



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Jane Clésia Silva dos Santos

**SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA DE FEIJOEIRO
COMUM PARA RESISTÊNCIA À PODRIDÃO-CINZENTA-
DO-CAULE: ESTRATÉGIAS DE FENOTIPAGEM E
FORMAÇÃO DE POPULAÇÃO BASE**

Petrolina

2023

JANE CLÉSIA SILVA DOS SANTOS

**SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA DE FEIJOEIRO
COMUM PARA RESISTÊNCIA À PODRIDÃO-CINZENTA-
DO-CAULE: ESTRATÉGIAS DE FENOTIPAGEM E
FORMAÇÃO DE POPULAÇÃO BASE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientadora: Profa. Dra. Francine Hiromi Ishikawa

Coorientador: Prof. Dr. Jerônimo C. Borel

Petrolina

2023

Ficha catalográfica

Santos, Jane Clésia Silva dos
S237s Seleção recorrente fenotípica de feijoeiro comum para resistência à podridão-cinza-do-caule: estratégias de fenotipagem e formação de população base. / Jane Clésia Silva dos Santos. – Petrolina-PE, 2023.
xiii, 76 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2023.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Francine Hiromi Ishikawa.

Inclui referências.

1. Feijão – Doenças e pragas. 2. *Macrophomina phaseolina*. 3. Feijão – Melhoramento genético. I. Título. II. Ishikawa, Francine Hiromi. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 635.6529

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UNIVASF.
Bibliotecária: Andressa Laís Machado de Matos CRB – 4/2240.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO


Jane Clésia Silva dos Santos

Seleção recorrente fenotípica de feijoeiro comum para resistência à podridão-cinzena-do-caule: estratégias de fenotipagem e formação de população base


Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovada em: 21 de março de 2023


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 FRANCINE HIROMI ISHIKAWA
Data: 10/04/2023 15:32:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Francine Hiromi Ishikawa, Profa. Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, UNIVASF

Documento assinado digitalmente
 JERONIMO CONSTANTINO BOREL
Data: 10/04/2023 15:57:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jerônimo Constantino Borel, Prof. Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, UNIVASF

Documento assinado digitalmente
 IZAIAS DA SILVA LIMA NETO
Data: 25/04/2023 21:10:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Izaias da Silva Lima Neto, Prof. Doutor em Fitotecnia, UNIVASF

Documento assinado digitalmente
 PEDRO MARTINS RIBEIRO JUNIOR
Data: 26/04/2023 10:56:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pedro Martins Ribeiro Júnior, Pesquisador, Doutor em Agronomia (Fitopatologia), Embrapa Semiárido

Aos meus pais, Lécia Claudia Dionizio da Silva e José Ailton dos Santos, por serem minha fonte de inspiração e meu porto seguro.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado, protegido, abençoado, dado discernimento, sabedoria e forças para chegar até aqui.

Logo eu, filha de agricultores, mulher, que resolvi trilhar um caminho cheio de obstáculos, preconceitos, palavras desmotivadoras, choros, noites sem dormir, ansiedade, depressão e tantas outros sentimentos que a área de agronomia proporciona. Mas só tenho a agradecer, pois tudo isso, me fez ser quem sou hoje.

A toda a minha família, em especial à minha mãe Lécia Claudia Dionizio da Silva, minhas irmãs Jane Kelly Silva dos Santos, Jane Keizer Silva dos Santos, e ao meu pai José Ailton dos Santos, por todo o amor, carinho, apoio, incentivo, conselhos e por entenderem minha ausência nos momentos que mais precisaram de mim. Abdicar do carinho da família, é um caminho bastante doloroso, e passar as datas especiais longe, são momentos tristes. Mas no final, sei que valerá a pena.

Aos patrões dos meus pais, Dona Catarina Sales e Dr. Luís Sales, por sempre acreditarem em mim, pelos conselhos, carinho e atenção, e por fazerem com que meu pai entendesse que eu tinha que caminhar com minhas próprias pernas, o meu muito obrigada.

Ao meu orientador, que agora é coorientador Jerônimo Constantino Borel, obrigada pelas palavras amigas e que, mesmo sem saber, elas vinham no momento certo, por sempre me incentivar, mostrar que sou capaz, por ter me acolhido tão bem na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), por sempre ser tão solícito comigo. Agradeço muito pelo apoio e confiança.

À minha orientadora Francine Hiromi Ishikawa, obrigada por toda ajuda, pela paciência e por passar tanta calma quando orienta. Nessa reta final, a senhora me acolheu sem pensar duas vezes e me fez sentir em casa, assim como o professor Jerônimo fez. "GRATIDÃO" é a palavra certa para me referir a senhora e ao prof. Jerônimo.

Agradeço aos membros da banca por aceitarem o convite e por contribuírem na melhoria do meu trabalho.

A meus amigos e irmãos de outra mãe, Alciele da Silva Leite, Gisele Oliveira e Thiago Cavalcanti pela paciência, abraços em momentos de dor, palavras de afeto e carinho, por não terem deixado que eu desistisse e, principalmente, por sempre acreditarem em mim, amo vocês.

Em especial a Gisele Silva Oliveira, que embarcou comigo no mestrado, obrigada por ter sido meu ponto de paz, por secar minhas lágrimas, segurar minha mão, e ser sempre tão incrível comigo. A irmã que não é de sangue, mas é de coração.

As amizades que fiz na UNIVASF, os anjos que Deus colocou em minha vida, Kethelen Gabryelly, Amanda Menezes, Álef Pinto, Pedro Ivo, Mateus Castro, Mateus Santana, Jonas Duarte, Ana Beatriz, Cássio Almeida, Diuana Rodrigues, aos Grupos de pesquisa NEMEP, FITOMELHOR, e a todas as pessoas que me ajudaram ao longo da minha caminhada. Obrigada por terem me feito sentir em casa, pela ajuda, risadas e a troca de experiências vivenciadas, guardo cada um meu coração. Vocês foram essenciais.

Aos meus amigos que Petrolina me deu, Antônio Monteiro (Tone), Elaine Ferreira, Isis Ferreira e Lucas Henrique pelo companheirismo, amizade, acolhimento, as risadas e por tornar os dias aqui mais leves.

Aos professores que contribuíram para minha formação nesse mestrado, muito obrigada!

Aos funcionários da limpeza, de campo, aos porteiros, em especial a Givaldo e Genilson, grata por cada bom dia, por cada sorriso, pela ajuda, muito obrigada por tudo. Vocês são incríveis.

E a todos que direta e indiretamente contribuíram para esta realização e que, acima de tudo, acreditaram na minha capacidade de superar as dificuldades e de alcançar mais esse objetivo. Está vitória não é apenas minha, é nossa, pois sem vocês nada teria sido possível.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco, por ter cedido os laboratórios, a área em campo para realização dos experimentos e pelo acolhimento, muito obrigada.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudo que permitiu realizar o meu trabalho.

A todos(as) vocês, o meu muito obrigada!

RESUMO

A podridão-cinzenta-do-caule é uma das principais doenças do feijão comum em regiões semiáridas, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Embora seja de grande importância socioeconômica, são escassos os estudos envolvendo o feijão comum visando a resistência a essa doença. Por isso a seleção recorrente surge como uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de novas linhagens resistentes, assim como a busca por metodologias de inoculação que traga segurança nos resultados e permita distinguir o comportamento das linhagens quanto a reação à doença. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram selecionar uma população base, realizar os cruzamentos, avaliar as progênies obtidas, assim como avaliar a eficiência do método de inoculação de arroz com *M. phaseolina* e o melhor estágio fenológico para realizar inoculação. As linhagens utilizadas nos experimentos foram provenientes do BAG de feijão comum da UNIVASF. No primeiro artigo os experimentos foram realizados em casa de vegetação. Foi utilizado o método do arroz inoculado com *M. phaseolina*. Essa metodologia foi replicada nos outros experimentos, sendo o primeiro para avaliar qual o melhor estágio fenológico do feijão para realizar a inoculação e o segundo para avaliar a eficácia do método do arroz. Foram avaliados o número de folhas, o diâmetro do colo, a altura, lesão e severidade. No segundo artigo foram realizados dois experimentos, o primeiro foi em campo, avaliando a severidade e produtividade em vinte e quatro linhagens de feijão. Após esse experimento foram escolhidas quinze linhagens para avaliar a resistência pelo método do arroz infestado em casa de vegetação. O terceiro artigo foram realizados os cruzamentos por meio da hibridação e em seguida foi feita a avaliação dos cruzamentos obtidos. Como resultados, foi possível observar que as linhagens que se mostraram tolerantes a doença, apresentaram produtividade significativamente superior quando comparadas com as demais. A partir das linhagens avaliadas em campo e casa de vegetação foi possível identificar cinco linhagens promissoras, que serão utilizadas nos cruzamentos para iniciar um programa de seleção recorrente, sendo elas: BRSMG Supremo, BRS Campeiro, BRS Notável, BGF13 e BGF2, que aliam alta produtividade e resistência. O estágio fenológico V0 mostrou-se o mais adequado para inoculação permitindo o desenvolvimento da doença e avaliação da resistência. O método de inoculação no estágio V0 do arroz inoculado com *M. phaseolina* mostrou-se eficaz quanto a avaliação da doença. Os materiais que foram considerados promissores foram, BGF11, BGF16, BRSMG Supremo, BRS Timbó, BRS Valente, Pérola, BRS Vereda, BGF12, BGF4, BRS Embaixador, BRSMG Majestoso, BGF31, BRS Notável, BRS Pitanga, BGF2, BGF34, BRS Esteio, BRS Pontal, BGF37, BGF43, BRSMG Madrepérola, BGF27, BRS Cometa, BRSMG União e BGF20, por apresentarem níveis de tolerância e resistência altos. As progênies dos cruzamentos BGF2 x BRS Notável, BGF2 x BGF13 e BGF13 x BGF2 mostraram resistência alta, e que podem ser utilizados nos próximos ciclos de seleção recorrente. A testemunha apresentou suscetibilidade, mostrando a eficácia do método de inoculação utilizado, assim como o cruzamento BRSMG Supremo x BGF13. Já os cruzamentos BGF2 x BGF BRSMG Supremo, BRS Campeiro x BGF13, BGF2 x BRS Campeiro e BGF13 x BRS Notável foram considerados tolerantes à podridão-cinzenta-do-caule.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Progênies. Seleção recorrente. Método de inoculação.

ABSTRACT

Charcol rot is a major disease of common bean in semiarid, caused by the fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Although it is of great socioeconomic importance, studies involving common bean aimed at resistance to this disease are scarce. Therefore, recurrent selection emerges as an effective strategy for the development of new resistant lines, as well as the search for inoculation methodologies that bring safety in the results and allow distinguishing the behavior of the lines in terms of reaction to the disease. Thus, the objectives of this work were to select a base population, carry out crosses, evaluate the progenies obtained, as well as evaluate the efficiency of the rice inoculation method with *M. phaseolina* and the best phenological stage to perform inoculation. The lines used in the experiments belong to common bean germplasm bank (BAG) of UNIVASF. The first article the experiments were carried out in a greenhouse. The method of rice inoculated with *M. phaseolina* was used. This methodology was replicated in other experiments, the first being to assess the best bean phenological stage for inoculation and the second to assess the effectiveness of the rice method. The number of leaves, diameter, height, lesion and severity were evaluated. In the second article, two experiments were carried out, the first in the field, evaluating the severity and productivity in twenty-four bean lines. After this experiment, fifteen lines were chosen to be evaluated in a greenhouse. The first experiment to evaluate the best phenological stage of the bean to carry out the inoculation and the second to evaluate the effectiveness of the rice method. In the third article, the crossings were performed through hybridization and then the evaluation of the obtained crossings was made. As a result, it was possible to observe that the lines that were tolerant to the disease were, significantly higher productivity when compared to the others lines. From the lines evaluated in the field and in the greenhouse, it was possible to identify five promising lines, which were used in crosses to start a recurrent selection program, namely: BRSMG Supremo, BRS Campeiro, BRS Notável, BGF13 and BGF2, which combine high productivity and resistance. The phenological stage V0 proved to be the most suitable for inoculation, allowing the development of the disease and evaluation of resistance. The method of inoculation at the V0 stage of rice inoculated with *M. phaseolina* proved to be effective in assessing the disease. The materials that were considered promising were BGF11, BGF16, BRSMG Supremo, BRS Timbó, BRS Valente, Pérola, BRS Vereda, BGF12, BGF4, BRS Embaixador, BRSMG Majestoso, BGF31, BRS Notável, BRS Pitanga, BGF2, BGF34, BRS Esteio, BRS Pontal, BGF37, BGF43, BRSMG Madrepérola, BGF27, BRS Cometa, BRSMG União and BGF20, as they have high levels of tolerance and resistance. The progenies of the crosses BGF2 x BRS Notável, BGF2 x BGF13 and BGF13 x BGF2 showed high resistance, which can be used in the next cycles of recurrent selection. The control showed susceptibility, showing the effectiveness of the inoculation method used, as well as the crossing BRSMG Supremo x BGF13. The crosses BGF2 x BGF BRSMG Supremo, BRS Campeiro x BGF13, BGF2 x BRS Campeiro and BGF13 x BRS Notável were considered tolerant to gray stem rot.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Progenies. Recurring selection. Inoculation method.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 3

