 2018) e seleção recorrente (COSTA et al., 2020).

A maioria dos genitores utilizados em cruzamentos pelos programas de melhoramento do feijoeiro como fontes de resistência à antracnose não são do grupo comercial carioca e/ou são mal adaptadas. Exemplos são as cultivares Cornell 49-242, TO, TU, BRS Esplendor, Ouro Negro e a linhagem G2333. A busca por novas fontes de resistência à antracnose para serem indicadas aos produtores de feijão, bem como incorporadas aos programas de melhoramento do feijoeiro tem sido constante. Entretanto, no que se refere às cultivares de feijão carioca recomendadas no Brasil, estas informações ainda são escassas. Assim, o objetivo com este trabalho foi caracterizar as cultivares de feijão carioca recomendadas pelos programas de melhoramento do Brasil quanto a resistência às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*, com vistas à subsidiar os programas de melhoramento na seleção de genitores e os produtores na escolha das cultivares para plantio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram avaliadas 40 linhagens de feijão carioca (Tabela 1) quanto a severidade da antracnose. Dentre as linhagens, 39 são cultivares recomendadas no Brasil nos últimos 40 anos, e uma linhagem elite, VC 15, do Programa de Melhoramento do Feijoeiro da Universidade Federal de Viçosa. Como testemunha foi utilizada a cultivar BRS Esplendor, resistente às raças de *C. lindemuthianum* inoculadas. Todas estas linhagens são oriundas dos principais programas de melhoramento de feijão do Brasil (Universidade Federal de Viçosa - UFV, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, Instituto Agrônomo de Campinas - IAC e Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR).

Tabela 1. Linhagens de feijão carioca recomendadas pelos principais programas de melhoramento do Brasil, ano de lançamento e instituição de origem.

Linhagens	Ano	Instituição	Linhagens	Ano	Instituição
Carioca 80	1980	IAC	IPR Saracura	2004	IAPAR
Carioca MG	1982	UFLA	SCS202 GUARÁ	2004	EPAGRI
Iapar 16	1986	IAPAR	BRSMG Pioneiro	2005	UFV
IAC-Carioca	1987	IAC	IAC-Apuã	2005	IAC
Rio Doce	1987	INCAPER	IAC - Ybaté	2005	IAC
Carioca 1070	1989	IAC	IAC-Votuporanga	2005	IAC
Iapar 31	1991	IAPAR	BRS Cometa	2006	EMBRAPA
Aporé	1992	EMBRAPA	IPR Eldorado	2006	IAPAR
FT Bonito	1992	FT - SEMENTES	BRS Esplendor	2006	EMBRAPA
Iapar 57	1992	IAPAR	IAC Alvorada	2007	IAC
BR IPA 11 (Brígida)	1992	EMBRAPA	IPR 139	2007	IAPAR
IAC-Carioca Pyatã	1994	IAC	IPR Tangará	2008	IAPAR
Rudá	1994	EPAMIG	BRS Estilo	2009	EMBRAPA
Pérola	1994	EMBRAPA	BRS Notável	2011	EMBRAPA
IAC-Carioca Akytã	1996	IAC	IAC Formoso	2011	IAC
Iapar 81	1997	IAPAR	IPR Campos Gerais	2011	IAPAR
BRSMG Talismã	2002	UFLA	BRSMG Madrepérola	2012	UFV
BRS Requite	2003	EMBRAPA	IAC Imperador	2013	IAC
BRS Pontal	2004	EMBRAPA	IPR Andorinha	2013	IAPAR
BRS Majestoso	2004	UFLA	VC 15	2013	UFV
IPR Colibri	2004	IAPAR			

As linhagens foram avaliadas quanto a reação aos isolados das raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*. Foram conduzidos dois experimentos para avaliação

de cada raça do patógeno em delineamento de blocos casualizados com três repetições e nove plantas por parcela. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) no município de Lavras/MG (21°14' de latitude sul, 44°59' de longitude oeste e 910 m de altitude) durante o ano de 2020.

As sementes das linhagens foram semeadas em bandejas de poliestireno de 162 células, com substrato comercial Plantmax®. No Laboratório de Resistência de Plantas a Doenças (UFLA) as raças foram crescidas separadamente em placas de Petri com meio de cultura BDA e posteriormente repicadas em tubos de ensaio contendo vagens de feijão parcialmente imersas em meio ágar-água, previamente autoclavadas. Os tubos de ensaio foram incubados em BOD, à temperatura de 22 °C por 15 dias. A suspensão dos esporos foi preparada pela adição de 6 ml água destilada aos tubos e realizada a raspagem da superfície da vagem com uma alça de platina. A suspensão foi filtrada com auxílio de uma gaze para remoção dos fragmentos miceliais e ajustada a concentração de $1,2 \times 10^6$ conídios/ml pela contagem dos conídios em câmara de Neubauer.

As plântulas com folhas primárias completamente expandidas (V2) foram pulverizadas com uma suspensão de conídios até o ponto de escorrimento na haste e em ambas as superfícies das folhas unifolioladas. Após inoculação as plântulas foram incubadas em câmara de nebulização por 48 horas com fotoperíodo de 12 horas, temperatura de 20 °C e umidade em torno de 80%. Posteriormente, as plântulas foram transferidas para casa de vegetação e avaliadas doze dias após a inoculação conforme escala de notas de severidade de 1 a 9 descrita por Van Schoonhoven e Pastor-Corrales (1987) (Tabela 2). Cada uma das nove plantas de cada parcela foi avaliada individualmente, e a nota da parcela foi composta pela média das notas das nove plantas avaliadas.

Tabela 2. Escala descritiva de notas para avaliação da severidade da antracnose em plântulas de feijoeiro (SCHOONHOVEN; PASTOR-CORRALES, 1987).

Nota	Descrição
1	Ausência de sintomas
2	Até 1% das nervuras principais apresentando manchas necróticas, perceptivas somente na face inferior das folhas
3	Maior frequência dos sintomas foliares descrita no grau anterior, até 3% das nervuras afetadas.
4	Até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis em ambas as faces da folha.
5	Maior frequência dos sintomas foliares descrita no grau anterior, até 3% das nervuras afetadas.
6	Manchas necróticas nas nervuras, perceptíveis em ambas as faces das folhas e presença de algumas lesões em talos, ramos e pecíolos.
7	Manchas necróticas na maioria das nervuras e em grande parte do tecido mesofílico adjacente que se rompe. Presença de abundantes lesões no talo, ramos e pecíolos.
8	Manchas necróticas em quase todas as nervuras, muito abundante em talos, ramos e pecíolos, ocasionando rupturas, desfolhação e redução do crescimento das plantas.
9	Plantas mortas

Os dados de severidade da antracnose para cada uma das raças de *C. lindemuthianum* foram submetidos a análise conjunta de variância. Foi adotado o seguinte modelo: $Y_{ijk} = m + B/E_{jk} + C_i + E_k + CE_{ik} + \varepsilon_{ijk}$ em que Y_{ijk} é o valor observado da característica da cultivar i no bloco j ($j = 1, 2, 3$) e no experimento k ($k = 1, 2$); m é média geral; B/E_{jk} é o efeito aleatório do bloco j no experimento k ; $C_i =$ efeito fixo da cultivar i ($i = 1, 2, 3, \dots, 41$); E_k é o efeito fixo do experimento k ; CE_{ik} é o efeito fixo da interação da cultivar i com o experimento k ; $\varepsilon_{ijk} =$ o erro experimental associado a Y_{ijk} . O coeficiente de variação foi obtido conforme a expressão proposta por Dos Anjos et al. (2019): $CV(\%) = 100 \frac{\sqrt{QMR}}{|\bar{S}_{ui} - u|}$, em que QMR é quadrado médio do resíduo, \bar{S}_{ui} é a média das notas no experimento e u é a nota associada ao fenótipo indesejado. A acurácia de avaliação foi estimada com base na fórmula: $\hat{r}_{\hat{g}g} = (1 - \frac{1}{F})^{1/2}$ conforme Resende (2002), em que F é o valor da razão de variâncias para os efeitos de cultivares, associada à análise de variância.

Nas análises conjuntas de variância, quando houve efeito significativo de cultivares e não significativo para a interação cultivares por experimentos as médias

de severidade das cultivares para cada raça foram comparadas à testemunha BRS Esplendor por meio do teste de Dunnett (1955). Já nas análises conjuntas de variância em que houve efeito significativo da interação cultivares por experimentos, esta foi decomposta nas frações simples e complexa por meio da metodologia de Cruz e Castoldi (1991). A fração complexa da interação (C) para o par de experimento foi obtida pela expressão: $C = \sqrt{(1 - r)^3 Q_1 Q_2}$, em que r é a correlação entre o desempenho médio das cultivares nos dois experimentos; Q_1 e Q_2 são os quadrados médios entre cultivares nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Para os casos em que foi observado efeito significativo de cultivares na análise conjunta e a interação cultivares por experimentos foi predominantemente de natureza simples, as médias das cultivares de feijão carioca dos dois experimentos foram comparadas com a testemunha BRS Esplendor por meio do teste de Dunnett (1955). As análises foram realizadas com o auxílio do software GENES (CRUZ, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação cultivares por experimentos foi não significativa para severidade da antracnose quando inoculada a raça 65 de *C. lindemuthianum* (Tabela 3); para as demais raças, em que a interação foi significativa ($P < 0,01$), houve predomínio da interação de natureza simples, conforme constatou-se pelos baixos percentuais da parte complexa desta interação (Tabela 4). Segundo Cruz e Castoldi (1991), valores inferiores a 50% como observado no presente trabalho, indicam predomínio da interação de natureza simples. Estudos relatam que a interação simples é proporcionada pela diferença da variabilidade entre os genótipos nos experimentos (CRUZ, REGAZZI E CARNEIRO, 2012; MALOSETTI; RIBAUT; VAN EEUWIJK, 2013).

Tabela 3. Resumo das análises conjuntas de variância da severidade da antracnose quando inoculadas as raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*.

FV	GL	Quadrado médio			
		Raça 65	Raça 73	Raça 81	Raça 89
Blocos/Experimentos	4	2,58	0,69	1,05	1,25
Cultivares (C)	40	44,57**	45,85**	40,96**	53,42**
Experimentos (E)	1	5,43 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,21 ^{ns}	32,34**
CxE	40	1,39 ^{ns}	1,64**	5,54**	2,82**
Resíduo	160	1,21	0,61	0,80	0,61
Média		5,64	5,92	5,86	5,62
CV (%)		32,74	25,35	28,48	23,11
$\hat{r}_{\hat{g}g}$		0,99	0,99	0,99	0,99

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns = Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4. Estimativa da percentagem complexa da interação cultivares x experimentos e das correlações de Pearson entre os pares de experimentos.

	Raça 65	Raça 73	Raça 81	Raça 89
%				
Complexa	-	23.9	43.5	29.7
Correlação	0.94**	0.94**	0.78**	0.90**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t

Os elevados valores significativos de correlação (0,78 – 0,94) entre os experimentos realizados para cada raça também evidenciam a natureza simples da interação cultivares por experimentos (Tabela 4). Estes resultados confirmam

consistência no ranqueamento das cultivares avaliadas para cada raça. E, portanto, os resultados foram discutidos com base na ANOVA conjunta, envolvendo os dois experimentos de avaliação para cada raça (Tabela 3). O efeito de cultivares foi significativo ($P < 0,01$) para severidade da antracnose para as raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*, indicando que as cultivares avaliadas diferiram quanto a reação à *C. lindemuthianum*. As estimativas dos coeficientes de variação situaram-se entre 23,11% e 32,74%. Observou-se elevados valores de acurácia para severidade das raças de antracnose (0,99). Conforme Resende; Duarte (2007), estes valores de acurácia classificam os experimentos na classe de precisão muito alta (acurácia $\geq 0,90$).

A cultivar BRS Esplendor apresentou notas médias de severidade para as raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum* variando de 1,22 (raça 81) a 1,42 (raça 89) (Tabela 5) e, portanto, considerada como resistente (DAVIDE; SOUZA, 2009; COSTA et al., 2010; CASTRO et al, 2017). Segundo Costa et al. (2009), a cultivar BRS Esplendor, sob inoculação artificial, apresentou resistência às raças 23, 55, 64, 71, 73, 89, 97, 127 e 453 de *C. lindemuthianum*. Estes resultados e os obtidos no presente trabalho corroboram com o emprego desta cultivar como testemunha resistente às raças de *C. lindemuthianum* avaliadas neste trabalho. Costa (2019) e Ishikawa; Ramalho; Souza (2011) verificaram que esta cultivar também demonstrou ser resistente a diferentes isolados da raça 65 obtidos nas localidades Lambari, Ijaci, Patos de Minas (MG), Ponta Grossa (PR) e Aracaju (SE). Ishikawa et al. (2012) também constataram que a BRS Esplendor foi resistente a diferentes isolados da raça 81 em condição de inoculação artificial. Esta cultivar foi obtida pela Embrapa Arroz e Feijão por seleção massal negativa para suscetibilidade à antracnose realizada com inoculação artificial no campo de plantas das gerações F2 a F5 oriundas do cruzamento CB911863 x AN9123293 (COSTA et al., 2011). Portanto, a cultivar BRS Esplendor constitui uma importante fonte de resistência para ser empregada nos programas de melhoramento que visam desenvolver linhagens resistentes às principais raças de *C. lindemuthianum*.

Tabela 5. Médias de severidade da antracnose (raças 65, 73, 81 e 89) das linhagens de feijão carioca recomendadas pelos principais programas de melhoramento do Brasil, ano de lançamento e instituição de origem.

Linhagens	Ano	Instituição	Média de severidade da antracnose ¹			
			Raça 65	Raça 73	Raça 81	Raça 89
BRS Esplendor ²	2006	EMBRAPA	1,33 a	1,26 a	1,22 a	1,42 a
IAC-Carioca Pyatã	1994	IAC	1,54 a	2,06 a	1,45 a	1,73 a
IAC Formoso	2011	IAC	1,82 a	1,70 a	1,44 a	1,50 a
Aporé	1992	EMBRAPA	1,88 a	2,74 a	5,25	2,19 a
BRSMG Madrepérola	2012	UFV	1,95 a	3,03 a	3,40	1,72 a
IPR Campos Gerais	2011	IAPAR	1,98 a	1,80 a	3,13 a	1,34 a
IAC-Apuã	2005	IAC	2,04 a	1,71 a	1,56 a	1,60 a
IAC Votuporanga	2005	IAC	2,79 a	4,02	3,81	3,01 a
VC 15	2013	UFV	2,80 a	1,55 a	1,61 a	1,48 a
IPR Tangará	2008	IAPAR	3,12 a	8,36	6,28	4,66
IAC-Ybaté	2005	IAC	3,20 a	3,66	1,65 a	1,65 a
Iapar 31	1991	IAPAR	3,23 a	9,00	5,83	4,41
FT Bonito	1992	FT - SEMENTES	3,55 a	8,95	6,02	4,36
BRS Notável	2011	EMBRAPA	3,72 a	1,61 a	2,58 a	2,41 a
Carioca MG	1982	UFLA	3,77 a	7,68	3,28 a	1,76 a
IAC-Carioca Akytã	1996	IAC	4,13	6,47	3,87	6,27
BRSMG Pioneiro	2005	UFV	4,22	2,84 a	2,72 a	2,41 a
BRS Estilo	2009	EMBRAPA	4,56	4,27	6,30	3,28 a
Carioca 80	1980	IAC	4,95	6,17	6,73	7,04
BRS Majestoso	2004	UFLA	4,97	2,61 a	4,67	4,40
IPR 139	2007	IAPAR	5,62	6,74	6,33	6,22
IAC Imperador	2013	IAC	6,90	8,21	7,41	6,48
BRSMG Talismã	2002	UFLA	6,94	7,52	7,34	8,98
IPR Andorinha	2013	IAPAR	7,04	6,29	7,93	7,77
IPR Eldorado	2006	IAPAR	7,69	8,28	7,77	7,12
BRS Cometa	2006	EMBRAPA	7,74	4,42	7,60	7,52
Rio doce	1987	INCAPER	7,88	8,48	7,47	8,29
IAC Alvorada	2007	IAC	7,90	8,13	7,99	6,85
SCS202 GUARÁ	2004	EPAGRI	8,01	8,00	6,54	7,65
IPR Saracura	2004	IAPAR	8,17	7,69	7,65	7,19
Iapar 16	1986	IAPAR	8,20	8,24	8,62	8,67
BR IPA 11 (Brígida)	1992	EMBRAPA	8,20	8,86	8,30	8,93
Iapar 81	1997	IAPAR	8,58	8,56	8,15	8,85
Iapar 57	1992	IAPAR	8,70	8,96	7,85	9,00
BRS Pontal	2004	EMBRAPA	8,75	7,98	7,55	8,98
IPR Colibri	2004	IAPAR	8,87	4,59	8,87	8,92
Pérola	1994	EMBRAPA	8,89	8,01	9,00	9,00
Carioca 1070	1989	IAC	8,89	6,14	8,97	8,88
IAC-Carioca	1987	IAC	8,89	8,46	9,00	8,83
Rudá	1994	EPAMIG	8,93	9,00	9,00	8,81
BRS Requite	2003	EMBRAPA	9,00	8,82	8,30	8,98

¹: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente a 5% de probabilidade da testemunha pelo teste de Dunnett (1955). ²: testemunha resistente.

Entre as cultivares de feijão carioca avaliadas, 35%, 25%, 22,5% e 32,5% delas, não diferiram da testemunha resistente BRS Esplendor, para reação às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*, respectivamente (Tabela 5). Além disso, foi observado que 12,5%, 2,5%, 12,5% e 15% foram resistentes a uma, duas, três e a quatro raças de *C. lindemuthianum*, respectivamente (Figura 1).

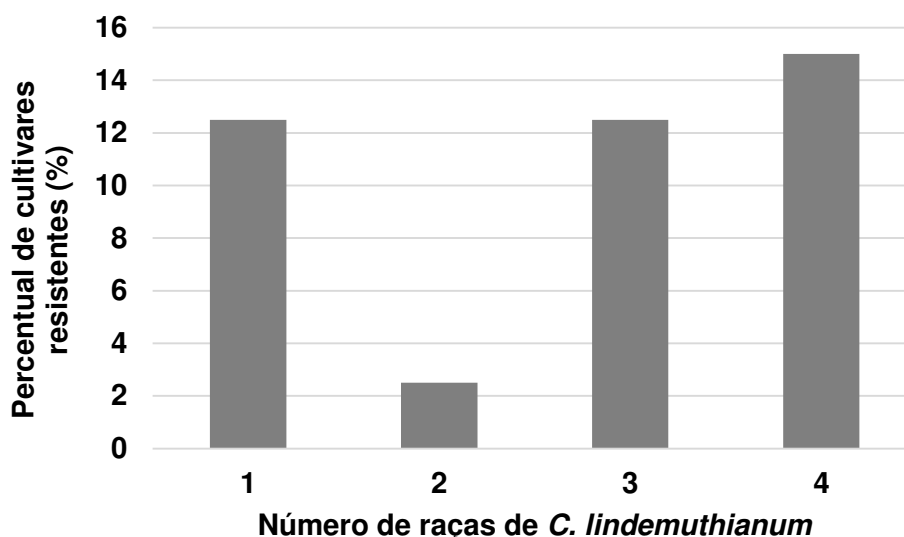


Figura 1: Percentual de cultivares resistentes a uma, duas, três e quatro raças de *C. lindemuthianum*, respectivamente.

As cultivares IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, VC 15, BRS Notável, e IPR Campos Gerais foram consideradas resistentes às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum* por não diferirem estatisticamente da testemunha resistente BRS Esplendor. Assim como a BRS Esplendor, estas cultivares constituem boas fontes de resistência a estas raças. As cultivares Aporé, BRS Madrepérola, IAC-Ybaté, Carioca MG e BRS Pioneiro apresentaram resistência a três das quatro raças de *C. lindemuthianum*. As cultivares IPR Tangará, IAPAR 31, FT Bonito, BRS Estilo e BRS Majestoso foram resistentes a apenas uma raça de *C. lindemuthianum*, enquanto que a cultivar IAC Votuporanga foi resistente a duas raças.