Figura 1. Altura (cm) e Diâmetro do colo (mm) de linhagens de feijão comum inoculadas com *Macrophomina phaseolina*. Barras com mesma letra dentro de cada avaliação não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$)..... 39

Capítulo 4

Figura 1. Altura de plantas (cm) e comprimento da lesão (cm) causada por *Macrophomina phaseolina* em linhagens de feijão comum. Barras de mesma cor com mesma letra dentro de cada variável não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)..... 54

Capítulo 5

Figura 1. Histórico de temperatura do mês de setembro em 2022. Fonte: © WeatherSpark.com..... 66

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 1. Identificação das linhagens de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) utilizadas no segundo ensaio 32

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de planta e tamanho da lesão em função das linhagens e dos estádios fenológicos do feijão comum. Petrolina (PE), 2022 34

Tabela 3. Desdobramento da análise de variância da altura das plantas em função das linhagens e dos estádios fenológicos do feijão comum 35

Tabela 4. Comparação das médias do tamanho da lesão (cm) das linhagens avaliadas no estágio V0 37

Tabela 5. Avaliação da severidade de *Macrophomina phaseolina* em plantas de feijão comum 38

Tabela 6. Avaliação da severidade da podridão-cinzenta-do-caule em linhagens de feijão comum 40

Capítulo 4

Tabela 1. Identificação das linhagens de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas no experimento 1 49

Tabela 2. Médias das vinte e quatro linhagens de feijão comum para os parâmetros de produtividade, severidade e reação à podridão-cinzenta-do-caule. 52

Tabela 3. Histórico de temperaturas ocorridas de setembro a novembro de 2021 em Petrolina-PE. Fonte: © WeatherSpark.com 52

Tabela 4. Médias do número de folhas e diâmetro do colo (mm) das quinze linhagens de feijão comum inoculadas com *Macrophomina phaseolina* 53

Tabela 5. Avaliação da severidade a podridão-cinzenta-do-caule em linhagens de feijão comum inoculadas artificialmente com *Macrophomina phaseolina* 55

Capítulo 5

Tabela 1. Identificação dos grupos obtidos através dos cruzamentos 66

Tabela 2. Identificação dos grupos obtidos através dos cruzamentos obtidos na geração F2 67

Tabela 3. Variáveis de altura das plantas e tamanho da lesão avaliadas nos cruzamentos de linhagens de feijão comum inoculadas com *Macrophomina phaseolina* 71

Tabela 4. Avaliação da severidade a podridão-cinzenta-do-caule nos cruzamentos de feijão comum inoculados com método do arroz colonizado 72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 ASPECTOS GERAIS DO FEIJÃO COMUM (<i>PHASEOLUS VULGARIS</i> L.).....	16
2.2 PODRIDÃO-CINZENTA-DO-CAULE (<i>MACROPHOMINA PHASEOLINA</i> (TASSI) GOID.....	16
2.3 MÉTODOS DE CONTROLE	18
2.4 SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA	19
2.5 REFERÊNCIAS	23
3 AVALIAÇÃO DOS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS E DA EFICÁCIA DO MÉTODO DE INOCULAÇÃO COM ARROZ INFESTADO COM <i>MACROPHOMINAPHASEOLINA</i> EM LINHAGENS DE FEIJÃO COMUM¹	28
3.1 INTRODUÇÃO	29
3.2 METODOLOGIA	30
3.2.1 Primeiro ensaio: avaliação do estágio fenológico para inoculação ..	31
3.2.2 Segundo Ensaio: Avaliação da resistência de linhagens de feijão....	32
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.4 CONCLUSÕES	42
3.5 REFERÊNCIAS.....	42
4 REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO COMUM À PODRIDÃO-CINZENTA-DO-CAULE PARA OBTENÇÃO DA POPULAÇÃO BASE VISANDO A SELEÇÃO RECORRENTE¹	46
4.1 INTRODUÇÃO.....	47
4.2 METODOLOGIA.....	48
4.2.1 Experimento 1: Avaliação sob infecção natural	48
4.2.2 Experimento 2: Avaliação da resistência sob inoculação artificial....	50
4.3 RESULTADOS	51
4.4 DISCUSSÃO	55
4.5 CONCLUSÕES	59
4.6 REFERÊNCIAS.....	59

5. AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES DE FEIJÃO COMUM QUANTO À REAÇÃO À PODRIDÃO-CINZENTA-DO-CAULE¹	63
5.1 INTRODUÇÃO	64
5.2 METODOLOGIA.....	65
5.2.1 População Base (C0) e progênies do ciclo I.....	65
5.2.2 Avaliação dos cruzamentos	67
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5.4 CONCLUSÕES	72
5.5 REFERÊNCIAS.....	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerada de ciclo curto e, por isso, apresenta grande vantagem para o produtor, que consegue produzir mais de um ciclo por ano e adequar o seu plantio dentro de uma área menor, criando a possibilidade de realizar consórcios com outras culturas, otimizando espaço. Nesse cenário, o Brasil possui três épocas distintas de plantio, favorecendo assim uma oferta constante do produto ao longo do ano, sendo elas, a primeira safra, semeado entre agosto e dezembro, o de segunda safra, cultivado entre janeiro e abril, e o de terceira safra, semeado de maio a julho (CONAB, 2020).

Na safra 2021/22, o feijão comum chegou a uma área estimada de 2,8 milhões de hectares, sendo produzidos 3,1 milhões de toneladas de grãos, o que equivale a uma produtividade de 1.113 kg ha⁻¹ de grãos (CONAB,2022). Ainda de acordo com a Conab (2022), o Brasil é considerado o maior consumidor e produtor de feijão comum. Entretanto, esta cultura vem sendo acometida por várias doenças, causando reduções em sua produtividade, tendo destaque para a doença podridão-cinzenta-do-caule (GOMES-SILVA et al., 2017).

A podridão-cinzenta-do-caule causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., constitui-se em um dos fatores limitantes à produção de feijão comum na região semiárida e nos cerrados do Nordeste. Além dos feijões, a doença ocorre em mais de 680 espécies vegetais cultivadas, incluindo soja, sorgo, melão, milho e girassol, possui também uma ampla distribuição geográfica. Com capacidade de sobreviver em condições desfavoráveis, devido à formação dos microescleródios, que são a estrutura de resistência (LINHARES et al., 2018), esse patógeno pode afetar desde raízes até folhas, vagens, e frutos de espécies vegetais (ISHIKAWA et al., 2018; SALES JÚNIOR et al.,2020).

Devido à condição termotolerante deste fungo, esta doença torna-se ainda mais importante na região Nordeste do Brasil, pois condições climáticas como alta temperatura e baixa umidade favorecem o seu desenvolvimento (ATHAYDE SOBRINHO, 2016; GOMES-SILVA et al., 2017; NEGREIROS et al., 2019). Embora seja de grande relevância, há poucos estudos envolvendo o feijão comum visando a obtenção de cultivares resistentes no Brasil e também no mundo. Estudos realizados com a cultura da soja indicam que a reação à doença é de natureza quantitativa (COSER et al., 2017).

Com isso a seleção recorrente surge como uma estratégia mais adequada para o desenvolvimento de linhagens resistentes e com as características desejáveis pelo consumidor, como tamanho dos grãos, coloração, tempo de cozimento, dentre outras (RAMALHO et al., 2012). Até o momento, esta proposta representa o único relato de programa de seleção recorrente para resistência à podridão-cinzenta-do-caule em feijão comum em todo o mundo.

Além disso, o período de inoculação nos estádios fenológicos iniciais é mais eficaz, pois a sintomatologia da doença avaliada surge assim que as plantas germinam, assim como utilizar uma metodologia de inoculação que garanta a eficácia dos resultados e permita distinguir as linhagens quanto a reação a doença (GOMES, 2014; CRUCIOL & COSTA, 2018).

A busca por plantas resistentes a doenças exige técnicas eficazes de avaliação da doença e também na seleção. Alguns trabalhos que analisam germoplasma para resistência a *M. phaseolina* o fazem em campo, infestado por inoculação artificial ou com uma área que tenha histórico da doença (PÁDUA et al., 2021). Entretanto, experimentos de campo podem produzir resultados inconsistentes, uma vez que diversos fatores adversos ao patossistema podem variar entre locais e entre safras. Com isso, para reduzir essa variabilidade, ensaios sob condições controladas em casa de vegetação, com padronização das condições ambientais e técnicas de inoculação são indicados para as avaliações (ISHIKAWA et al., 2018).

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram selecionar uma população base de *P. vulgaris*, realizar os cruzamentos e avaliar as progênes obtidas através desses cruzamentos. Além disso, avaliar qual o estágio fenológico é melhor para realizar inoculação, assim como a eficiência do método de inoculação de arroz com *M. phaseolina*, com o intuito de iniciar um programa de seleção recorrente do feijão comum.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aspectos gerais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de importância econômica em vários países em desenvolvimento, o qual se constitui a principal fonte de renda, por apresentar baixo custo de produção, quando comparada com outras culturas, como a soja (MEZIADI et al., 2016). Além disso, é uma cultura de suma importância para a alimentação humana, devido às suas características organolépticas, já que é uma fonte de proteínas, aminoácidos, minerais, vitaminas, e também apresenta alto conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados e carboidratos (MORAES & MENELAU, 2017).

No Brasil o cultivo de feijão comum é diversificado, sendo produzido de forma individual ou consorciado com outras culturas, como milho. Além disso, o cultivo concentra-se nas pequenas e médias propriedades com adoção de sistemas produtivos, com emprego de mão de obra familiar e baixo uso de insumos tecnológicos (OLIVEIRA, 2022).

O Brasil, terceiro maior produtor, possui uma área cultivada de 904,1 mil hectares na safra de 21/22, resultando em uma produção em torno de 934,3 mil toneladas por ano e produtividade de 1034 kg/ ha (CONAB, 2022). Resultados alcançados graças ao uso de tecnologias na produção e a utilização de métodos de controle, dando ênfase nas cultivares melhoradas, principalmente dos tipos carioca e preto (BARILI et al., 2016).

O feijão comum possui grande variabilidade genética e um excelente potencial de produção, pois se adapta a diferentes condições ambientais como as do Submédio do Vale do São Francisco. No entanto, apresenta uma baixa tolerância a fatores extremos, como temperaturas muito elevadas ou muito baixas, em especial no período de floração e formação das vagens, onde causam maiores danos, tendo como exemplo a queda do botão floral e das folhas, diminuindo a produção e também a fotossíntese (SANTOS et al., 2015). Além disso, possui alta demanda no mercado interno (CANELE, 2020).

2.2 Podridão-cinzenta-do-caule (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.)

No entanto, as doenças estão entre os fatores limitantes mais importantes para produção do feijão comum, sendo responsáveis por perdas qualitativas e

quantitativas, seja de origem bacteriana, viróticas principalmente fúngicas, que acaba a qualidade dos grãos (OLIVEIRA, 2022). Dentre elas destaca-se a podridão-cinzenta-do-caule, que tem como agente causal a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. (FARR & ROSSMAN, 2020).

A *M. phaseolina* é um fungo habitante de solo, causador da doença podridão-cinzenta-do-caule que ataca mais de 700 espécies de plantas cultivadas (FARR & ROSSMAN, 2020). São exemplos de culturas afetadas pela *M. phaseolina*, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o milho (*Zea mays* L.), o sorgo (*Sorghum bicolor* L.), a soja (*Glycine max* L.), e o gergelim (*Sesamum indicum* L.) (ISHIKAWA et al., 2018), onde a rotação de cultura não é tão eficaz, porque as estruturas de resistência desse patógeno sobrevive no solo por até 15 anos (MARQUEZ et al., 2021).

No semiárido brasileiro, essa doença se torna ainda mais importante, pois as condições climáticas favorecem o estabelecimento deste patógeno, somado ainda aos baixos níveis de tecnologia de produção que favorecem seu desenvolvimento e sobrevivência (OLIVEIRA et al., 2021). Esses fatores contribuem para que a podridão-cinzenta-do-caule seja uma das doenças mais relevantes nas safras do feijão comum no território brasileiro (ATHAYDE SOBRINHO, 2016; GOMES-SILVA et al., 2017; NEGREIROS et al., 2019).

A *M. phaseolina* é um fungo amplamente distribuído em todo o mundo (RAMOS et al., 2016). Este patógeno é disseminado por sementes infectadas, atingindo as plântulas em crescimento, possibilitando também que este fungo alcance novas áreas de cultivo, representado assim um elevado risco, principalmente, pela escassez de trabalhos relacionados ao estudo da incidência de *M. phaseolina* em sementes no Brasil (RAO et al., 2015). Devido ao quantitativo de espécies hospedeiras desse patógeno, a *M. phaseolina*, tornou-se importante economicamente na Austrália, Estados Unidos, Índia e México (SUN et al., 2016).

O solo quando se encontra contaminado pelo fungo e as sementes de cultivares suscetíveis são semeadas, ou até mesmo quando são utilizadas sementes contaminadas, sintomas como *damping-off*, de pré ou pós-emergência podem ocorrer, reduzindo o *stand* de germinação. Ocasionalmente também o tombamento da planta, impedindo a produção de vagens viáveis nos períodos de germinação, floração e pré-colheita (WENDLAND et al., 2018).

Os sintomas da doença começam quando as plântulas são contaminadas por sementes infectadas ou pelos microescleródios existentes no solo, sendo formadas lesões deprimidas, com margens bem definidas e que podem atacar toda estrutura do caule. O estresse hídrico favorece o desenvolvimento deste patógeno, assim como altas temperaturas e baixas umidades (VITERI & LINARES, 2017).

A plântula fica amarela e murcha, podendo romper-se na altura da lesão, onde em plantas já desenvolvidas, a doença progride lentamente, causando raquitismo, clorose e desfolhamento prematuro, especificamente do lado que está a lesão, na qual podem aparecer massas de escleródios, que são a estrutura de resistência de patógeno. O centro da lesão torna-se acinzentado, e posteriormente, surgem numerosos corpos frutíferos pretos, denominados picnídios. As vagens em contato com o solo contaminado são invadidas pelo fungo, infectando as sementes (WENDLAND et al., 2018).

2.3 Métodos de controle

O controle da *M. phaseolina* no feijão comum deve ter início no momento de planejamento e estabelecimento da cultura em campo, utilizando sempre sementes certificadas e sadias. Além disso, existem também várias estratégias e métodos que vêm sendo estudados e utilizados para o controle deste patógeno, como solarização, o tratamento de sementes com produtos químicos comerciais, rotação de cultura, controle biológico e o uso de cultivares resistentes (MOURA, 2019).

As estratégias básicas de controle de patógenos radiculares envolvem a interrupção de uma ou mais fases do desenvolvimento da doença (CORREIA; MICHEREFF, 2018). Isso pode ser alcançado por meio de medidas químicas, físicas, biológicas, culturais, fisiológicas e genéticas, como a utilização de adubação equilibrada, cultivares resistentes, fungicidas, rotação de culturas, tratamentos de sementes e sementes sadias (KATAN, 2017).

De acordo com Dhingra e Sincler (1978), o controle da podridão-cinzenta-do-caule pelo emprego de sementes sadias e o tratamento químico das mesmas, além de práticas culturais que resultam na redução do potencial de inóculo. São indicados para o controle da podridão-cinzenta-do-caule os fungicidas carboxina

+ tiram, fludioxonil e difenoconazol, visando a prevenção da doença ao realizar o plantio em áreas infestadas (AGROFIT, 2020).

Nos últimos anos, o uso indiscriminado de substâncias químicas para o controle deste e outros fitopatógenos, trazem impactos negativos para o meio ambiente e a saúde humana. Este problema tem motivado a busca por novas estratégias que permitam substituir ou minimizar o uso de produtos químicos nocivos na agricultura, e uma delas é a utilização de variedades resistentes (SMALLING et al., 2013). A rotação de culturas é uma medida incerta, pois *M. phaseolina* atinge tanto plantas de folhas largas como de estreitas, como soja, algodão, milho e sorgo, tendo em vista a ampla gama de hospedeiros deste patógeno (WENDLAND et al., 2018).

Em contrapartida a ausência de resistência a esta doença parece ser comum entre as leguminosas, como o feijão comum, o feijão-caupi e a soja, uma vez que *M. phaseolina* é conhecida como uma espécie generalista porque nenhum gene de resistência específico é relatado (LIMA et al., 2017). Ainda de acordo com Ambrósio et al. (2015), a *M. phaseolina* é considerada de difícil controle, devido à sua heterogeneidade de hospedeiros e à especificidade de estruturas de resistência que podem sobreviver por mais de dez anos sob condições de solo seco. A gravidade da doença está diretamente relacionada à população de escleródios viáveis no solo (AMBRÓSIO et al., 2015).

A identificação e caracterização da diversidade da população de *M. phaseolina*, visa o conhecimento adequado sobre a agressividade e comportamento do patógeno, assim como sua interação com o hospedeiro. Dessa forma, a contribuição com os programas de melhoramento de feijão comum para o desenvolvimento de cultivares com resistência estável e durável torna-se eficaz (VITERI & LINARES, 2017). Corroborando com isso, a utilização do melhoramento genético, através da seleção recorrente, tem demonstrado sucesso, na melhoria dos caracteres do feijão comum (RAMALHO et al., 2005).

2.4 Seleção recorrente fenotípica

Na seleção recorrente é necessário utilizar o maior número de genitores possível, reunindo assim um maior número de alelos favoráveis em uma linhagem de estudo. Por meio de sucessivos ciclos de seleção e recombinação, sendo mais conhecido por seleção recorrente fenotípica (RAMALHO et al.,

2012). A seleção recorrente permite o aumento gradual da frequência dos alelos favoráveis sem que reduza a variabilidade genética da população (REIS et al., 2014).

Quando a seleção é feita somente com base no fenótipo do indivíduo é denominada de seleção recorrente fenotípica e, neste caso, nenhuma informação genotípica é utilizada como critério de seleção (MORAIS JÚNIOR et al., 2017). Nesse método a população é avaliada e os melhores indivíduos são selecionados fenotipicamente. Para obter a população do segundo ciclo de seleção, são coletadas e agrupadas o mesmo número de sementes de todos os indivíduos selecionados. De acordo com Moraes Júnior et al. (2017), o procedimento é repetido até o objetivo ser atingido ou quando constatar que a seleção não está causando os efeitos desejados. A ideia principal da seleção recorrente fenotípica é melhorar a população como um todo, com a união dos fenótipos superiores através da seleção dos melhores indivíduos fenotipicamente (MORAIS JÚNIOR et al., 2017).

A seleção recorrente fenotípica teve origem na década de 40, no melhoramento do milho e, posteriormente, foi adotada também para culturas autógamas. Já em meados da década de 60 foi empregada no melhoramento da aveia (KHADR & FREY, 1965). Desde então, houve uma aceitação gradual do método no melhoramento de plantas autógamas e, recentemente, tem sido utilizada no melhoramento de diversas culturas, com êxito, por exemplo, em arroz (MORAIS JÚNIOR et al., 2017) e em feijão comum (ALVES et al., 2016).

De acordo com Ramalho et al. (2012), a seleção recorrente é um método de melhoramento baseado em três etapas: obtenção de progênies, avaliação e seleção de indivíduos, a partir de uma população base, e por fim, recombinação dos melhores indivíduos selecionados. Após esse processo, espera-se que a nova população formada ao final de cada ciclo apresente em relação à característica sob seleção, um desempenho médio superior à da população do ciclo anterior. A seleção recorrente é um método eficaz para o melhoramento, no que diz respeito aos caracteres quantitativos, em que permite utilizar vários genitores com alelos desejáveis diferentes em um processo contínuo e dinâmico, aumentando a frequência destes alelos a cada ciclo (BERNARDO, 2010).

Sabe-se que quanto maior a frequência de alelos desejáveis na população base, maior é a chance de obter plantas com fenótipos desejáveis (RAMALHO et al., 2012). Os principais pontos positivos da seleção recorrente são ampliar a

variabilidade genética, maior chance de recombinação genética existente e maior eficiência no acúmulo de alelos favoráveis. Além da possibilidade de inclusão de novas cultivares na recombinação, mesmo que o processo esteja em andamento e a obtenção de linhagens superiores em cada ciclo e facilidade de incorporação de germoplasma (NICOLI et al., 2017). Com isso, é necessário considerar também que os ciclos sucessivos de seleção recorrente com cruzamentos repetitivos possibilitem a quebra da ligação entre os blocos gênicos, permitindo assim, separar alelos com características desejáveis daqueles indesejáveis (BERNADO, 2010).

Na cultura do feijão comum, as principais estratégias de melhoramento adotadas são a introdução de linhagens superiores de outros programas ou outros países. A utilização da variabilidade natural em uso pelos agricultores, e a hibridação, permitem explorar a variabilidade genética dos genótipos. O melhoramento por hibridação começa com a escolha dos genitores para posteriores cruzamentos, seguido pelo avanço das populações segregantes até atingir a homozigose, seguidos de seleção e avaliação das linhagens (PEREIRA, 2021).

Em pesquisas realizadas por Amabile et al. (2018), na seleção recorrente é necessário considerar um grande número de genitores. Isso implicará em uma contribuição muito baixa dos alelos de cada parental e que a maioria será perdida com os ciclos seletivos. Dessa forma, o recomendado é utilizar de dez a vinte genitores para que a população base seja construída, onde os genitores selecionados devem apresentar uma média alta.

No caso do feijão comum, por ser uma espécie autógama, a hibridação é feita de forma artificial. O primeiro passo para realizar o cruzamento é a emasculação da flor que será utilizada como genitor feminino, sendo importante deixar claro que a emasculação deve ser realizada antes das anteras liberarem o pólen.

A seleção recorrente fenotípica é baseada apenas no fenótipo. Os indivíduos com genótipos não desejáveis podem ser selecionados, reduzindo a eficiência da seleção. Com isso, o tipo de seleção deve ser realizado apenas para caracteres de alta herdabilidade (RAMALHO et al., 2012). A contribuição com os programas de melhoramento do feijão comum para o desenvolvimento de cultivares com resistência estável e durável se torna bastante eficaz (VITERI & LINARES, 2017).

Em outro trabalho com linhagens resistentes ao vírus do mosaico comum no feijão comum (BCMV) e ferrugem, Garcia et al. (2003) avaliaram-se a taxa de sobrevivência e a produtividade de grãos das melhores linhagens advindas do terceiro, quarto, quinto e sexto ciclo de seleção recorrente. Esses autores, observaram o aumento progressivo de plantas sobreviventes à medida que avançaram os ciclos seletivos.

Alguns trabalhos também relatam que a seleção recorrente, baseada na avaliação de progênies e recombinação daquelas de maior potencial, tem obtido sucesso no melhoramento genético do feijão comum, em especial, para caracteres quantitativos. Em um trabalho com feijão, após dois ciclos de seleção recorrente, Menezes Júnior et al. (2013) estimaram progresso genético de 7,5% para produtividade de grãos, 7% para aspecto comercial de grão e 33,4% para resistência a doenças. Também com base na seleção recorrente, Anjos et al. (2018) relatam, em feijão carioca, ganho de 4,93% para arquitetura de plantas, utilizando como variável auxiliar a seleção indireta com base no diâmetro do hipocótilo.

Já para arquitetura de plantas em trabalhos com feijão comum, utilizando a seleção recorrente fenotípica, Cunha et al. (2005) estimaram um ganho genético de 9,09% para o caráter ao avaliar cinco gerações de progênies endogâmicas e Menezes Júnior et al. (2008) estimaram o progresso genético de três ciclos de seleção recorrente de feijão do tipo carioca. Esses autores, observaram um ganho de 5,11% para arquitetura de plantas. Anjos et al. (2018) relatam, em feijão carioca, ganho de 4,93% para arquitetura de plantas ao avaliar 20 populações segregantes em dois ciclos de seleção recorrente fenotípica, utilizando como variável auxiliar a seleção indireta com base no diâmetro do hipocótilo.

Dessa forma pode-se afirmar que o método de controle ideal para podridão-cinzenta-do-caule seria o uso de cultivares resistentes (ISHIKAWA et al., 2018). No entanto, pode-se afirmar que através das pesquisas que já foram realizadas ainda não há relatos sobre materiais resistentes a *M. phaseolina* e nem de programas de seleção recorrente na cultura do feijão comum visando a resistência a esse patógeno, por isso a importância deste trabalho, pois visa dar início a esse processo na cultura do feijão comum.