Neste estudo foram avaliadas um conjunto de cultivares recomendadas no Brasil por diferentes instituições no período de 1980 a 2013. Com base em informações dessas cultivares é possível avaliar o progresso genético dos programas de melhoramento de feijão no Brasil, com relação aos caracteres de interesse, uma vez que a recomendação de cultivares é a fase final de um programa de melhoramento. Barili et al. (2016), avaliaram estas mesmas cultivares e verificaram progresso genético ao longo das décadas de recomendação para a produtividade e

aspecto comercial dos grãos, indicativo que houve um grande esforço dos programas no melhoramento desses caracteres. No presente trabalho, observou-se que muitas cultivares recomendadas recentemente ainda são suscetíveis a antracnose, uma vez que não foram desenvolvidas por programas com dedicação exclusiva a obtenção de linhagens resistentes a antracnose. As cultivares com maiores níveis de resistência tiveram suas recomendações ao longo de todo o período avaliado (desde 1982 a 2012) e por diferentes instituições (IAC, IAPAR, Embrapa, UFLA e UFV). Assim, não houve progresso genético para resistência a antracnose como observado para outros caracteres de interesse no melhoramento do feijoeiro.

Algumas das cultivares consideradas resistentes a *C. lindemuthianum* têm em suas genealogias fontes de resistência a antracnose, mostrando que a resistência detectada no presente estudo não é por acaso e sim esforços dos programas de melhoramento neste sentido. Muitas delas têm como genitor a linhagem Cornell 49-242, fonte do gene *Co-2* (MASTENBROEK, 1960). Este genitor foi extensivamente utilizado pelos programas de melhoramento e faz parte das genealogias de um grande número de cultivares de feijão recomendadas no Brasil e no exterior (ALZATE-MARIN et al., 2003a).

O programa de melhoramento do feijoeiro do IAC tem se mostrado eficaz na recomendação de cultivares de feijão carioca resistentes a *C. lindemuthianum*. As cultivares IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã e IAC-Apuã, por exemplo, apresentaram resistência às quatro raças avaliadas com notas de severidade inferiores a 2,06. A cultivar IAC Formoso, recomendada em 2011 (CARBONELL et al., 2010), foi obtida de uma população que envolveu como genitores as cultivares IAC-Carioca Aruã e IAC-Carioca Akytã, relatadas como resistente a antracnose (POMPEU, 1997). A cultivar IAC-Carioca Pyatã, recomendada em 1994, também foi descrita por Celin et al. (2012) como resistente às raças 65, 73, 81 e 89, quando submetida às mesmas condições de inoculação e avaliação. Esta cultivar é proveniente de seleções realizadas em gerações avançadas do cruzamento DOR41 / (10-3-1.TU1B1-2.10-9-1) por meio de inoculações artificiais deste patógeno (POMPEU, 1997). Vale salientar que a linhagem TU é também uma importante fonte de resistência à antracnose (MARCONDES; SANTOS; PEREIRA, 2010).

Destaca-se também o programa de melhoramento do feijoeiro do Bioagro/UFV, responsável pelo desenvolvimento de linhagens de feijão carioca, preto e vermelho com resistência a antracnose, mancha angular e ferrugem. Este programa tem

utilizado a piramidação de alelos de resistência a estas doenças por meio do uso de retrocruzamentos subsidiados por avaliações baseadas em inoculações artificiais e de seleção assistida por marcadores moleculares (COSTA, 2004; ARRUDA, 2009). A cultivar BRSMG Pioneiro desenvolvida por este programa de melhoramento apresentou resistência às raças 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*, corroborando os resultados publicados por Moreira et al. (2006). Esta cultivar foi obtida por retrocruzamentos assistidos por marcadores moleculares envolvendo os genitores Rudá e Ouro Negro, que possui o gene *Co-10* (renomeado *Co-3⁴* por Gonçalves-Vidigal et al., 2013) responsável por conferir resistência a várias raças. Alzate-Marin et al. (2003b) ao inocularem a cultivar Ouro Negro com 19 raças de *C. lindemuthianum* demonstraram que o gene *Co-10* presente nesta cultivar conferiu resistência a dezessete raças, entre elas às raças 73, 81 e 89.

A cultivar Ouro Negro é um dos genitores da BRSMG Majestoso, recomendada pelo convênio UFLA/UFV/Embrapa/Epamig em 2004 (ABREU et al., 2007). Apesar desta cultivar ter apresentado no presente estudo, resistência somente a raça 73, Ishkawa et al. (2011) e Ishkawa et al. (2012) relataram sua resistência a diferentes isolados das raças 65 e 81 e a indicaram como uma das linhagens para discriminar isolados dentro destas raças. Além da resistência a antracnose, a BRSMG Majestoso apresenta elevado potencial produtivo e boa qualidade de grãos, o que torna esta cultivar de grande interesse aos programas de melhoramento do feijoeiro para compor blocos de cruzamentos.

A cultivar BRSMG Madrepérola recomendada pelo programa de melhoramento do feijoeiro da UFV em 2012, foi resistente às raças 65, 73 e 89. Segundo Carneiro et al., (2012) esta cultivar possui resistência às raças 55, 65, 73, 81, 87, 89, 95 e 453 de *C. lindemuthianum*. Ishkawa et al. (2011) e Costa et al., (2017), também em condição de inoculação artificial, verificaram que a BRSMG Madrepérola foi resistente a quatro e oito isolados da raça 65, respectivamente. Ishikawa et al. (2012) também constataram que esta cultivar foi resistente a oito isolados da raça 81. A BRSMG Madrepérola, devido a estas particularidades, foi selecionada para compor um conjunto adicional de cultivares diferenciadoras para discriminar a variabilidade dentro de isolados das raças 65 e 81 (ISHKAWA et al., 2011).

Apesar da cultivar BRSMG Madrepérola ter se mostrado resistente a diferentes raças, esta não é oriunda de um programa de melhoramento dedicado exclusivamente a obtenção de linhagens resistentes a doenças. Entretanto, esta linhagem foi obtida

de um cruzamento que envolve como genitor a linhagem AN 512666-0, considerada resistente a antracnose. Uma particularidade da cultivar BRSMG Madrepérola é a cor clara do grão que é preservada ao longo do tempo de armazenamento (CARNEIRO et al., 2012), o que determina a sua elevada qualidade dos grãos (BARILI et al., 2016). Este fenótipo é de grande importância tanto para os programas de melhoramento no que se refere a obtenção de cultivares de feijão carioca com grãos claros, quanto para produtores que desejam armazenar seu produto na espera de melhores preços de mercado. Portanto, a cultivar BRSMG Madrepérola constitui uma excelente fonte de resistência à antracnose para os diversos programas de melhoramento do Brasil.

De modo geral, dentre as cultivares mais resistentes a antracnose conforme resultados obtidos neste estudo, destacam-se as cultivares IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, BRS Notável, IPR Campos Gerais e VC 15, recomendadas entre 1994 e 2013. Destas, cinco cultivares apresentaram produtividade média superior a 3500 kg.ha⁻¹ com base em quatro experimentos conduzidos no estado de Minas Gerais, nas safras da seca e inverno de 2013 (BARILI et al., 2016). Segundo os autores, IAC Formoso e VC 15 apresentaram elevada qualidade comercial dos grãos. Apesar da linhagem VC 15 ainda não ter sido indicada como uma nova cultivar, esta possui potencial para ser recomendada aos produtores, pois além de demonstrar elevada resistência a antracnose, apresenta elevada produtividade e possui grãos com excelente aspecto comercial (BARILI et al., 2016).

Até o presente momento, a maioria dos genitores utilizados em cruzamentos pelos programas de melhoramento do feijoeiro como fontes de resistência à antracnose não são do grupo comercial carioca e/ou são mal adaptadas. Exemplos são as cultivares Cornell 49-242, TO, TU, BRS Esplendor, Ouro Negro e a linhagem G2333. Assim, a obtenção de linhagens de feijão carioca resistentes a antracnose, altamente produtivas e que apresentem grão comercial padrão se torna difícil quando utilizados esse tipo de genitor. Portanto, a identificação de cultivares comerciais com amplo espectro de resistência à *C. lindemuthianum*, já portadoras de vários fenótipos de interesse, para uso como fontes de resistência, é um passo muito importante para o sucesso do melhoramento para resistência a este patógeno.

4. CONCLUSÕES

Treze das 40 cultivares avaliadas apresentaram resistência a uma, duas, três ou às quatro raças de *C. lindemuthianum* (65, 73, 81 e 89). As cultivares IAC Formoso, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Apuã, VC 15, BRS Notável e IPR Campos Gerais foram resistentes às quatro raças, constituindo-se em bons genitores fontes de resistência ao referido patógeno. Vinte e sete cultivares mostraram suscetibilidade aos isolados correspondentes às quatro raças de *C. lindemuthianum* inoculadas.

Em regiões e épocas favoráveis à ocorrência de antracnose no feijoeiro, atenção deve ser dada na escolha de cultivares com algum nível de resistência, reforçando assim a importância deste trabalho também para os produtores e responsáveis pela assistência técnica aos produtores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. D. F. B. et al. BRSMG Majestoso: Another common bean cultivar of carioca grain type for the state of Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, n. 4, p. 403–405, 2007.
- ALZATE-MARIN, A. L. et al. Herança da Resistência à Antracnose na Cultivar de Feijoeiro Comum Cornell 49-242. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 302–306, 2003a.
- ALZATE-MARIN, A. L. et al. Characterization of the Anthracnose resistance gene present in Ouro Negro (Honduras 35) common bean cultivar. **Euphytica**, v. 133, n. 2, p. 165–169, 2003b.
- ARRUDA, K. M. A. **Piramidação de genes de resistência à antracnose, ferrugem e mancha angular e estudos de alelismo em feijão comum**. 2009. 129 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2009.
- BARILI, L. D. et al. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1–11, 2016.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S.; A cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2015. p. 9–15.
- BOTELHO, F. B. S. et al. Multiline as a strategy to reduce damage caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 3, p. 175–180, 2011.
- CARBONELL, S. A. M. et al. IAC Formoso: new carioca common bean cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 374–376, 2010.
- CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 281–284, 2012.
- CARVALHO, S. G. M. **Misturas de feijão carioca como estratégia na obtenção de resistência durável a diferentes raças de *Colletotrichum lindemuthianum***. 2018. 54 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- CASTRO, S. A. L. et al. Genetics and mapping of a new anthracnose resistance locus in Andean common bean Paloma. **BMC Genomics**, v. 18, p. 1–12, 2017.
- CELIN, E. F. et al. Sources of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in carioca common bean class. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 137–138, 2012.

COSTA, L. C. et al. Are duplicated genes responsible for anthracnose resistance in common bean? **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, p. 1–15, 2017.

COSTA, L. C. et al. Effectiveness of recurrent selection for anthracnose resistance in common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 63, p. 73–74, 2020.

COSTA L. C. (2019). **Mapeamento de genes de resistência a diferentes isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* e seleção recorrente visando à resistência a antracnose do feijoeiro**. 2019. 109 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

COSTA, J. G. C. et al. BRS Esplendor-Common bean cultivar with black grain, upright growth and disease resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. 3, p. 276–279, 2011.

COSTA, M. R. et al. Development and characterization of common black bean lines resistant to anthracnose, rust and angular leaf spot in Brazil. **Euphytica**, v. 176, p. 149–156, 2010.

COSTA, J. G. C. et al. BRS Esplendor: cultivar de feijoeiro comum de grão tipo comercial preto, com arquitetura de planta ereta, alto potencial produtivo e tolerância a doenças. Santo Antônio de Góias: Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, p. 185, 2009.

COSTA, R. M. **Introgressão de genes de resistência à antracnose, ferrugem e mancha-angular no cultivar de feijão Diamante Negro**. 2004. 78 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. p. 124.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, p. 422-430, 1991.

DAVIDE, L. M. C.; SOUZA, E. A. Pathogenic variability within race 65 of *Colletotrichum lindemuthianum* and its implications for common bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 23–29, 2009.

DOS ANJOS, R. S. R. et al. New Proposals to Estimate Unbiased Selection Gain and Coefficient of Variation in Traits Evaluated Using Score Scales. **Crop Science**, v. 59, n. 3, p. 937–944, 2019.

DUNNETT, C. W. A Multiple Comparison Procedure for Comparing Several Treatments with a Control. **Journal of the American Statistical Association**, v. 50, n. 272, p. 1096–1121, 1955.

EMBRAPA. **Socioeconomia**. Disponível em: <<https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

FERREIRA, J. J.; CAMPA, A.; KELLY, J. D. Organization of genes conferring resistance to anthracnose in common bean. In: VARSHNEY, R. K.; TUBEROSA, R. **Translational genomics for crop breeding**. New York: John Wiley & Sons. p. 151–176, 2013.

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, p. 2245–2255, 2013.

ISHIKAWA, F. H. et al. Investigating variability within race 81 of *Colletotrichum lindemuthianum* strains from Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 141–142, 2012.

ISHIKAWA, F. H. et al. *Colletotrichum lindemuthianum* exhibits different patterns of nuclear division at different stages in its vegetative life cycle. **Mycologia**, v. 105, n. 4, p. 795–801, 2013.

ISHIKAWA, F. H.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Common bean lines as potential differential cultivars for race 65 of *Colletotrichum lindemuthianum*. **Journal of Plant Pathology**, v. 93, n. 2, p. 461–464, 2011.

ISHIKAWA, F. H.; SOUZA, E. A.; DAVIDE, L. M. C. Genetic variability within isolates of *Colletotrichum lindemuthianum* belonging to race 65 from the state of Minas Gerais, Brazil. **Biologia**, v. 63, n. 2, p. 156–161, 2008.

KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, p. 690, 1997.

LECLAIR, E. et al. Transmission of anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with artificial and natural inoculum in a wet and dry canopy. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 5, p. 913–921, 2015.

MALOSETTI, M.; RIBAUT, J. M.; VAN EEUWIJK, F. A. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in Physiology**, v. 4, n. 44, p. 1–17, 2013.

MARCONDES, E. H. K.; SANTOS, J. B. DOS; PEREIRA, H. S. Seleção de linhagens de feijoeiro com tipo de grão carioca e com os alelos *Co-4* e *Co-5* de resistência à antracnose. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 975–982, 2010.

MASTENBROEK, C. A breeding programme for resistance to anthracnose in dry shell haricot beans, based on a new gene. **Euphytica**, v. 9, n. 2, p. 177–185, 1960.

MIKLAS, P. N. et al. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica**, v. 147, p. 105–131, 2006.

MOREIRA, M. A. et al. BRSMG Pioneiro: New carioca common bean cultivar resistant to anthracnose and rust, for the southern of Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, n. 49, p. 279–280, 2006.

NUNES, M. P. B. A. et al. Relationship of *Colletotrichum lindemuthianum* races and resistance loci in the *Phaseolus vulgaris* L. genome. **Crop Science**, v. 61, n.1, p. 3877–3893, 2021.

PÁDUA, J. M. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Implications of early selection for resistance to anthracnose in genetic breeding of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 169–174, 2015.

PAULA JÚNIOR, T. J. et al. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 270-299, 2015.

PAULINO, P. P. S. et al. Occurrence of anthracnose pathogen races and resistance genes in common bean across 30 years in Brazil. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 8, p. 1–21, 2022.

POMPEU, A. S. IAC-Maravilha, IAC-Una, IAC-Carioca Pyatã, IAC-Carioca Aruã, IAC-Carioca Akytã e IAC-Bico de Ouro: Novos cultivares de feijoeiro. **Bragantia**, v. 56, n. 1, 79-85, 1997.

RAGAGNIN, V. A. et al. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**, v. 128, p. 156–163, 2009.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.

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

RIBEIRO, T. et al. Classification of *Colletotrichum lindemuthianum* races in differential cultivars of common bean. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 179–184, 2016.

SARTORATO, A.; RAVA, C. A.; RIOS, G. P. Doenças fúngicas e bacterianas da parte aérea. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós. p. 669-700, 1996.

SCHWARTZ, H. F.; PASTOR-CORRALES, M. A. **Bean production problems in the tropics**. Cali: CIAT, p. 726, 1989.

SINGH, S. P.; SCHWARTZ, H. F. Breeding Common Bean for Resistance to Diseases: A Review. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2199–2223, 2010.

VAN SCHNOONHOVEN, A.; PASTOR-CORRALES, M. A. **Standard system for the evaluation of bean germplasm**. Cali: CIAT, 1987.

CAPÍTULO 2

TAMANHO DE PARCELA PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DA ANTRACNOSE EM FEIJÃO-COMUM SOB INOCULAÇÃO ARTIFICIAL

RESUMO

A antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* tem promovido elevadas perdas na produção da cultura do feijoeiro. O emprego de cultivares resistentes é a estratégia mais eficaz e economicamente viável no controle da antracnose. A escolha de genitores e a seleção de linhagens resistentes são etapas cruciais para sucesso dos programas de melhoramento que visam obter cultivares com resistência às principais raças de *C. lindemuthianum*. A seleção visando resistência a este patógeno tem sido realizada com base na avaliação da severidade da doença, normalmente realizada por meio da inoculação artificial em plantas no estágio V2. A disponibilidade de recursos é um dos fatores limitantes para realizar esta avaliação em um grande número de linhagens. Uma alternativa para reduzir os custos com experimentos desta natureza sem perda da precisão e acurácia é o adequado dimensionamento do tamanho das parcelas. Assim, o objetivo com este trabalho foi estimar o número mínimo de plantas por parcela para avaliar a severidade da antracnose por meio da inoculação artificial de plantas em estágio V2. Um total de 78 cultivares de feijão carioca foram inoculadas em casa de vegetação em 13 experimentos para avaliação da reação às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*. A partir dos dados de severidade da antracnose de 9 plantas avaliadas por parcela foram simulados tamanhos de parcela contendo de 1 a 9 plantas. Foram realizadas 1000 simulações para cada tamanho de parcela, nas quais as plantas foram tomadas aleatoriamente em cada parcela. Em cada simulação foram obtidas as estimativas dos seguintes parâmetros: acurácia, coeficiente de variação e correlação de Pearson da média das cultivares em cada simulação de cada tamanho de parcela com a média das cultivares utilizando nove plantas por parcela. Os valores médios de cada parâmetro nas 1000 simulações para cada tamanho de parcela foram submetidos a uma regressão quadrática com platô em função do tamanho de parcela para cada experimento. Seis plantas por parcela é o número mínimo necessário para avaliar a severidade da antracnose por meio da inoculação artificial de plantas de feijoeiro em estágio V2.

ABSTRACT

The anthracnose caused by the fungus *Colletotrichum lindemuthianum* has promoted high losses in the common bean crop production. The use of resistant cultivars is the most effective and economically viable strategy to control anthracnose. The choice of parents and the selection of resistant lines are crucial steps for the success of breeding programs that aim to obtain cultivars with resistance to the main races of *C. lindemuthianum*. The selection for resistance to this pathogen has been carried out based on the assessed of the severity of the disease, normally carried out by the way artificial inoculation in plants at stage V2. The availability of resources is one of the limiting factors to carry out this assessment in a large number of lines. An alternative to reduce the costs of experiments without loss of precision and accuracy is to determine the suitable size of the plots. Thus, the objective of this study was to estimate the minimum number of plants per plot to assess the severity of anthracnose by the way artificial inoculation of plants at stage V2. A total of 78 carioca common bean cultivars were inoculated in a greenhouse in 13 experiments to assess the reaction to races 65, 73, 81 and 89 of *C. lindemuthianum*. From the anthracnose severity data of 9 plants assessed per plot, plot sizes containing from 1 to 9 plants were simulated. A total of 1000 simulations were performed for each plot size, in which plants were randomly taken from each plot. In each simulation, estimates of the following parameters were obtained: accuracy, coefficient of variation and Pearson's correlation of the mean of the cultivars in each simulation of each plot size with the mean of the cultivars using nine plants per plot. The mean values of each parameter in the 1000 simulations for each plot size were submitted to a quadratic regression with plateau as a function of plot size for each experiment. Six plants per plot is the minimum number needed to assess the severity of anthracnose by artificially inoculating the pathogen on common bean plants at stage V2.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), amplamente cultivado no Brasil constitui-se em uma importante fonte de proteína especialmente para população de baixa renda. O País é o maior produtor e consumidor desta leguminosa, cultivado ao longo de todo ano e em todo território nacional. A produção nacional na safra de 2019/2020 foi cerca de 2,36 milhões de toneladas em uma área de 1,58 milhões de hectares com produtividade de 1498 kg.ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ e FEIJÃO, 2021). Entretanto, a produtividade de grãos desta cultura pode superar os 3000 kg.ha⁻¹ em lavouras altamente tecnificadas e com emprego de irrigação.