2.6 REFERÊNCIAS

AGROFIT – MAPA. **Consulta de produtos formulados**. 2020. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br>, Acesso em: 18 jun. 2021.

ALVES, N. E. G.; MEJÍA, E. G.; VASCONCELOS, C. M.; BASSINELLO, P. Z.; MARTINO, H. S. D. Postharvest storage of Carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) did not impair inhibition of inflammation in lipopolysaccharide-induced human THP-1 macrophage-like cells. **Journal of Functional Foods**, v. 23, p. 154-166, 2016.

AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, p. 100, 2018.

AMARO, G. B.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SILVA, F. B. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) whit carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaseoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**. v.30, p.584-588, 2007.

AMBRÓSIO, M. M. Q. DANTAS, A. C. A.; MARTÍNEZ-PEREZ, E.; MEDEIROS, A. C.; NUNES, G. H. S.; PICÓ, M. B. Screening a variable germplasm collection of *Cucumis melo* L. for seedling resistance to *Macrophomina phaseolina*. **Euphytica**, 206: 287-300, 2015.

ANJOS, R. S. R. POERSCH, N. L.; BATISTA, L. G.; MOURA, L. M.; CARNEIRO, J. E. S.; DIAS, L. A. S.; CARNEIRO, P. C. S. Selection for hypocotyl diameter results in genetic gain in common bean plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 417-425, 2018.

ATHAYDE SOBRINHO, C. **Principais doenças do feijão-caupi no Brasil**. ed.1, Teresina, PI: EMBRAPA, v. 1, cap. 3, p. 44-67, 2016.

BARILI, L. D.; VALE, L.D.; MOURA, L.M.; PAULA, R. G.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, J. E. S. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, p. 2-9, n.15, 2016.
BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. ed.2, Minnesota: Stemma, p. 400, 2010.

CANELE, M.C.; RIBEIRO, L.P.; CASTILHOS, R.V.; WORDELL FILHO, J.A. **Pragas e doenças do feijão: diagnose, danos e estratégias de manejo**. Florianópolis: Epagri, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Brasileira de Grãos (2020)**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: 12. jan. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Brasileira de Grãos (2022)**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: 12. dez. 2022.

- CORREIA, K. C.; MICHEREFF, S. J. **Fundamentos e desafios do manejo de doenças causadas por fungos radiculares**. Recife: EdUFPR, p. 1-16, 2018.
- COSER, S. M.; REDDY, R. V. C.; ZHANG, J.; MUELLER, D. S.; MENGISTU, A.; WISE, K. A.; ALLEN, T. W.; SINGH, A.; SINGH, A. K. Genetic architecture of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) resistance in soybean revealed using a diverse panel. **Front. Plant Sci.** 2017.
- CUNHA, W. G. da. **Seleção recorrente em feijão do tipo carioca para porte ereto**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, p. 130, 2005.
- CRUCIOL, G. C. D.; COSTA, M. L. N. Influência de metodologias de inoculação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de cultivares de soja. **Summa Phytopathol.** p.44, 2018.
- DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Biology and pathology of *Macrophomina phaseolina***. 166f. Monografia - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978. FAOSTAT (2017), **Colheitas (Crops)**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 15. jun. 2021.
- FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2021.
- FARR, D. F.; ROSSMAN, A. Y. (2022). **Fungal Databases. National Fungus Collections**, ARS, USDA: U.S, 2022.
- GARCIA, R. E.; ROBINSON, R. A.; AGUILAR, J. A. P.; SANDOVAL, S. S.; GUZMAN, R. P. Recurrent selection for quantitative resistance to soil borne diseases in beans in the Mixteca region, México. **Euphytica**, Wageningen, v. 130, n. 2, p. 241-247, 2003.
- GOMES, C.J.A. ***Macrophomina phaseolina* em soja, padrão de ocorrência, danos e aspectos físicos, químicos e biológicos do solo relacionados à doença** 2014. 39f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual do Norte do Paraná, 2014.
- GOMES-SILVA, F.; ALMEIDA, C.; SILVA, A.; LEÃO, M.; SILVA, K.; OLIVEIRA, L.; SILVA, M.; COSTA, A. F.; LIMA, V. Genetic diversity of isolates of *Macrophomina phaseolina* associated with cowpea from Brazil semi-arid region. **Journal of Agricultural Science**, 9: 112-116, 2017.
- ISHIKAWA, M.S.; RIBEIRO, N.R.; OLIVEIRA, E.C.; ALMEIDA, A.A.; BALBI-PEÑA, M.I. Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, v.43, n.4, p.38-44, 2018.
- KATAN, J. Diseases caused by soilborne pathogens: biology, management and challenges. **Journal of Plant Pathology**, v. 99, n. 2, p. 305-315, 2017.
- KHADR, F. H.; FREY, K. J. Effectiveness of recurrent selection in oat breeding (*Avena sativa* L.). **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 4, p. 349-354, July/Aug. 1965.

LIMA, L. R. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NORONHA, M. A.; SCHURT, D. A.; ROCHA, M. M. Diallel crosses for resistance to *Macrophomina phaseolina* and *Thanatephorus cucumeris* on cowpea. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v.16, n.3, p.1-11, 2017.

LINHARES, C. M. S.; FREITAS, F. C. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NUNES, G. H. S.; SILVA, K.S. Efeito de coberturas do solo sobre a podridão cinzenta do caule em *Vigna unguiculata*. **Summa Phytopathologica**, v.44, n.2, p.148-155, 2018.

MARQUEZ, N., GUIACHERO, M. L., DECLERK, S., DUCASSE, D. A. *Macrophomina phaseolina*: general characteristics of pathogenicity and methods of control. *Front. Plant Sci.* 22, 2021.

MEDEIROS, A.C.; MELO, D.R.M.; AMBRÓSIO, M.M.Q.; NUNES, G.H.S.; COSTA, J.M. Métodos de inoculação de *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* em meloeiro (*Cucumis melo*). **Summa Phytopathologica**, v.41, n.4, p.281-286, 2015.

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

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; REZENDE JÚNIOR, L. S.; ROCHA, G. S.; SILVA, V. M. P.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNAIRO, J. E. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, p. 41-48, 2013.

MEZIADI, C.; RICHARD, M. M.; DERQUENNES, A.; THAREAU, V.; BLANCHET, S.; GRATIAS, A.; GEFFORY, V. Development of molecular markers linked to disease resistance genes in common bean based on whole genome sequence. **Plant Science**, v.242, p.351- 357, 2016.

MORAES, E. S.; MENELAU, A. S. Análise do mercado de feijão comum. **Revista Política Agrícola**, ano XXVI, n. 1, p. 81-92, 2017.

MORAIS JÚNIOR, O. P. D.; MELO, P. G. S.; MORAIS, O. P. D.; COLOMBARI FILHO, J. M. Variabilidade genética durante quatro ciclos de seleção recorrente em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2017.

MOURA, I. N. B. M. **Incorporação de materiais vegetais associados à simulação da solarização e produtos comerciais na sobrevivência de *macrophomina phaseolina*, no crescimento do meloeiro e atributos do solo**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, p.22, 2019.

NEGREIROS, A. M. P. et al. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of phytopathology**, 167: 326-337, 2019.

NICOLI, C. F.; MONHOL, C.; JUNIOR, E. M.; FALQUETO, H. **AGRONOMIA: Colhendo as Safras do Conhecimento**. Porto Alegre: UFES, p.245, 2017.

OLIVEIRA, G. M. **As relações entre os agentes da cadeia produtiva do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e a inserção comercial da tecnologia da resistência ao mosaico dourado.** Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.

OLIVEIRA, L. G.; KETTNER, M. G.; LIMA, M. L. S.; ARÁUJO, E. R.; SILVA, A. R.; COSTA, A. F. Potencial de biocontrole de *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina* do Feijão-caupi. **Pesq. agropec.** Recife, n. 26, p. 2-4, 2021.

PÁDUA, P. F.; PEREIRA, R.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Efficiency of a recurrent selection method to achieve resistance of common beans to *Pseudocercospora griseola* in a short period, **Ciência e Agrotecnologia**, v.45, 2021.

PEREIRA, G. S. **Melhoramento de feijão vermelho por seleção recorrente na ufv: potencial de linhagens e famílias e progresso genético.** Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2021.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Obtenção de Cultivares. **Feijão: do plantio a colheita**, UFV, Viçosa, p. 384, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica** 144: 23-29, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Lavras: Ed. da UFLA, p. 522, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. **Melhoramento do feijão. Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, v.8, n.90, p.16-19, jun. 1982.

RAMOS, A. M. M.; GALLY, G.; SZAPIRO, T.; ITZCOVICH, M.; CARABAJAL, L.; LEVIN, Y. Crecimiento in vitro y producción de enzimas degradadoras de pared celular vegetal de aislamientos argentinos de *Macrophomina phaseolina*, agente causal de la podredumbre carbonosa en maíz. **Rev. Argent. Microbiol.** 48:267-273, 2016.

RAO, T. V.; RAJESWARI, B.; PRASAD, A. L.; KESHAYULU, K. Seed transmission studies on seedborne fungi of soybean. **International Journal of Scientific and Research Publications**, Paris, v.5, n.10, p.1-6, 2015.

REIS, E. M.; BOARETTO, C.; DANELLI, A. L. D. *Macrophomina phaseolina*: density and longevity of microsclerotia in soybean root tissues and free on the soil, and competitive saprophytic ability. **Summa Phytopathologica**, 40: 128-133, 2014.

SANTOS, M. P.; VALE, L. S. R.; REGES, N. P. R.; CARVALHO, B. M. Desempenho de sementes de quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na microrregião de Ceres – GO. Rio Verde: **Global and Science Technology**, v.08, n.03, p.41 – 49, 2015.

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

SMALLING, K. L.; K. M. KUIVILA, J. L.; ORLANDO, B. M.; PHILLI, B. S.; ANDERSON, K.; SIEGLER, J. W.; HUNT, M. H. Environmental fate of fungicides and other current-use pesticides in a central California estuary. **Mar. Pollut. Bull.** 73:144- 153, 2013.

SUN, S.; WANG, X.; ZHENDONG. Z. B., MEN, W. Occurrence of Charcoal Rot Caused by *Macrophomina phaseolina*, an Emerging Disease of Adzuki Bean in China. **Journal of phytopatology**, v. 164, n. 3, p. 212-216, 2016.

VITERI, D. M.; LINARES, A. M. Reaction of Phaseolus spp. genotypes to ashy stem blight caused by *Macrophomina phaseolina*. **Euphytica**, v. p. 213: 199, 2017.

WENDLAND, A.; JUNIOR LOBO, M.; FARIA, J. C. **Manual de identificação** das principais doenças, Brasília, DF: Embrapa, 2018.

3 AVALIAÇÃO DOS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS E DA EFICÁCIA DO MÉTODO DE INOCULAÇÃO COM ARROZ INFESTADO COM *Macrophomina phaseolina* EM LINHAGENS DE FEIJÃO COMUM¹

RESUMO

O feijão comum é uma leguminosa suscetível a diferentes doenças, tendo destaque para podridão-cinzenta-do-caule, considerada uma das doenças mais recorrentes nas regiões semiáridas do Brasil. Com isso o controle genético através da seleção de genótipos resistentes consiste como uma alternativa de controle eficaz, através de experimentação em campo em áreas com histórico da doença. Entretanto, os experimentos de campo podem mostrar resultados insatisfatórios. Para minimizar essa variabilidade, ensaios sob condições controladas em casa de vegetação e técnicas de inoculação natural, são os mais indicados, assim como saber em qual estágio fenológico da planta, pode-se realizar a inoculação. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foi verificar qual melhor estágio fenológico do feijão comum para realizar a inoculação e avaliar a eficácia do método de inoculação com arroz inoculado com *Macrophomina phaseolina*. O primeiro experimento foi conduzido para avaliação do melhor estágio fenológico para a inoculação com o fungo. O segundo experimento avaliou-se quarenta linhagens de feijão comum com o estágio fenológico selecionado no experimento anterior. Foram realizadas avaliações de altura da planta, tamanho da lesão, severidade da doença e diâmetro do colo, esse último foi apenas para o segundo experimento. Os resultados dos experimentos permitiram indicar linhagens com nível de resistência satisfatórios. O método de inoculação no estágio V0 do arroz inoculado com *M. phaseolina* mostrou-se eficaz quanto a avaliação da doença, permitindo distinguir as linhagens por meio das diferentes variáveis analisadas em resistentes/ tolerantes e suscetíveis. Os materiais que foram considerados promissores foram, BGF11, BGF16, BRSMG Supremo, BRS Timbó, BRS Valente, Pérola, BRS Vereda, BGF12, BGF4, BRS Embaixador, BRSMG Majestoso, BGF31, BRS Notável, BRS Pitanga, BGF2, BGF34, BRS Esteio, BRS Pontal, BGF37, BGF43, BRSMG Madrepérola, BGF27, BRS Cometa, BRSMG União e BGF20, por apresentarem níveis de tolerância e resistência altos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Podridão-cinzenta-do-caule. Resistência genética. Severidade. Escala de notas.