Um dos fatores que contribuem para a baixa média de produtividade de grãos de feijão no Brasil é a ocorrência de doenças. A antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Saac. & Magnus) Briosi & Cavara, é uma das doenças de maior destaque na cultura do feijoeiro. Esta pode causar perdas de até 100% na produção quando em condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno e uso de cultivares suscetíveis (LECLAIR et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016; COSTA et al., 2017). As principais estratégias no controle da antracnose incluem o uso de sementes saudáveis, a aplicação de fungicidas e o emprego de cultivares resistentes. Dentre estas, a utilização de cultivares resistentes tem sido a forma mais eficaz, segura e economicamente viável no controle da doença (MIKLAS et al., 2006; FERREIRA; CAMPA; KELLY, 2013). Portanto, os programas de melhoramento têm investido tempo e recurso no desenvolvimento de linhagens resistentes a esta doença. O programa de melhoramento do feijoeiro do Bioagro/UFV desenvolveu a cultivar Rudá-R por meio da introgressão de genes de resistência a antracnose (*Co-6* e *Co-4*), mancha-angular (*Phg-1*) e ferrugem (*Ur-ON*) na cultivar de feijão carioca Rudá (RAGAGNIN et al., 2009). A cultivar BRSMG Pioneiro também foi desenvolvida por este programa, no qual foi realizada a piramidação de alelos de resistência a antracnose e ferrugem por meio de retrocruzamentos subsidiados por avaliações baseadas em inoculações artificiais e de seleção assistida por marcadores moleculares (MOREIRA et al., 2006). Em estudo realizado por Costa et al. (2020), a seleção recorrente com inoculação artificial de diferentes isolados de *C. lindemuthianum* foi eficiente para obtenção de progênies resistentes a antracnose.

A escolha de genitores e a seleção acurada de linhagens resistentes são etapas cruciais para o sucesso dos programas de melhoramento que visam obter

cultivares com resistência às principais raças de *C. lindemuthianum*. Ambas as etapas podem ser realizadas com base na avaliação de genótipos quanto a severidade da antracnose. A avaliação em experimentos de campo não tem sido suficientemente acurada e precisa, uma vez que a doença ocorre em reboleiras no campo, devido a disseminação do patógeno a curtas distâncias. Portanto, para tornar esta avaliação mais eficiente, ela tem sido realizada por meio de inoculação artificial no estágio V2 (ALZATE-MARIN et al., 2006; CALIL et al., 2008; CELIN et al., 2012; BARCELOS et al., 2013; CELIN et al., 2013) ou V3 (VIDIGAL FILHO et al., 2007; GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2012; VIDIGAL FILHO et al., 2020; MARTINIANO-SOUZA et al., 2021) em casa de vegetação. No estágio V2 é realizada a inoculação artificial em plântulas com folhas primárias completamente expandidas dispostas em bandejas plásticas, o que possibilita avaliar maior número de genótipos com economia de tempo e recursos.

Na etapa final dos programas de melhoramento ou quando se tem interesse em caracterizar os bancos de germoplasma se dispõe de um grande número de genótipos a serem avaliados. No entanto, a disponibilidade de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros e humanos são fatores limitantes. Estes limitantes também ocorrem na avaliação da severidade da antracnose em estágio V2 em casa de vegetação e, portanto, esta tem sido realizada em experimentos sem repetição (ALZATE-MARIN et al., 2006; CALIL et al., 2008; CELIN et al., 2013), ou com menor número de repetições (BARCELOS et al., 2013). Celin et al. (2012) avaliaram a resistência de 117 genótipos de feijão carioca a seis raças de *C. lindemuthianum* por meio da inoculação de oito plantas de cada genótipo sem uso de delineamento estatístico. Em estudo realizado por Barcelos et al. (2013), 500 acessos de feijão do banco de germoplasma da UFLA foram avaliados quanto a resistência às raças 65 e 81 de *C. lindemuthianum* por meio da inoculação de nove sementes de cada cultivar com duas repetições, em um total de dezoito sementes por cultivar.

Uma alternativa para reduzir os custos com experimentos de avaliação de severidade da antracnose e permitir a avaliação de um maior número de linhagens utilizando experimentos com repetição, é a redução do tamanho da parcela. Entretanto, um tamanho de parcela pequeno pode reduzir a precisão experimental (FERNANDES; SILVA, 1996) e conseqüentemente afetar a acurácia de seleção. Portanto, deve-se realizar o dimensionamento adequado da parcela de modo que permita manter a acurácia e a precisão experimental (BUSSAB; MORETTIN, 2004; SPIEGEL et al., 2004). Diante da falta de informações sobre o número adequado de

plantas por parcela necessário para se obter uma avaliação precisa e conseqüentemente uma seleção acurada, o objetivo com este trabalho foi estimar o número mínimo de plantas por parcela para avaliar a severidade da antracnose por meio da inoculação artificial de plantas em estágio V2.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram avaliadas 78 cultivares de feijão do grupo comercial carioca (Tabela 1) quanto a severidade da antracnose. Dentre estas, 41 cultivares foram avaliadas em cinco experimentos quanto a reação às raças 65, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*, e 37 cultivares avaliadas em oito experimentos quanto a reação às raças 65, 73, 81 e 89. Estas cultivares são oriundas dos principais programas de melhoramento de feijão do Brasil (Universidade Federal de Viçosa - UFV, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, Instituto Agrônomo de Campinas - IAC e Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR).

Tabela 1. Experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a reação aos isolados das raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*.

Experimentos	Raças	Cultivares
1	65	41
2	65	41
3	65	37
4	65	37
5	73	37
6	73	37
7	81	41
8	81	37
9	81	37
10	89	41
11	89	41
12	89	37
13	89	37

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com três repetições e nove plantas por parcela. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) no município de Lavras/MG (21°14' de latitude sul, 44°59' de longitude oeste e 910 m de altitude) durante os anos de 2020 e 2021.

As sementes das cultivares foram semeadas em bandejas de poliestireno de 162 células, com substrato comercial Plantmax®. No Laboratório de Resistência de Plantas a Doenças (UFLA), as raças de *C. lindemuthianum* foram crescidas separadamente em placas de Petri com meio de cultura BDA e posteriormente repicadas em tubos de ensaio contendo vagens parcialmente imersas em meio ágar-

água, previamente autoclavadas. Os tubos de ensaio foram incubados em BOD, à temperatura de 22 °C por 15 dias. A suspensão dos esporos foi preparada pela adição de 6 mL de água destilada aos tubos e realizada a raspagem da superfície da vagem com uma alça de platina. A suspensão foi filtrada com auxílio de uma gaze para remoção dos fragmentos miceliais e ajustada a concentração de $1,2 \times 10^6$ conídios/mL pela contagem dos conídios em câmara de Neubauer.

As plântulas com folhas primárias completamente expandidas (V2) foram pulverizadas com uma suspensão de conídios até o ponto de escorrimento na haste e em ambas as superfícies das folhas unifolioladas. Após inoculação as plântulas foram incubadas em câmara de nebulização por 48 horas com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 20 °C. Posteriormente, as plântulas foram transferidas para casa de vegetação e avaliadas doze dias após a inoculação conforme escala de notas de severidade de 1 a 9 descrita por Van Schoonhoven e Pastor-Corrales (1987). Cada uma das nove plantas de cada parcela foi avaliada individualmente.

A partir dos dados de severidade da antracnose de plantas individuais foram simulados tamanhos de parcela contendo de 1 a 9 plantas. Para cada um destes tamanhos foram realizadas 1000 simulações, nas quais as plantas foram tomadas aleatoriamente em cada parcela de cada simulação. A nota de severidade em cada parcela foi composta pela média das notas das plantas amostradas em cada simulação. As análises individuais de variância foram realizadas para cada simulação de cada tamanho de parcela conforme o seguinte modelo: $Y_{ij} = m + B_j + C_i + \varepsilon_{ij}$ em que Y_{ij} é o valor observado da característica da cultivar i no bloco j ($j = 1, 2, 3$); m é média geral; B_j é o efeito aleatório do bloco j ; C_i é o efeito fixo da cultivar i ; ε_{ij} é o erro experimental associado a observação Y_{ij} . Todos estes procedimentos foram realizados para cada um dos 13 experimentos conduzidos para avaliação da severidade da antracnose quando inoculadas as raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*.

Em cada simulação foram obtidas as estimativas dos seguintes parâmetros: acurácia, coeficiente de variação e correlação de Pearson da média das cultivares em cada simulação de cada tamanho de parcela com a média das cultivares utilizando nove plantas na parcela. Estes parâmetros foram utilizados como critério para determinar número mínimo de plantas por parcela. A acurácia foi estimada com base na fórmula: $\hat{r}_{gg} = (1 - \frac{1}{F})^{1/2}$ conforme Resende (2009), em que F é o valor da razão

entre os quadrados médios de genótipo e do resíduo da análise individual de variância em cada simulação. O coeficiente de variação foi obtido conforme a expressão: $CV(\%) = 100 \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{y}}$, em que QMR é quadrado médio do resíduo, \bar{y} é a média geral das notas de severidade no experimento.

Os valores mínimos, máximos e médios de cada parâmetro nas 1000 simulações para cada tamanho de parcela foram obtidos para cada experimento. Os dados médios dos parâmetros foram submetidos a uma regressão quadrática com platô em função do tamanho de parcela. Assim foi possível identificar o tamanho mínimo de parcela que mantenha a mesma acurácia, precisão experimental e ranqueamento que a avaliação realizada com 9 plantas por parcela para severidade da antracnose. Portanto, foi obtido um modelo de regressão para cada parâmetro em cada um dos 13 experimentos. O seguinte modelo de regressão quadrático com platô foi adotado:

$$y_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \varepsilon_i, & x_i \leq x_0 \\ P + \varepsilon_i, & x_i > x_0 \end{cases}$$

em que y_i é o valor do parâmetro entre parcelas de tamanho x_i ; β_0 , β_1 e β_2 são os coeficientes de regressão relativos ao segmento quadrático; x_i é o número de plantas na parcela ($i=1, 2, 3, \dots, 9$); x_0 é o número de plantas para o qual o modelo quadrático se ajusta em platô; P é o valor do eixo y (parâmetro) que corresponde ao platô; $\varepsilon_i \sim N(0, I\sigma^2)$ é o erro aleatório associado a y_i . O grau de ajuste dos modelos foi mensurado pelo coeficiente de determinação (r^2).

O tamanho mínimo da parcela em cada experimento foi definido pelo ponto no eixo x (número de plantas por parcela) referente a junção do segmento quadrático e o platô da regressão. Também foi estimado o valor no eixo y associado ao platô para cada parâmetro em cada experimento. As análises foram realizadas com o auxílio do pacote easynls (ARNHOLD, 2017) e do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito de cultivares foi significativo em todos os 13 experimentos conduzidos para avaliação quanto a reação às raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum* quando foram utilizados dados de todas as nove plantas das parcelas. Nesta condição, as acurácias destes experimentos foram iguais ou superiores a 0,96 (Tabela 2). Tais valores revelam a elevada correlação entre o valor genotípico verdadeiro da cultivar e aquele estimado a partir das informações dos experimentos. Além disso, observou-se que 85% destes experimentos apresentaram valores de coeficiente de variação inferiores a 25%, quando foram avaliadas todas as plantas na parcela (Tabela 3).

O efeito significativo de cultivares foi observado em todas as 1000 simulações para cada tamanho de parcela, ou seja, mesmo com redução do número de plantas avaliadas por parcela houve variabilidade genética existente entre as cultivares. A média da acurácia das 1000 simulações aumentou com o incremento do número de plantas avaliadas por parcela (Tabela 2). Entretanto, os menores tamanhos de parcela apresentaram maior variação para acurácia nas 1000 simulações. A maior variação de acurácia dentre todas as simulações ao considerar uma planta por parcela foi observada no experimento 8 onde oscilou entre 0,68 e 0,95. Tamanhos de parcela superiores a 3 plantas apresentaram em todas as 1000 simulações valores de acurácia superiores a 0,91 em todos os experimentos. Resende; Duarte (2007) afirmam que valores de acurácia superiores a 0,90 classificam os experimentos na classe de precisão muito alta. Estes resultados são um indicativo da possibilidade de redução do número de plantas a ser avaliada sem perda da variabilidade genética.

A precisão experimental foi afetada pelo número de plantas avaliadas por parcela. O aumento do número de plantas proporcionou a redução no coeficiente de variação médio das 1000 simulações por tamanho de parcela e, portanto, um incremento na precisão experimental. A maior variação dentre as 1000 simulações para o coeficiente de variação foi observada quando foi utilizada uma planta por parcela (Tabela 3). Nesta condição, o experimento 8 foi o que apresentou maior variação dentre todas as simulações para este parâmetro, que oscilou entre 34,60 e 64,37% e apresentou um valor médio de 48,55%. Já com 8 plantas por parcela, a média das simulações para este parâmetro foi de 27,18% e a variação foi de 25,90 a 28,79%. Valores estes próximos ao observado para o coeficiente de variação de 26,93

quando foram avaliadas nove plantas por parcela. Os demais experimentos apresentaram padrão similar para o coeficiente de variação.

O tamanho das parcelas afetou levemente o ranqueamento das cultivares para severidade da antracnose quando inoculadas as raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum*. A correlação da média das cultivares avaliadas considerando os diferentes tamanhos de parcela com a média na condição de avaliação de todas as plantas aumentou com o incremento do número de plantas avaliadas por parcela (Tabela 4). A maior variação dentre as 1000 simulações realizadas por tamanho de parcela foi observada no experimento 8 e quando se utilizou uma planta por parcela, que foi de 0,7968 a 0,9870. Ao considerar todos os experimentos, somente para este tamanho de parcela foram observadas simulações com correlação inferior a 0,90. A correlação média das 1000 simulações, independentemente do tamanho da parcela, foi superior a 0,90, o que indica que o ranqueamento das cultivares não foi fortemente alterado nos diferentes tamanhos de parcela.

Tabela 2. Acurácias mínima (MIN), máxima (MAX) e média (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos														
	1			2			3			4			5		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,849	0,976	0,929	0,811	0,952	0,889	0,874	0,982	0,940	0,855	0,978	0,935	0,785	0,964	0,902
2	0,927	0,980	0,956	0,877	0,965	0,929	0,920	0,985	0,964	0,934	0,982	0,964	0,894	0,966	0,935
3	0,943	0,983	0,966	0,917	0,966	0,944	0,952	0,983	0,972	0,956	0,987	0,973	0,920	0,966	0,946
4	0,945	0,984	0,971	0,925	0,966	0,951	0,960	0,985	0,976	0,962	0,988	0,978	0,933	0,968	0,952
5	0,963	0,985	0,974	0,942	0,966	0,955	0,968	0,987	0,978	0,969	0,988	0,981	0,940	0,968	0,956
6	0,967	0,983	0,976	0,948	0,968	0,958	0,974	0,985	0,980	0,975	0,989	0,983	0,949	0,969	0,959
7	0,971	0,983	0,978	0,954	0,966	0,960	0,977	0,986	0,981	0,980	0,988	0,985	0,953	0,965	0,960
8	0,974	0,982	0,979	0,957	0,964	0,961	0,979	0,984	0,982	0,983	0,988	0,985	0,957	0,964	0,961
9	0,979	0,979	0,979	0,962	0,962	0,962	0,982	0,982	0,982	0,986	0,986	0,986	0,961	0,961	0,961

Tabela 2 (continuação). Acurácias mínima (MIN), máxima (MAX) e média (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos														
	6			7			8			9			10		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,873	0,978	0,937	0,825	0,977	0,925	0,681	0,954	0,884	0,703	0,876	0,955	0,829	0,976	0,920
2	0,931	0,981	0,962	0,916	0,981	0,957	0,868	0,962	0,925	0,846	0,922	0,968	0,917	0,983	0,957
3	0,951	0,985	0,970	0,945	0,983	0,968	0,893	0,969	0,941	0,892	0,939	0,971	0,949	0,985	0,969
4	0,962	0,984	0,974	0,958	0,984	0,973	0,922	0,968	0,949	0,912	0,947	0,969	0,960	0,988	0,977
5	0,967	0,984	0,977	0,967	0,984	0,977	0,936	0,971	0,953	0,929	0,952	0,971	0,969	0,988	0,980
6	0,972	0,985	0,979	0,971	0,984	0,979	0,944	0,968	0,957	0,938	0,956	0,969	0,976	0,987	0,983
7	0,976	0,984	0,980	0,977	0,983	0,980	0,951	0,967	0,959	0,949	0,958	0,966	0,981	0,987	0,984
8	0,979	0,983	0,981	0,979	0,982	0,981	0,955	0,965	0,960	0,955	0,960	0,965	0,984	0,986	0,985
9	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,961	0,961	0,961	0,960	0,960	0,960	0,985	0,985	0,985

Tabela 2 (continuação). Acurácias mínima (MIN), máxima (MAX) e média (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos								
	11			12			13		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,824	0,968	0,914	0,875	0,980	0,939	0,915	0,986	0,955
2	0,906	0,980	0,950	0,926	0,986	0,967	0,950	0,991	0,974
3	0,936	0,979	0,962	0,961	0,988	0,977	0,960	0,991	0,980
4	0,946	0,980	0,968	0,971	0,990	0,982	0,970	0,992	0,983
5	0,960	0,981	0,972	0,978	0,990	0,984	0,975	0,992	0,985
6	0,968	0,982	0,975	0,980	0,990	0,986	0,979	0,991	0,986
7	0,971	0,980	0,976	0,984	0,990	0,988	0,982	0,991	0,987
8	0,976	0,978	0,977	0,987	0,989	0,988	0,985	0,990	0,988
9	0,977	0,977	0,977	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988

Tabela 3. Coeficientes de variação mínimo (MIN), máximo (MAX) e médio (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos														
	1			2			3			4			5		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	18,81	41,09	31,41	30,44	49,49	39,83	20,41	47,52	34,00	20,84	43,65	32,53	34,27	59,71	48,34
2	16,83	30,50	24,26	23,74	38,11	30,98	18,14	37,50	26,28	18,00	31,37	24,12	29,98	45,87	38,44
3	15,54	26,45	21,33	21,79	32,59	27,38	17,96	29,77	23,15	15,26	26,60	20,61	28,45	40,60	34,65
4	14,92	26,42	19,60	21,80	30,14	25,51	17,11	27,15	21,26	13,48	23,37	18,67	27,58	37,93	32,59
5	14,57	22,29	18,49	21,22	27,21	24,34	16,05	23,96	20,13	13,76	21,62	17,27	27,03	35,52	31,25
6	15,28	20,54	17,87	21,12	26,33	23,53	16,76	22,55	19,37	13,45	19,85	16,34	26,47	33,20	30,28
7	14,89	19,68	17,28	21,45	24,54	22,89	16,54	20,69	18,81	13,48	17,82	15,60	27,70	31,72	29,73
8	15,51	18,67	16,87	21,78	23,49	22,53	17,45	19,62	18,40	13,83	16,52	15,10	28,32	30,62	29,36
9	16,54	16,54	16,54	22,35	22,35	22,35	18,28	18,28	18,28	14,83	14,83	14,83	29,21	29,21	29,21