¹Trabalho a ser submetido

3.1 INTRODUÇÃO

A podridão-cinzenta-do-caule é favorecida pelas condições climáticas que estimulam seu desenvolvimento, como alta temperatura e baixa umidade (GOMES-SILVA et al., 2017; NEGREIROS et al., 2019). O patógeno pode infectar mais de 680 espécies de plantas, incluindo culturas de importância socioeconômicas, como feijão comum, feijão caupi, melão e soja, e possui ampla distribuição geográfica, sobrevivendo nas condições adversas devido à formação de estruturas de resistência denominadas microescleródios (LINHARES et al., 2018), podendo prejudicar desde raízes, folhas, vagens e até os frutos das culturas (ISHIKAWA et al., 2018; SALES JÚNIOR et al., 2020).

O desenvolvimento de genótipos resistentes a doenças de plantas exige seleção e técnicas confiáveis de avaliação da doença. A maioria dos estudos que avaliam genótipos visando resistência a *M. phaseolina* o fazem em experimentos de campo, infestado por inoculação artificial ou em áreas com histórico da doença, como em pesquisas realizadas por Librelon et al. (2019) e Pádua et al. (2021), porém com outro patossistema e modo de infecção diferente a *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun, que é um patógeno foliar. Entretanto, os experimentos de campo podem mostrar resultados insatisfatórios, uma vez que pode haver variações entre locais e entre safras. Para minimizar essa variabilidade, ensaios sob condições controladas em casa de vegetação e técnicas de inoculação natural são os mais indicados (ISHIKAWA et al., 2018).

O período em que é realizado a inoculação é bastante importante, uma vez que as plantas em estádios fenológicos mais avançados não apresentam sintomas referentes a doença avaliada, diferente dos estádios iniciais em que as plantas ainda estão se desenvolvendo e são mais frágeis. Corroborando com isso, avaliar o período de inoculação pode apresentar resultados diferentes para cada linhagem, e isso, pode influenciar diretamente na infecção e no desenvolvimento dos sintomas e sinais da doença. (SOUSA et al., 2008).

Além disso, avaliar os métodos de inoculação também é importante, pois permitem avaliar a resistência das doenças e possibilitam analisar a reação de linhagens quanto a severidade da doença (SILVA et al., 2016). Existem diversos métodos de inoculação para a avaliação da podridão-cinzenta-do-caule em diversas culturas, tais como infestação artificial do substrato de cultivo, método

do arroz colonizado, disco de micélio sobre haste cortada e método do palito colonizado (CRUCIOL & COSTA, 2018).

A inoculação natural, utilizando sementes de crotalária colonizadas com *M. phaseolina*, depositadas no solo, causou a podridão-cinzenta-do-caule em feijão caupi (LIMA et al., 2017). Ainda de acordo com Falcão et al. (2005) ao utilizarem grãos de arroz colonizados com *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii*, para contaminação no solo e, posteriormente, realizaram a semeadura da soja, que também apresentou os sintomas da doença. Corroborando com isso, Sousa (2016) avaliou métodos de inoculação natural em plantas de feijão fava observando que a inoculação com grão de arroz infestado, e disco de micélio foram eficientes na inoculação de *M. phaseolina*. O método de inoculação natural simula o que ocorre em campo, um exemplo é a infestação de substratos ou sementes contaminados com o patógeno de interesse (CLAUDINO, 2013).

Ferreira (2019) ao avaliar oito linhagens de feijão comum, observou que o método de inoculação de infestação com crotalária é bastante eficaz, pois permite distinguir as linhagens como resistentes ou suscetíveis. De acordo com Zanella et al. (2020), as plantas de feijão comum inoculadas artificialmente com *M. phaseolina* apresentaram redução de 60% no rendimento de grãos quando comparadas a plantas cultivadas em solos infestados de forma natural. Silva (2021) afirma que os métodos de inoculação que utilizam a infestação no solo, como o grão de arroz é mais fácil de executar e apresenta resultados semelhantes ao processo de infecção no solo.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram verificar qual melhor estágio fenológico do feijão comum para realizar a inoculação e avaliar a eficácia do método de inoculação com arroz inoculado com *M. phaseolina* na cultura do feijão comum.

3.2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos durante os anos de 2021 e 2022 em laboratório e casa de vegetação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus Ciências Agrárias, localizado em Petrolina – PE (9°19'11"S, 40°33'47"W, altitude de 400 m). O clima da região é classificado como Bsh, segundo a classificação de Köppen, o que caracteriza a região como

quente e semiárida, com temperatura média anual de 25,4° C e precipitação média anual de 480 mm.

3.2.1 Primeiro ensaio: avaliação do estágio fenológico para inoculação

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dez repetições e uma planta por parcela. Foi realizado em esquema fatorial 7x4, sendo utilizadas sete linhagens de feijão comum (BGF1, BGF2, BRSMG Supremo, BGF31, BRS Notável, BGF20 e BRS Pitanga provenientes do banco de germoplasma da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF), semeadas em bandejas plásticas com 50 células (28,5 x 8 cm), contendo substrato comercial em quatro estádios fenológicos (V0, V1, V2 e V3). Foi utilizado o método de inoculação com grãos de arroz e o isolado 80 de *M. phaseolina* da coleção de trabalho do Laboratório de Fitopatologia da UNIVASF.

As sementes das linhagens foram desinfetadas em hipoclorito de sódio (NaClO) a 1,5% por um minuto, álcool 70% por um minuto e lavadas em água destilada e secas à temperatura ambiente sob papel filtro, conforme metodologia adaptada por Michereff, Andrade e Sales Júnior (2008).

Para o preparo do método do solo infestado com inóculo produzido em grãos de arroz foi utilizada a metodologia descrita por Cruciol & Costa (2018). erlenmeyers de 200 mL, contendo 50 g de arroz parboilizado e umedecidos com 100 mL de água destilada por dez minutos. A água foi retirada e posteriormente foram esterilizados por autoclavagem, durante vinte minutos a 121 °C.

Após agitação e resfriamento, foram depositados vinte discos miceliais de 3 mm provenientes de culturas puras com o fungo *M. phaseolina* e incubados em BOD (demanda bioquímica de oxigênio) por um período de dez dias, a 28°C, sob fotoperíodo de 12 horas para a multiplicação do fungo. A fim de garantir uma colonização uniforme, os erlenmeyers foram agitados diariamente. Após a completa colonização, os grãos de arroz foram depositados no solo das bandejas a uma profundidade de um centímetro.

As avaliações foram realizadas após as inoculações dos quatro estádios, de acordo com Câmara e Heiffeig (2000). Avaliou-se a altura das plantas, tamanho das lesões e a severidade da doença por meio da escala de notas que variam de 0 para plantas resistentes e 5 para plantas suscetíveis, adaptada de Abawi e Pastor-Corrales (1990). A partir dos dados obtidos, foi possível observar

a ausência ou presença do patógeno *M. phaseolina* e o valor da severidade da doença em cada linhagem.

Com os resultados que foram obtidos nesse ensaio, foi realizado o segundo ensaio utilizando o melhor estágio fenológico para realizar a inoculação da *M. phaseolina*.

3.2.2 Segundo Ensaio: Avaliação da resistência de linhagens de feijão

O segundo ensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições, incluindo a testemunha, a qual não foi inoculada com *M. phaseolina*. Foram utilizadas quarenta linhagens de feijão comum, advindas do banco de germoplasma da UNIVASF (Tabela 1). A escolha foi feita de acordo com caracteres baseadas em trabalhos anteriores, como tempo de cocção adequado, resistência a algumas doenças, resistência à seca e produtividade (VIEIRA, 2018; SILVA, 2019; PIRES, 2019).

Tabela 1. Identificação das linhagens de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) utilizadas no segundo ensaio.

Identificação das linhagens	Tipo de Grão
Pérola	Carioca
BGF2	Preto
BGF16	Preto
BGF4	Rajado
BGF13	Carioca
BGF3	Preto
Alegria	Manteigão
BGF20	Carioca
BGF7	Mulatinho
BGF11	Manteigão
BGF22	Preto
BGF12	Roxo
BGF26	Carioca
BGF27	Rosinha
Jalo Precoce	Jalo
BGF1	Preto
BGF31	Preto
BGF6	Rosinha
BGF34	Mulatinho
BGF8	Bolinha

BGF35	Bolinha
BGF37	Rajado
BGF43	Preto
BRS Pontal	Carioca
BRS Notável	Carioca
BRSMG Supremo	Preto
BRS Esteio	Preto
BRSMG Madrepérola	Carioca
BRS Valente	Preto
BRSMG União	Jalo
BRS Timbó	Roxo
BRSMG Majestoso	Carioca
BRS Cometa	Carioca
BRS Embaixador	Vermelho escuro
BRS Ártico	Branco
BRS Radiante	Rajado
BRS Campeiro	Preto
BRS Antares	Rajado
BRS Vereda	Rosinha
BRS Pitanga	Roxo

O método de inoculação utilizado foi o do solo infestado com inóculo produzido em grãos de arroz (CRUCIOL; COSTA, 2018), realizado como descrito anteriormente. A inoculação foi realizada no estágio fenológico V0, junto com o plantio.

O procedimento de semeadura e desinfestação das sementes foi realizado conforme descrito anteriormente no primeiro ensaio. O substrato utilizado foi autoclavado duas vezes por uma hora, na proporção de 1:1 (solo e esterco bovino). Foram semeadas três sementes em vasos de 1L, e em cada cova foram colocadas com auxílio de uma pinça três grãos de arroz infestados com o fungo *M. phaseolina*. A testemunha BGF1 inoculada apenas com o grão de arroz autoclavado, sem a presença do fungo. As plantas foram irrigadas com uma lâmina d'água de 100 mL nos primeiros dias, logo após foi feita redução da irrigação afim de favorecer o desenvolvimento da doença.

As avaliações foram realizadas após a semeadura, sendo avaliado de acordo com Câmara e Heiffeig (2000) a altura das plantas, diâmetro do colo, tamanho da lesão e também a escala de notas (0-5), adaptada de Abawi e Pastor-Corrales (1990). A partir dos dados obtidos, foi feita a classificação média de cada cultivar, sendo expressa pela média aritmética das notas das plantas avaliadas, em que essa característica permite classificar os genótipos em três classes de reação à doença, sendo: 0 = resistência alta (RA); 1-3 = tolerante (T);

4-5 = suscetível (S). Em seguida foi medida a severidade da doença (SEV) de acordo com o índice de McKinney (1923).

Os dados dos experimentos foram submetidos a análise de variância e ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott, ($p \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo na interação das linhagens x estádios fenológicos na inoculação para as variáveis altura das plantas e tamanho da lesão.

A análise de variância das avaliações realizadas no primeiro ensaio encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de planta e tamanho da lesão em função das linhagens e dos estádios fenológicos do feijão comum. Petrolina (PE), 2022.

FV	QM Altura	QM Lesão
Linhagens	43,14*	24,61*
Estádios	47,63*	97,68*
Linhagens* Estádios	5,00*	24,62*

*Significativo a 5% de significância.

Ao comparar as sete linhagens de feijão-comum, foi observado que a altura das linhagens BRS Pitanga e BGF20 no estádio V0 apresentaram os valores menores quando comparadas com as demais linhagens. A variável altura das linhagens BRS Pitanga, BGF31, BGF1, BRS Notável, BGF2, BRSMG Supremo e BGF20 não foram influenciadas nos estádios V1, V2 e V3, em que as inoculações com arroz colonizado com *M. phaseolina* ocorreram quando as plantas já haviam germinado. Portanto, a inoculação no estádio V0, na qual a inoculação foi feita no plantio, diferiu dos demais estádios para todas as linhagens. Isso se deve ao fato das plantas nos estádios V1, V2 e V3 já estarem estabelecidas e com o sistema radicular mais desenvolvido (Tabela 3).

Tabela 3. Desdobramento da análise de variância da altura das plantas (cm) em função das linhagens e dos estádios fenológicos do feijão comum.