Tabela 3 (continuação). Coeficientes de variação mínimo (MIN), máximo (MAX) e médio (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos														
	6			7			8			9			10		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	28,05	54,07	41,82	20,93	47,77	34,82	34,60	64,37	48,55	30,80	56,11	43,35	24,04	52,80	39,57
2	22,57	40,99	32,31	18,09	33,45	25,95	28,98	47,50	37,94	23,59	42,40	33,43	19,33	39,87	28,34
3	21,31	35,56	28,43	16,70	28,12	22,24	25,58	41,78	33,51	21,31	37,21	29,44	16,70	30,61	23,80
4	20,41	31,23	26,26	15,92	25,23	20,22	25,81	37,90	31,10	21,42	32,95	27,20	14,98	27,45	20,72
5	21,43	29,49	24,84	16,01	22,47	18,90	24,28	34,37	29,57	21,15	30,44	25,76	15,44	23,99	18,94
6	20,57	26,84	23,89	15,58	20,98	18,01	25,22	31,79	28,46	20,98	28,03	24,80	15,48	20,91	17,80
7	20,88	25,35	23,17	16,35	18,76	17,47	25,45	30,13	27,65	22,04	26,44	24,15	15,45	18,50	16,97
8	21,40	23,82	22,72	16,72	17,73	17,18	25,90	28,79	27,18	22,51	24,87	23,68	16,13	17,18	16,63
9	22,56	22,56	22,56	17,12	17,12	17,12	26,93	26,93	26,93	23,44	23,44	23,44	16,49	16,49	16,49

Tabela 3 (continuação). Coeficientes de variação mínimo (MIN), máximo (MAX) e médio (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos								
	11			12			13		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	23,16	43,04	32,95	22,92	45,44	34,72	18,59	39,15	30,37
2	17,72	31,62	24,64	17,10	35,81	25,04	13,91	31,00	23,00
3	16,51	26,66	21,25	15,11	26,93	20,94	14,10	27,31	20,19
4	15,25	24,04	19,38	14,04	22,96	18,59	12,98	24,33	18,35
5	15,33	21,33	18,11	13,73	20,38	17,11	12,60	22,10	17,35
6	14,86	19,51	17,29	13,80	19,28	16,12	13,23	20,36	16,60
7	15,34	18,29	16,70	13,91	17,21	15,26	13,79	19,22	16,13
8	15,99	16,92	16,40	14,43	15,77	14,91	14,53	17,53	15,76
9	16,34	16,34	16,34	14,77	14,77	14,77	15,56	15,56	15,56

Tabela 4. Coeficientes de correlação mínimo (MIN), máximo (MAX) e médio (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos														
	1			2			3			4			5		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,8768	0,9848	0,9497	0,8266	0,9735	0,9271	0,9060	0,9904	0,9590	0,8487	0,9821	0,9496	0,8774	0,9762	0,9400
2	0,9409	0,9932	0,9775	0,9069	0,9880	0,9670	0,9406	0,9960	0,9818	0,9393	0,9938	0,9775	0,9379	0,9914	0,9730
3	0,9696	0,9966	0,9868	0,9597	0,9944	0,9814	0,9729	0,9969	0,9898	0,9726	0,9969	0,9874	0,9659	0,9944	0,9849
4	0,9794	0,9979	0,9918	0,9739	0,9963	0,9885	0,9818	0,9984	0,9938	0,9829	0,9981	0,9922	0,9828	0,9969	0,9912
5	0,9882	0,9983	0,9948	0,9847	0,9979	0,9932	0,9894	0,9989	0,9963	0,9886	0,9984	0,9951	0,9886	0,9983	0,9947
6	0,9927	0,9990	0,9967	0,9915	0,9986	0,9961	0,9949	0,9994	0,9979	0,9926	0,9991	0,9970	0,9919	0,9991	0,9971
7	0,9955	0,9995	0,9981	0,9958	0,9994	0,9982	0,9977	0,9997	0,9989	0,9964	0,9994	0,9985	0,9974	0,9997	0,9987
8	0,9982	0,9997	0,9992	0,9985	0,9998	0,9994	0,9992	1,0000	0,9997	0,9988	0,9999	0,9995	0,9991	0,9999	0,9996

Tabela 4 (continuação). Coeficientes de correlação mínimo (MIN), máximo (MAX) e médio (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos														
	6			7			8			9			10		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,8689	0,9866	0,9564	0,8701	0,9841	0,9461	0,7968	0,9870	0,9252	0,7779	0,9720	0,9178	0,8382	0,9772	0,9358
2	0,9517	0,9940	0,9807	0,9451	0,9908	0,9764	0,9078	0,9886	0,9647	0,9260	0,9876	0,9623	0,9370	0,9889	0,9714
3	0,9743	0,9963	0,9891	0,9720	0,9959	0,9871	0,9547	0,9931	0,9799	0,9534	0,9919	0,9785	0,9670	0,9946	0,9846
4	0,9856	0,9982	0,9935	0,9801	0,9980	0,9927	0,9743	0,9961	0,9879	0,9744	0,9950	0,9872	0,9805	0,9971	0,9913
5	0,9898	0,9986	0,9961	0,9901	0,9989	0,9960	0,9851	0,9970	0,9925	0,9834	0,9968	0,9921	0,9878	0,9981	0,9952
6	0,9943	0,9993	0,9978	0,9953	0,9994	0,9980	0,9895	0,9987	0,9957	0,9904	0,9987	0,9954	0,9933	0,9993	0,9977
7	0,9968	0,9997	0,9989	0,9984	0,9998	0,9992	0,9945	0,9994	0,9979	0,9940	0,9991	0,9977	0,9977	0,9998	0,9991
8	0,9990	0,9999	0,9997	0,9996	1,0000	0,9999	0,9984	0,9998	0,9993	0,9979	0,9997	0,9992	0,9995	1,0000	0,9998

Tabela 4 (continuação). Coeficientes de correlação mínimo (MIN), máximo (MAX) e médio (MED) das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela (TP) em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

TP	Experimentos								
	11			12			13		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,8593	0,9780	0,9372	0,8811	0,9888	0,9517	0,9138	0,9926	0,9678
2	0,9423	0,9897	0,9724	0,9511	0,9946	0,9785	0,9517	0,9969	0,9855
3	0,9619	0,9941	0,9847	0,9717	0,9961	0,9882	0,9788	0,9984	0,9919
4	0,9779	0,9971	0,9913	0,9838	0,9974	0,9931	0,9840	0,9984	0,9951
5	0,9885	0,9984	0,9951	0,9905	0,9991	0,9961	0,9897	0,9992	0,9970
6	0,9938	0,9990	0,9974	0,9942	0,9997	0,9979	0,9929	0,9995	0,9982
7	0,9976	0,9996	0,9990	0,9975	0,9998	0,9992	0,9969	0,9999	0,9991
8	0,9995	1,0000	0,9998	0,9993	1,0000	0,9998	0,9992	1,0000	0,9997

Os modelos de regressão quadrática com platô apresentaram elevado grau de ajuste para os valores médios de acurácia, coeficiente de variação e coeficiente de correlação em função dos tamanhos de parcela de todos os experimentos. Os coeficientes de determinação dos modelos foram superiores a 0,97 para estes três parâmetros (Tabelas 5, 6 e 7). Nestes modelos todos os coeficientes de regressão (β_0 , β_1 e β_2) foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste t.

Nos 13 experimentos os modelos de regressão para a acurácia apresentaram platô entre 4,45 e 4,79 plantas por parcela (Tabela 5), indicando que seriam necessárias avaliar pelo menos 5 plantas para se obter acurácia similar à avaliação realizada com 9 plantas por parcela. As acurácias estimadas em todos os experimentos por estes modelos e para estes valores de platô foram superiores a 0,95. Além disso, em todos os experimentos foram observados para este tamanho de parcela acurácias superiores a 0,93 dentre as 1000 simulações realizadas (Tabela 2). Em termos de acurácia média destas simulações para 5 plantas por parcela, os experimentos apresentaram valores superiores a 0,95. Todos estes resultados expressam a elevada correlação entre o valor genotípico verdadeiro da cultivar e aquele estimado a partir das informações dos experimentos, e indicam a possibilidade de se reduzir para 5 o número de plantas avaliadas por parcela.

Tabela 5. Modelos de regressão quadrática com platô para acurácia média das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

Experimentos	β_0	β_1	β_2	r^2	Número de plantas	Acurácia (platô)
1	0,903258**	0,031188**	-0,003311**	0,9742	4,7197	0,9767
2	0,849665**	0,047212**	-0,005133**	0,9763	4,5989	0,9582
3	0,918037**	0,026830**	-0,002889**	0,9759	4,6436	0,9803
4	0,908380**	0,032552**	-0,003531**	0,9720	4,6101	0,9834
5	0,869200**	0,038827**	-0,004214**	0,9734	4,6068	0,9586
6	0,913952**	0,028181**	-0,003051**	0,9744	4,6191	0,9790
7	0,892831**	0,038713**	-0,004362**	0,9777	4,4374	0,9787
8	0,845074**	0,046961**	-0,004904**	0,9758	4,7881	0,9575
9	0,832755**	0,052345**	-0,005534**	0,9759	4,7293	0,9565
10	0,883454**	0,043867**	-0,004844**	0,9780	4,5279	0,9828
11	0,878225**	0,042568**	-0,004689**	0,9762	4,5388	0,9748
12	0,910542**	0,034042**	-0,003820**	0,9768	4,4552	0,9864
13	0,937063**	0,021713**	-0,002390**	0,9739	4,5422	0,9864

β_0 , β_1 e β_2 : coeficientes de regressão do modelo de regressão quadrática com platô
 ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. NS, não significativo.

r^2 : coeficiente de determinação do modelo

Os modelos de regressão ajustados para o coeficiente de variação em função do tamanho das parcelas apresentaram platô entre 5,05 e 5,71 plantas (Tabela 6). Para estes valores de platô, os modelos estimaram CVs de 30,09 e 15,73, respectivamente. Com exceção dos experimentos cinco e oito, a maioria dos experimentos apresentaram CVs inferiores a 25% quando avaliadas seis plantas por parcela. Apesar de nos experimentos cinco e oito serem observados CVs mais elevados nas simulações com este tamanho de parcela, estes experimentos apresentaram CV elevado mesmo na situação que foram avaliadas nove plantas por parcela (Tabela 3). Portanto, todos estes resultados reforçam que é possível reduzir a parcela para seis plantas mantendo a precisão experimental obtida com nove plantas por parcela na avaliação da severidade da antracnose.

Tabela 6. Modelos de regressão quadrática com platô para coeficiente de variação médio das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

Experimentos	β_0	β_1	β_2	r^2	Número de plantas	CV(%) (platô)
1	37,268460**	-7,206695**	0,652757**	0,9752	5,5202	17,38
2	47,861894**	-9,667905**	0,948330**	0,9758	5,0973	23,22
3	40,453360**	-7,902031**	0,727230**	0,9772	5,4330	18,99
4	39,061707**	-8,158415**	0,713176**	0,9741	5,7198	15,73
5	57,272317**	-10,769688**	1,066850**	0,9755	5,0474	30,09
6	49,761405**	-9,734830**	0,899908**	0,9762	5,4088	23,43
7	42,684102**	-9,498798**	0,906017**	0,9795	5,2421	17,79
8	57,489348**	-10,938989**	1,012833**	0,9762	5,4002	27,95
9	51,819031**	-10,330209**	0,972886**	0,9762	5,3091	24,40
10	48,887109**	-11,401117**	1,029079**	0,9810	5,5395	17,31
11	40,050113**	-8,654863**	0,812101**	0,9778	5,3287	16,99
12	42,769150**	-9,867432**	0,895613**	0,9781	5,5088	15,59
13	36,499053**	-7,513378**	0,697963**	0,9758	5,3824	16,28

β_0 , β_1 e β_2 : coeficientes de regressão do modelo de regressão quadrática com platô

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. NS, não significativo.

r^2 : coeficiente de determinação do modelo

Os valores de platô obtidos nos modelos de regressão para o coeficiente de correlação em cada experimento variaram entre 4,56 e 4,84 plantas por parcela. Os coeficientes de correlação estimados por estes modelos para estes tamanhos de parcela foram superiores a 0,99 (Tabela 7). Além disso, observou-se que todas as 1000 simulações para tamanho de parcela igual a 5 apresentaram coeficientes de correlação superiores as 0,98 em todos os experimentos (Tabela 4). Tais resultados indicam que o comportamento das cultivares quando avaliadas com este tamanho de parcela é similar ao observado em condição de nove plantas por parcela. Assim, verifica-se que ao se utilizar o coeficiente de correlação como critério é possível reduzir para cinco o número de plantas avaliadas quanto a severidade da antracnose.

Tabela 7. Modelos de regressão quadrática com platô para coeficiente de correlação médio das 1000 simulações realizadas para cada tamanho de parcela em 13 experimentos de avaliação de cultivares de feijão carioca quanto a severidade da antracnose.

Experimentos	β_0	β_1	β_2	r^2	Número de plantas	Coeficiente de correlação (platô)
1	0,923189**	0,031835**	-0,003423**	0,9721	4,6504	0,9972
2	0,888822**	0,045895**	-0,004884**	0,9755	4,6981	0,9966
3	0,936709**	0,026684**	-0,002899**	0,9757	4,6026	0,9981
4	0,921936**	0,032999**	-0,003605**	0,9742	4,5766	0,9974
5	0,907897**	0,038388**	-0,004114**	0,9775	4,6656	0,9974
6	0,932674**	0,028370**	-0,003079**	0,9755	4,6070	0,9980
7	0,915912**	0,036019**	-0,003950**	0,9787	4,5592	0,9980
8	0,887546**	0,045012**	-0,004651**	0,9772	4,8395	0,9965
9	0,875009**	0,051160**	-0,005402**	0,9765	4,7351	0,9961
10	0,900320**	0,042235**	-0,004580**	0,9801	4,6111	0,9977
11	0,902445**	0,041477**	-0,004521**	0,9778	4,5871	0,9976
12	0,925211**	0,031593**	-0,003424**	0,9781	4,6131	0,9981
13	0,950434**	0,020736**	-0,002238**	0,9760	4,6317	0,9985

β_0 , β_1 e β_2 : coeficientes de regressão do modelo de regressão quadrática com platô

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. NS, não significativo.

r^2 : coeficiente de determinação do modelo

O número mínimo de plantas necessário para avaliar a severidade da antracnose foi 5 quando se utilizou a acurácia (Tabela 5) e o coeficiente de correlação (Tabela 7) e 6 ao empregar o coeficiente de variação dos experimentos (Tabela 6). Todas as simulações com 6 plantas por parcela apresentaram acurácias e coeficientes de correlação superiores a 0,94 e 0,99, respectivamente. A maioria das simulações com 6 plantas por parcela apresentaram coeficientes de variação inferiores a 25%. Portanto, para que estas avaliações sejam tão acuradas e precisas quanto as realizadas com 9 plantas por parcela seriam necessárias avaliar pelo menos 6 plantas.

Os estudos realizados de avaliação da reação de cultivares às raças de *C. lindemuthianum* utilizam-se de experimentos com 8 (CALIL et al., 2008; CELIN et al., 2012, 2013) ou 9 plantas (BARCELOS et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015) por parcela sem repetição. Apesar de não haver informações sobre o adequado tamanho das parcelas, os resultados deste trabalho demonstram que os experimentos destes estudos foram realizados com número suficiente de plantas para que tenham elevada precisão e acurácia. O emprego de 6 plantas por parcela nas avaliações da severidade da antracnose permitiria reduzir em 33% os custos com os experimentos desta

natureza e possibilitaria avaliar um maior número de genótipos. Assim, o resultado deste trabalho evidencia a possibilidade de redução do tamanho da parcela mantendo elevada acurácia e precisão experimental.

4. CONCLUSÕES

Seis plantas por parcela é o número mínimo necessário para avaliar a severidade da antracnose por meio da inoculação artificial de plantas de feijoeiro em estágio V2.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE-MARIN A. L. Et al. Reação do cultivar de feijoeiro-comum “Vermelhinho” à ferrugem, antracnose e mancha angular. **Revista Ceres**, v. 56, n. 306, p. 164–170, 2006.

ARNHOLD, E. **Fit and plot some nonlinear models**. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/easynls/index.html>, 2017.

BARCELOS, Q. L. et al. Investigation of sources of resistance to anthracnose disease in a *Phaseolus vulgaris* germplasm collection in Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 56, p. 37–38, 2013.

BUSSAD, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Saraiva, 2004. p. 526.

CALIL, I. P., et al. Characterization of accessions of *Phaseolus vulgaris* L. for reaction to the fungus *Colletotrichum lindemuthianum*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 51, p. 178–179, 2008.

CELIN, E. F. et al. Reaction of common bean genotypes to five races of *Colletotrichum lindemuthianum* in Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 56, p. 35–36, 2013.

CELIN, E. F. et al. Sources of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in carioca common bean class. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 137-138, 2012.

COSTA, L. C. et al. Are duplicated genes responsible for anthracnose resistance in common bean? **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, p. 1–15, 2017.

COSTA, L. C. et al. Effectiveness of recurrent selection for anthracnose resistance in common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 63, p. 73–74, 2020.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, p. 514, 2012.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Socioeconomia**. 2021. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index>. Acesso em: 20 dez. 2021.

FERNANDES, E. N.; SILVA, P. S. L. Tamanho da amostra e método de amostragem para caracteres da espiga do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 252–256, 1996.

FERREIRA, J. J.; CAMPA, A.; KELLY, J. D. Organization of genes conferring resistance to anthracnose in common bean. In: VARSHNEY, R. K.; TUBEROSA, R.

Translational genomics for crop breeding. New York: John Wiley & Sons, p. 151–176, 2013.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. et al. Reaction of common bean cultivars inoculated simultaneously with *Colletotrichum lindemuthianum* and *Pseudocercospora griseola*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 97–98, 2012.

LECLAIR, E. et al. Transmission of anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with artificial and natural inoculum in a wet and dry canopy. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 5, p. 913–921, 2015

MARTINIANO-SOUZA, M. C. et al. Virulence and genetic diversity of *Colletotrichum lindemuthianum* and resistance of local common bean germplasm to anthracnose in Pernambuco State, Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 159, p. 727–740, 2021.

MIKLAS, P. N. et al. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica**, v. 147, p. 105–131, 2006.

MOREIRA, M. A. et al. BRSMG Pioneiro: New carioca common bean cultivar resistant to anthracnose and rust, for the southern of Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, n. 49, 279–280, 2006.

OLIVEIRA, B. M. et al. Resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in inbred common bean lines from the Ouro negro x Meia noite cross. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 58, p. 33–34, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, **R: A language and environment for statistical computing.** Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RAGAGNIN, V. A. et al. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**, v. 128, p. 156–163, 2009.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.** Editora Embrapa, 2009.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.

RIBEIRO, T. et al. Classification of *Colletotrichum lindemuthianum* races in differential cultivars of common bean. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 179–184, 2016.

SPIEGEL, R. A. et al. Probabilidade e estatística. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 398.

VAN SCHNOONHOVEN, A., PASTOR-CORRALES, M. A. **Standard system for the evaluation of bean germplasm**. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO, 1987.

VIDIGAL FILHO, P. S. et al. Sources of Resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* and *Pseudocercospora griseola* in common bean from Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 63, p. 77–78, 2020.

VIDIGAL FILHO, P. S. et al. Sources of resistance to anthracnose in traditional common bean cultivars from Paraná, Brazil. **Journal of Phytopathology**, v. 155, p. 108–113, 2007.