Linhagens	Estádios			
	V0	V1	V2	V3
	Altura (cm)			
Testemunha não inoculada BGF1	18,25 A a	17,06 A a	19,47 A a	18,10 A a
BRS Pitanga	1,80 D b	10,47 C a	12,51 C a	10,05 C a
BGF31	6,45 C b	16,61 B a	11,44 C a	11,22 C a
BGF1	9,20 B b	16,46 A a	18,72 A a	17,72 A a
BRS Notável	11,61 B b	13,22 B a	13,11 C a	12,68 C a
BGF2	13,13 A b	16,46 A a	16,11 B a	14,61 B a
BRSMG Supremo	10,50 A b	13,53 C a	12,33 C a	14,44 B a
BGF20	1,26 D b	10,83 C a	9,72 C a	8,94 C a
CV (%)	42,55	30,81	35,86	33,43

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Corroborando com isso, Pedroso et al. (2010), afirmam que o contato do patógeno com as sementes, pode comprometer o desenvolvimento das plântulas, proporcionando plantas menores e com a suscetibilidade maior, quando comparados com a inoculação feita após as plantas emergirem. Outra explicação seria porque existem diferenças nas avaliações de plantas que estão nos estádios iniciais para as plantas que se encontram nos estádios fenológicos finais. Isso ocorre devido à presença de condições favoráveis para o desenvolvimento da doença na fase em que o hospedeiro é mais suscetível, que seria na fase de inoculação junto com as sementes (PEREIRA, ABREU, NALIN, & SOUZA 2019), corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Ainda de acordo com Librelon et al (2019), a avaliação em diferentes estádios já foi realizada com outro patossistema, a *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun x feijão comum. No entanto é um patógeno foliar diferente da *M. phaseolina* que é um patógeno de solo. O uso dessa metodologia associada a avaliação por meio de escala de notas, podem trazer reduções no tempo para realização de um ciclo na seleção recorrente, além de aumentar o ganho genético (PEREIRA et al., 2019).

As testemunhas apresentaram altura superior quando comparadas com as plantas que foram inoculadas com método do arroz colonizado com *M. phaseolina*. Em pesquisas realizadas por Franco et al. (2009), é possível verificar esses mesmos resultados, onde ao avaliarem diferentes métodos de inoculação para analisar cultivares de soja com *Fusarium tucumaniae*, observaram que as testemunhas mostraram altura superior às plantas que foram inoculadas pelo

método de grãos de sorgo e aveia, indicando que a infecção por esse patógeno foi eficaz e provocou redução efetiva no desenvolvimento das plantas.

Souza et al. (2022), ao avaliarem a variável altura na cultura do feijão-caupi observaram que houve diferença significativa entre os métodos de inoculação avaliados. No método de inoculação do palito, a diferença média de altura foi de 0,995 cm, já para o método de haste cortada, a média foi de 2,135 cm. Dessa forma, eles concluíram que o método de inoculação do palito mostrou redução do crescimento das plantas inoculadas em mais de duas vezes quando comparado com o método da haste cortada. Resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo com relação a redução no crescimento das plantas que foram inoculadas.

Com relação às metodologias de inoculação, Miclorini et al. (2017), enaltecem a importância das pesquisas ligadas à obtenção de materiais genéticos resistentes que sejam eficazes e barato. Além disso, os métodos de inoculações devem garantir o aparecimento dos sintomas e desenvolvimento do patógeno.

Para o caractere tamanho de lesão não foi observado sintomas nos estádios V1, V2 e V3, no entanto, para o estágio V0, podemos observar diferenças estatísticas entre as linhagens (Tabela 4). As linhagens que apresentaram maiores lesões foram BGF1, BGF31 e BRS Pitanga no estágio V0, onde essa última teve seu crescimento reduzido devido a ação do patógeno, quando comparada com a testemunha e os demais tratamentos (Tabela 4). A inoculação do arroz com *M. phaseolina*, apresentou redução na altura das plantas, influenciadas pelas lesões causadas pela doença. (CRUCIOL & COSTA, 2018).

A *M. phaseolina* pode causar danos nas plantas de soja em vários estágios de desenvolvimento, e a depender de qual estágio a infecção venha a ocorrer, pode acarretar grandes prejuízos, principalmente nos estádios de floração (R1) e formação de vagem (R3) (CRUCIOL & COSTA, 2018). Este fato também é observado na cultura do feijão comum. Venturoso et al. (2015), também afirmam que diferentes meios de inoculação estão sendo utilizados para possibilitar a infecção de sementes de forma mais rápida. Isso é o que ocorre na inoculação feita no estágio V0, pois assim que as plantas germinam, é possível observar os sintomas da doença, simulando assim o que ocorre no campo.

Tabela 4. Comparação das médias do tamanho da lesão (cm) das linhagens avaliadas no estágio V0.

Estádio V0	
Linhagens	Lesão (cm)
Testemunha não inoculada BGF1	0,00 A
BRS Pitanga	1,84 C
BGF31	1,68 C
BGF1	2,10 D
BRS Notável	0,14 A
BGF2	0,07 A
BRSMG Supremo	0,02 A
BGF20	0,88 B
CV (%)	50,35

Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Apenas no estágio V0 houve a presença da doença, onde pode ser observado a comparação da severidade (Tabela 5). As linhagens que apresentaram maior severidade da doença foram BGF1, BRS Pitanga, BGF31 e BGF20. Nos outros estádios (V1, V2 e V3), não foi possível observar a presença da doença e, conseqüentemente, a severidade. Medeiros et al. (2015) afirmam que a infestação do solo com patógenos exigem maior tempo para o surgimento dos sintomas, pois o patógeno precisa se estabelecer no solo, e causar a infecção. No entanto, neste trabalho a inoculação com arroz infestado, que simula o que acontece em campo, demonstra sua efetividade, uma vez que as avaliações foram feitas até o momento de formação de vagens, em todos os estádios, mostrando que teve tempo suficiente para o surgimento da doença.

As avaliações nos estádios iniciais acabam selecionando um número maior de linhagens, e é considerado um método de seleção adequado, porque nos bancos de germoplasma existem muitos acessos que ainda não foram avaliados e caracterizados. Dessa forma, a triagem nas fases iniciais torna-se importante, pois agiliza o processo de seleção e, além disso, consegue-se usar uma quantidade menor de inóculo quando for fazer as inoculações e as posteriores avaliações (LIBRELON et al., 2015). A triagem, também conhecida como pré-seleção, tem o objetivo de descartar os genótipos mais suscetíveis nas fases iniciais da cultura e após uma avaliação criteriosa utilizando a escala de notas, é feita a avaliação em campo (LIBRELON et al., 2015).

Pereira et al. (2019) afirmam também que as avaliações a partir do estágio V3 são inviáveis, devido ao espaço físico limitado e a quantidade de inóculo do patógeno. Com isso, a avaliação nos estádios iniciais pode ser utilizada para realizar uma primeira triagem, ou seja, a pré-seleção dos materiais que venham apresentar caracteres adequados para os programas de melhoramento.

Ainda de acordo com Pádua et al. (2016), as avaliações nas fases precoces de plantas de feijão comum, tem sido uma proposta para avaliar simultaneamente um grande número de linhagens provenientes de bancos de germoplasmas. Neste caso, muitas linhagens são avaliadas nos estádios iniciais da cultura, e vêm mostrando resultados satisfatórios, diferentemente de quando se avalia dos estádios V3 em diante (LIBRELON et al., 2019).

Tabela 5. Avaliação da severidade de *Macrophomina phaseolina* em linhagens de feijão comum inoculadas no estágio V0.

Linhagens	Estádio	
	V0	SEV (%)
BRS Pitanga	Presença	90,0 c
BGF31	Presença	85,0 c
BGF1	Presença	100,0 c
BRS Notável	Presença	25,0 a
BGF2	Presença	15,0 a
BRSMG Supremo	Presença	10,0 a
BGF20	Presença	50,0 b
CV (%)		63,45

Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

No segundo ensaio, os resultados referentes à altura, diâmetro do colo e tamanho da lesão foram significativos estaticamente ($p \leq 0,05$), para as linhagens avaliadas. As linhagens BGF12, BGF4, BRS Embaixador, BRS Alegria, BRSMG Majestoso, BRS Vereda, Pérola, BRS Valente, BRS Timbó e BRSMG Supremo obtiveram as maiores médias para variável altura quando comparadas com a testemunha. Já as linhagens BGF35, BGF20, BGF7, BGF6 e BRSMG União, obtiveram crescimento menor (Figura 1). Isso pode ser explicado devido a ação do patógeno, que fez com que houvesse redução do crescimento dessas plantas. Corroborando com esses resultados Zanella et al. (2020), ao avaliarem linhagens de feijão comum inoculadas com *M. phaseolina*, observaram redução na taxa de crescimento, além de queda prematura das folhas e morte de algumas plantas.

Campeiro, BGF26, BGF13, BGF35, Jalo precoce, BGF1, BGF6, BGF8 e BGF3. As que foram classificadas com um nível de resistência alta ou tolerantes foram BGF11, BGF16, BRSMG Supremo, BRS Timbó, BRS Valente, Pérola, BRS Vereda, BGF12, BGF4, BRS Embaixador, BRSMG Majestoso, BGF31, BRS Notável, BRS Pitanga, BGF2, BGF34, BRS Esteio, BRS Pontal, BGF37, BGF43, BRSMG Madrepérola, BGF27, BRS Cometa, BRSMG União e BGF20. A partir desses resultados, é possível observar que a metodologia utilizando o método de inoculação de grãos de arroz com a presença da *M. phaseolina*, é eficiente e permite distinguir as linhagens quanto a reação a doença. Como afirmado por Silva (2021), os métodos de inoculação que utilizam a infestação no solo, como o grão de arroz são mais fáceis de executar e apresentam resultados semelhantes ao processo que ocorre em campo.

Tabela 6. Avaliação da severidade da podridão-cinzenta-do-caule em linhagens de feijão comum.

Linhagens	¹ Classe da doença	³ Lesão (cm)	⁴ Severidade (%)
	² Reação		
BGF35	S	1,85 d	53,33 d
BGF20	T	0,65 b	14,66 b
BGF7	S	1,91 d	48,00 c
BGF6	S	1,49 c	48,00 c
BRSMG União	T	1,11 c	24,00 b
BRS Cometa	T	1,13 c	28,00 b
BRS Campeiro	S	1,51 c	40,00 c
BGF22	S	1,13 c	30,66 c
BGF11	RA	0,75 b	5,33 a
BGF27	T	0,83 b	25,33 b
Jalo Precoce	S	1,43 c	33,33 c
BRS Ártico	S	1,90 c	48,00 c
BRSMG Madrepérola	T	0,66 b	13,33 b
BGF43	T	0,40 a	10,66 b
BGF37	T	0,79 b	20,00 b
BRS Pontal	T	0,67 b	20,00 b
BGF13	S	1,60 c	36,00 c
BGF26	S	2,10 d	46,66 c
BRS Esteio	T	0,89 b	16,00 b
BGF34	T	0,48 a	13,33 b
BGF2	T	0,35 a	17,33 b
BRS Pitanga	T	0,70 b	14,66 b
BGF3	S	1,32 c	32,00 c
BGF8	S	1,68 c	36,00 c
BGF1	S	1,71 c	30,55 c

BRS Notável	T	0,37 a	13,33 b
BGF16	RA	0,42 a	6,67 a
BGF31	T	0,99 b	20,00 b
BRS Antares	S	1,75 c	42,66 c
BRSMG Supremo	RA	0,20 a	8,00 a
BRS Timbó	RA	0,48 a	8,00 a
BRS Valente	RA	0,24 a	4,00 a
Pérola	RA	0,44 a	8,00 a
BRS Vereda	RA	0,00 a	0,00 a
BRSMG Majestoso	T	0,71 b	14,66 b
Alegria	S	1,87 c	34,66 c
BRS Embaixador	T	0,83 b	20,00 b
BGF4	RA	1,48 a	2,33 a
BGF12	RA	0,88 a	8,00 a
Testemunha não inoculada BGF1	RA	0,00 a	0,00 a
CV (%)		78,98	74,35

¹Classe de reação da doença conforme a escala de notas de 0 a 5. ²Reação da doença: Resistência alta (RA); Tolerante (T); Suscetível (S). ³Tamanho da lesão (cm). ⁴Severidade da doença, calculada pelo índice de McKinney (1923), com a utilização das frequências de classes da doença considerando a escala de notas. ⁴Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Zanella et al., (2020) também avaliaram a severidade da podridão-cinzenta-do-caule, através da inoculação de *M. phaseolina* no substrato, observaram que entre as cultivares de feijão comum utilizadas (ANFC-9 Agro Norte, BRS Esteio, BRS Estilo, BRS Pérola, FTS Soberano, IPR Campos Gerais, IPR Tangará, IPR Tuiuiú, IPR Uirapurú e TAA Dama) todas apresentaram suscetibilidade ao fungo *M. phaseolina* e tiveram perdas significativas em número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos por planta.

O método de inoculação torna-se uma estratégia essencial nas pesquisas referentes a resistência, principalmente quando se tem muitos genótipos a serem avaliados para seleção. Ao contrário de outros patógenos, para o fungo *M. phaseolina* existem vários trabalhos que avaliam os métodos de inoculação, porém ainda não existe um protocolo específico de inoculação (CRUCIOL & COSTA, 2018). Diante disso, os programas de melhoramento, para os procedimentos de avaliações que buscam materiais resistentes, requerem métodos de inoculação eficientes, que garanta segurança nos resultados, e possa saber distinguir os genótipos quanto a reação a doença (MEDEIROS et al., 2015). Nesse trabalho, o método de inoculação utilizando arroz colonizado

com *M. phaseolina* mostrou-se eficiente na identificação de genótipos resistentes, permitindo avaliar grandes números de genótipos simultaneamente.

3.4 CONCLUSÕES

O método de inoculação no estágio V0 do arroz inoculado com *M. phaseolina* mostrou-se eficaz quanto a avaliação da doença, permitindo distinguir as linhagens por meio das diferentes variáveis analisadas em resistentes/ tolerantes e suscetíveis.

Os materiais que foram considerados promissores foram, BGF11, BGF16, BRSMG Supremo, BRS Timbó, BRS Valente, Pérola, BRS Vereda, BGF12, BGF4, BRS Embaixador, BRSMG Majestoso, BGF31, BRS Notável, BRS Pitanga, BGF2, BGF34, BRS Esteio, BRS Pontal, BGF37, BGF43, BRSMG Madrepérola, BGF27, BRS Cometa, BRSMG União e BGF20, por apresentarem níveis de tolerância e resistência mais altos.

3.5 REFERÊNCIAS

ABAWI, G. S.; PASTOR-CORRALES, M. A. Root rots of bean in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies and management strategies. Bogotá: **Centro de Agricultura Tropical**, 1990.

BRASIL. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. – Brasília: Mapa/ACS, p.399, 2009.

CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. **Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja**. Piracicaba: ESALQ/LPV, p.81-120, 2000.

CLAUDINO, M.R. **Métodos de inoculação de *Macrophomina phaseolina* em mamoeiro visando à seleção de genótipos resistentes**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) -Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, p. 29, 2013.

CRUCIOL, G. C. D.; COSTA, M. L. N. Influência de metodologias de inoculação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de cultivares de soja. **Summa Phytopathologica**, v.44, n.1, p.32-37, 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FERREIRA, L. U. **Avaliação e qualificação de métodos de inoculação artificial de *Sclerotinia sclerotiorum* em feijoeiro comum visando a**

seleção de genótipos resistentes. In: Resistência do feijoeiro comum ao mofo branco: comparação de métodos de inoculação e seleção de populações e linhagens resistentes. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal do Goiás, Goiânia, Goiás, 2013.

FRANCO, H.B.J.; CENTURION, M.A.P.C.; BARBOSA, J.C. Estudo de métodos de inoculação para avaliação de cultivares de soja a *Fusarium tucumaniae* **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.1, p.32-38, 2009.

GAVA, F. **Relação entre a população de plantas e a intensidade de doenças da haste e do sistema radicular em soja.** Dissertação (Mestrado em programa de pós-graduação em ciências agrárias) -Centro de Ciências Agro veterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, p. 70, 2007).

GOMES-SILVA, F.; ALMEIDA, C. M. A.; SILVA, A. G.; LEÃO, M. P. C.; SILVA, K. P.; OLIVEIRA, L. G.; SILVA, M. V.; COSTA, A. F.; LIMA, V. L. M. Genetic diversity of isolates of *Macrophomina phaseolina* associated with cowpea from Brazil semi-arid region. **Journal of Agricultural Science**, Ottawa, v. 9, n. 11, p. 112-116, 2017.

ISHIKAWA, M. S; RIBEIRO, N. R; OLIVEIRA, E. C; ALMEIDA, A. A; BALBI-PEÑA, Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.44, n.1, p.38-44, 2018.

KLINGELFUSS, L.H.; YORINORI, J.T.; DESTRO, D. Métodos de inoculação para quantificação de resistência em soja a *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, em casa-de-vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.50-55, 2007.

LIBRELON, S. S.; SOUZA, E. A.; PEREIRA, R.; POZZA, E. A.; ABREU, A. F. B. Diagrammatic scale to evaluate angular leaf spot severity in primary leaves of common bean. **Australasian Plant Pathology**, v.44, p.385-395, 2015.

LIBRELON, S. S, PÁDUA, P. F. D, ABREU, Â. D. F. B, RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. D. Increasing the efficiency of recurrent selection for angular leaf spot resistance in common bean. **Crop Science**, p.1–8, 2019.

LINHARES, C. M. S.; FREITAS, F. C. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NUNES, G. H. S.; SILVA, K.S. Efeito de coberturas do solo sobre a podridão cinzenta do caule em *Vigna unguiculata*. **Summa Phytopathologica**, v.44, n.2, p.148-155, 2018.

LIMA, L. R. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NORONHA, M. A.; SCHURT, D. A.; ROCHA, M. M. Diallel crosses for resistance to *Macrophomina phaseolina* and *Thanatephorus cucumeris* on cowpea. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v.16, n.3, p.1-11, 2017.

McKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 5, p.195-218, 1923.

- MEDEIROS, A.C.; MELO, D.R.M.; AMBRÓSIO, M.M.Q.; NUNES, G.H.S.; COSTA, J.M. Métodos de inoculação de *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* em meloeiro (*Cucumis melo*). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.41, n.4, p.281-286, 2015.
- MICHEREFF, S. J; ANDRADE, D. E; SALES JÚNIOR, R. Reação de genótipos de melão a *Rhizoctonia solani* **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, pág. 401-404, 2008.
- MICLIORINI, P.; DORNELES, K. R.; RODRIGUES, G. F.; PAULA, G.; TUNES, L. V. M. Métodos de inoculação de *Colletotrichum lindemuthianum* em sementes de feijão e danos em plântulas. **Biotemas**, v. 30, p. 37-43, 2017.
- NEGREIROS, A. M. P.; JUNIOR SALES, R.; MELO, N. J. A.; MICHEREFF, S. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; MEDEIROS, H. L. S.; ARMENGOL, J. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of phytopathology**, 167: 326-337, 2019.
- NORONHA, M.A.; SILVA, K.J.D.; GONÇALVES, S.R.; LIMA, L.R.L. **Avaliação da resistência de genótipos de feijão-caupi a *Macrophomina phaseolina*** Aracaju: Embrapa, 2012.
- PÁDUA, P. F.; BARCELOS, Q. L.; SOUZA, E. A.; ABREU, A. F. B. Identification of common bean resistant sources to angular leaf spot disease in a Brazilian germplasm collection. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v.59, p.115-116, 2016.
- PEDROSO, D. C.; MENEZES, V. O.; MUNIZ, M. F. B.; PIVETA, G., TUNES, L. V. M.; MULLER, J.; MENEZES, N. L. de. Métodos de inoculação de *Alternaria alternata* e *A. dauci* em sementes de salsa e sua influência na qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n. 3, p. 79-85, 2010.
- PEREIRA, R.; ABREU, M. J.; SOUZA, E. A. Alternative method to assess the reaction of common bean lines to *Pseudocercospora griseola*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, 54, 104–105, 2011.
- PEREIRA, R.; ABREU, A. B. F.; NALIN, R. S.; SOUZA, E. A. Phenotyping for angular leaf spot severity and its implication in breeding common bean for resistance. **Scientia Agricola**, v.76, p.415–423, 2019.
- PIRES, B. P.C. **Avaliação de linhagens de feijoeiro comum sob estresse térmico nas condições do vale do submédio do São Francisco**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, p. 37, 2019.
- SALES JÚNIOR, R.; NETO, A. N. S.; NEGREIROS, A. M.; GOMES, T. R. R.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; ARMENGOL, J. Pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in cowpea. **Revista Caatinga**, 33: 395-401, 2020.
- SILVA, A. G. F. **Avaliação de linhagens de feijoeiro comum quanto à capacidade de cozimento dos grãos**. TCC (Graduação) Curso de Engenharia

Agronômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, p. 43, 2019.

SILVA, J.A. ***Macrophomina phaseolina* em feijão-caupi: agressividade de isolados, métodos de inoculação e reação de germoplasmas tradicionais.** 2021. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2021.

SILVA, R. N. O.; MIGLIORINI, P.; JUNGES, E.; NUNES, A. F.; TUNES, L. V. M. Métodos de inoculação de *Rhizoctonia bataticola* (taub.) (*Macrophomina phaseolina* (tassi) goid) em sementes de feijão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 07, 15 nov. 2016.

SOUSA, M. V.; MACHADO, J. C.; PFENNING, L. H.; KAWASAKI, V. H.; ARAÚJO, D. V.; SILVA, A. A.; MARTINI NETO, A. Métodos de inoculação e efeitos de *Fusarium oxysporum* sp. *vasinfectum* em sementes de algodoeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 41-48, 2008.

SOUZA, N. S. ***Macrophomina phaseolina*. *Fusarium falciforme* e representantes do complexo *Colletotrichum gloeosporioides*: novos agentes etiológicos em feijão-fava.** Dissertação (mestrado) Programa de pós-graduação em agronomia, produção vegetal. Universidade Estadual do Piauí. Teresina. 2016.

SOUZA, M. S.; SILVA, L. A. B.; PINTO, A. C.; BOREL, J. B.; CAPUCHO, A. S.; ISHIKAWA, F. H. Inoculation methods and aggressiveness of *Macrophomina phaseolina* isolates in cowpea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.52, n.6, 2022.

VENTUROSOS, L.R.; BACCHI, L.M.A; GAVASSONI, W.L; VENTUROSOS, L.A.C.; PONTIM, B.C.A; REIS, G.F. Inoculação de *Sclerotinia sclerotiorum* em sementes de oleaginosas: transmissão e seus efeitos sobre a emergência de plantas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p.788-793, 2015.

VIEIRA, S.L. **Avaliação do desempenho agrônomo de linhagens de feijoeiro comum com grãos especiais nas condições do vale do submédio do São Francisco.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, p. 22, 2018.

ZANELLA, E. J.; BERGHETTI, J.; SCHEIDT, B. T.; CASA, R. T.; BOGO, A.; GONÇALVES, M. J.; BERGHETTI, J.; MARTINS, F. G. Charcoal rot severity and yield components of common bean cultivars inoculated with *Macrophomina phaseolina*. **Summa Phytopathologica**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 299-304, 2020.

4 REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO COMUM À PODRIDÃO-CINZENTA-DO-CAULE PARA OBTENÇÃO DA POPULAÇÃO BASE VISANDO A SELEÇÃO RECORRENTE¹

RESUMO

A podridão-cinzenta-do-caule está entre as doenças mais relevantes da cultura do feijão comum no semiárido. O método de controle mais eficiente é a utilização de cultivares resistentes, no entanto, há escassez de fontes de resistência para essa doença. Devido a isso, foi proposta a seleção recorrente como uma alternativa, visando a resistência a podridão-cinzenta-do-caule. O objetivo deste trabalho foi identificar genótipos com tolerância ou resistência e produtividade significativa para formar a população base, visando os futuros cruzamentos. Vinte e quatro linhagens de feijão comum foram avaliadas para os parâmetros de produtividade e severidade da doença em campo sob infestação natural. A partir dessas foram selecionadas 15 linhagens que foram avaliadas em telado pelo método de inoculação de arroz infestado com *M. phaseolina*. Foram analisadas altura das plantas, número de folhas, diâmetro do colo, tamanho da lesão e severidade da doença. No experimento em campo as linhagens que se mostraram tolerantes a doença, apresentaram produtividade significativamente superior quando comparadas com as demais, suscetíveis à doença. Com relação a suscetibilidade, a linhagem BGF1 mostrou-se altamente suscetível, chegando a 82,65% de severidade, e baixa produtividade. A maioria das linhagens apresentaram a mesma reação nos dois experimentos. A partir das linhagens avaliadas em campo e casa de vegetação foi possível identificar cinco linhagens promissoras, que serão utilizadas nos cruzamentos com intuito de iniciar um programa de seleção recorrente, sendo elas: BRSMG Supremo, BRS Campeiro, BRS Notável, BGF13 e BGF2, que aliam alta produtividade e resistência.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Seleção de linhagens. Severidade. Inoculação.

¹Trabalho a ser submetido

4.1 INTRODUÇÃO

A podridão-cinzenta-do-caule está entre as doenças mais relevantes da cultura do feijão comum em regiões semiáridas. Causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. devido as condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento deste fungo, esta doença tem se tornado muito importante na região Nordeste do Brasil (GOMES SILVA et al., 2017; NEGREIROS et al., 2019). Esta doença tem destaque no Submédio do Vale do São Francisco, devido as altas temperaturas e baixa umidade presentes nesta área, e por ser um risco potencial para a região.

A *M. phaseolina* é um fungo polífago habitante do solo com ampla distribuição mundial afetando mais de 800 espécies hospedeiras. Dentre esses hospedeiros estão espécies cultivadas economicamente importantes como algodão (*Gossypium herbaceum* L.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), melancia [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai], melão (*Cucumis melo* L.) soja [*Glycine max* (L) Merrill] e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (SALES JÚNIOR et al., 2020; LODHA; MAWAR, 2020; FARR; ROSSMAN, 2022).

A variabilidade do patógeno, quanto à patogenicidade e agressividade, é crítica uma vez que *M. phaseolina* devido a ampla gama de espécies hospedeiras, indicando a dificuldade em obter materiais resistentes (ZANELLA et al., 2020). O método de controle mais econômico e sustentável para esta doença é o uso de cultivares resistentes. No entanto, fontes de resistência são escassas devido a variabilidade patogênica e ao que tudo indica vários genes governam essa característica (COSER et al., 2017; ISHIKAWA et al., 2018; NAY et al., 2019). Portanto, a seleção recorrente surge como uma alternativa viável para os programas de melhoramento visando resistência. A seleção recorrente aumenta de forma gradativa a frequência de alelos favoráveis na população, sendo um processo cíclico que envolve a obtenção de progênies, avaliação e cruzamento da população base selecionada (BERNARDO, 2010).

Para a resistência do feijão comum à podridão-cinzenta-do-caule, ainda não existe um programa de melhoramento que utiliza a seleção recorrente. Contudo, o programa de seleção recorrente em feijão comum, visando o desenvolvimento de plantas resistentes à mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*) vem sendo conduzido (LEMOS et al., 2020; LIBRELON et al., 2020).

Esse programa, conduzido pela Universidade Federal de Lavras e Embrapa desde 1988 tem obtido ganhos genéticos significativos ao longo dos anos e as progênies continuam exibindo variabilidade genética, o que justifica sua continuidade (REZENDE et al., 2014; NAY et al., 2019).

Durante os experimentos, a avaliação das progênies é realizada na estação seca conforme a incidência natural da mancha angular no campo. Isso permite apenas um ciclo de seleção recorrente a cada ano, e também uma formação de população base de qualidade conhecida (AMARO et al., 2007; NAY et al., 2019). Nesse sentido, Librelon et al. (2020) sugerem que a inoculação artificial de *P. griseola* em casa de vegetação pode trazer um ganho genético no programa de seleção recorrente.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar e selecionar genitores com resistência e produtividade para compor a população base de um programa de seleção recorrente para podridão-cinzenta-do-caule (*M. phaseolina*) na cultura do feijão comum.

4.2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no período setembro de 2021 a junho de 2022 em campo experimental do setor de Grandes Culturas e Melhoramento (campo), e em telado da Universidade Federal do Vale do São Francisco, no Campus Ciências Agrárias-CCA-Petrolina- PE, (latitude de 09 ° 19' 16" sul; longitude 40° 33' 43" oeste e altitude de 373 m).

As sementes das linhagens utilizadas para formação da população base para a seleção recorrente do feijoeiro comum a podridão-seca-do-caule nos experimentos foram obtidas do banco de germoplasma da UNIVASF.

4.2.1 Experimento 1: Avaliação sob infecção natural

No primeiro experimento foram avaliadas a reação de 24 linhagens de feijão comum (Tabela 1) à podridão-cinzenta-do-caule durante um ciclo de produção, sob infecção natural em campo experimental com histórico da doença nos meses de setembro a dezembro de 2021. As linhagens que apresentaram maior resistência ou tolerância à doença e produtividade significativa de acordo com os resultados foram utilizadas no experimento 2.

Tabela 1. Identificação das linhagens de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas no experimento 1.

Identificação das linhagens	Tipo de Grão
BGF2	Preto
BGF4	Rajado
BGF13	Carioca
BGF3	Preto
BGF20	Carioca
BGF7	Mulatinho
BGF12	Roxo
BGF26	Carioca
Jalo Precoce	Jalo
BGF1	Preto
BGF31	Preto
BGF6	Rosinha
BGF41	Carioca
BGF43	Preto
BRS Pontal	Carioca
BRS Notável	Carioca
BRSMG Supremo	Preto
BRS Esteio	Preto
BRSMG Madrepérola	Carioca
BRS Timbó	Roxo
BRS Cometa	Carioca
BRS Radiante	Rajado
BRS Campeiro	Preto
BRS Pitanga	Roxo

Os caracteres avaliados foram: A severidade da doença foi avaliada uma vez ao final do ciclo da cultura, utilizando-se a escala de notas CIAT (SCHOONHOVEN; PASTOR-CORRALES, 1987) adaptada, onde as plantas que obtiveram notas de 1 a 3 foram consideradas tolerantes e aquelas com nota superior a 3 foram consideradas suscetíveis e a produtividade (kg ha^{-1}).

O delineamento utilizado experimento foi o de blocos ao acaso, com 10 repetições. A parcela foi composta por uma linha de 2,0 m com densidade de plantio de dez plantas por metro linear e espaçamento entre parcelas de 0,5 m. A irrigação foi realizada pelo sistema de aspersão convencional durante a fase inicial da cultura. A partir do estágio V3 do feijoeiro, a lâmina de irrigação foi reduzida, com o intuito de favorecer o desenvolvimento da doença.

4.2.2 Experimento 2: Avaliação da resistência sob inoculação artificial

A partir dos resultados obtidos no Experimento 1 foram selecionadas 15 linhagens com base na reação à *M. phaseolina*.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 10 repetições contendo uma semente por célula da bandeja e 15 linhagens de feijão comum, incluindo a testemunha, que foi a linhagem BGF1 não inoculada.

Para o preparo do inóculo de *M. phaseolina* foram utilizados Erlenmeyers com arroz sem casca, previamente umedecidos com água destilada (100 mL de água/ 50 g de arroz parboilizado) durante dez minutos, logo após a água foi retirada e posteriormente esterilizado em autoclave por vinte minutos a 120 °C.

Após o resfriamento do arroz, foram adicionados 20 discos miceliais de 3 mm de diâmetro provenientes de culturas puras do isolado 80 do fungo, advindos da coleção de trabalho do Laboratório de Fitopatologia da UNIVASF e incubados em BOD (demanda bioquímica de oxigênio) por um período de dez dias, a 28°C e fotoperíodo de 12 horas. Após a adição dos discos sobre o arroz, os frascos foram agitados diariamente, uma vez ao dia, visando obter uma colonização e homogeneização mais rápida e uniforme.

As sementes das linhagens foram desinfestadas em hipoclorito de sódio (NaClO) a 1,5% por um minuto, álcool 70% por um minuto e lavadas em água destilada e secas à temperatura ambiente sob papel filtro, conforme metodologia adaptada por Michereff, Andrade e Sales Júnior (2008).

A semeadura e a inoculação foram realizadas simultaneamente em bandejas de 50 células (28,5 x 8,0 cm), contendo substrato comercial, com a deposição de uma semente e três grãos de arroz colonizados pelo fungo por célula nas bandejas a uma profundidade de 1,0 cm (CRUCIOL & COSTA, 2018). O tratamento controle foi a linhagem BGF1, por apresentar alta suscetibilidade a podridão cinzenta do caule, utilizando três grãos de arroz esterilizado sem o fungo em cada célula. As plantas foram acondicionadas em um telado com sombrite de 50%, colocadas sobre bancadas e irrigadas diariamente, de forma reduzida, com o intuito de favorecer o desenvolvimento da doença.

As avaliações foram realizadas dez dias após a inoculação de acordo com Câmara e Heiffeig (2000) com adaptações. As variáveis avaliadas foram: altura das plantas, diâmetro do colo, número de folhas, tamanho da lesão e a severidade da doença. Para essa última variável foi utilizada, escala de notas de

0 para plantas resistentes e 5 para plantas suscetíveis, adaptada de Abawi e Pastor-Corrales (1990), onde: 0 - são plantas sem manifestação dos sintomas; 1 - plantas com sintomas nos tecidos cotiledonares; 2 - plantas com lesões radiculares; 3 - plantas com sintomas no colo da planta; 4 - plantas com a presença da estrutura de resistência em todo caule da planta (microescleródios) e 5 - plantas que morreram devido a ação da *M. phaseolina*.

A partir dos dados obtidos, foi estimado a reação média de cada linhagem, expressa pela média aritmética das notas das plantas avaliadas. De acordo com os resultados, as linhagens foram agrupadas em três classes de reação à doença, sendo: 0 -resistência alta (RA); 1-3 = tolerante (T); 4-5 = suscetível (S). Logo após as avaliações, foi calculada a severidade da doença (SEV) de acordo com o índice de McKinney (1923), de acordo com a expressão:

$$SEV = \frac{(\text{grau da escala} * \text{frequência}) * 100}{(\text{n}^\circ \text{ total de unidades} * \text{grau máximo da escala})}$$

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, e as médias agrupadas pelo teste de Scott- Knott ($P \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

4.3 RESULTADOS

No experimento 1, os resultados referentes a produtividade e severidade da doença foram significativos estaticamente ($p \leq 0,05$) para as linhagens avaliadas em campo (Tabela 2).

As linhagens que se mostraram tolerantes a doença, apresentaram produtividade significativamente superior quando comparadas com as demais (Tabela 2). A linhagem BGF1 apresentou alta suscetibilidade chegando a 82,65% de severidade e conseqüentemente, apresentou baixa produtividade.

Tabela 2. Médias das vinte e quatro linhagens de feijão comum para os parâmetros de produtividade, severidade e reação à podridão-cinza-do-caule.

Linhagens	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Severidade (%)	Reação a doença
BGF1	147,29 d*	82,65 c	Suscetível
BRS Timbó	239,27 d	76,40 b	Suscetível
BGF26	274,16 d	74,40 b	Suscetível
BRS Pitanga	307,82 d	71,30 b	Suscetível
BGF43	337,73 c	74,65 b	Suscetível
BRS Cometa	358,25 c	71,38 b	Suscetível
BRS Radiante	379,44 c	75,81 b	Suscetível
BRSMG Madrepérola	395,64 c	74,20 b	Suscetível
BRS Pontal	438,82 c	70,65 b	Suscetível
BGF3	468,49 c	72,35 b	Suscetível
BGF41	509,44 b	75,05 b	Suscetível
Jalo Precoce	516,91 b	74,85 b	Suscetível
BGF31	535,51 b	72,30 b	Suscetível
BRS Esteio	557,89 b	70,58 b	Suscetível
BGF 23	572,46 b	75,65 b	Suscetível
BGF12	595,69 b	70,60 b	Suscetível
BGF7	725,56 a	51,33 a	Tolerante
BRSMG Supremo	731,03 a	50,35 a	Tolerante
BGF4	743,44 a	56,38 a	Tolerante
BRS Notável	871,52 a	58,35 a	Tolerante
BRS Campeiro	876,50 a	52,33 a	Tolerante
BGF20	907,86 a	54,55 a	Tolerante
BGF13	937,32 a	51,56 a	Tolerante
BGF2	1025,85 a	50,45 a	Tolerante
CV (%)	62,42	75,88	

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A alta severidade da doença observada no campo se deve a alta infestação e as temperaturas elevadas apresentadas nos meses de maio a dezembro, favorável ao desenvolvimento do patógeno (Tabela 3).

Tabela 3. Histórico de temperaturas ocorridas de setembro a novembro de 2021 em Petrolina-PE. Fonte: © WeatherSpark.com.

Dados climatológicos	Meses de 2021			
	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.1	27.7	28.4	28.2
Temperatura mínima (°C)	20.3	21.8	22.9	23.5
Temperatura máxima (°C)	34.4	34.9	35.5	35.7
Umidade relativa (%)	42%	43%	42%	40%

Das linhagens avaliadas em campo, foram selecionadas quinze, que apresentaram maiores produtividades e/ou maior tolerância à doença que foram avaliadas no experimento 2, pelo método de inoculação artificial, visando uma maior confirmação dos resultados para a obtenção da população base para a seleção recorrente.

Tabela 4. Médias do número de folhas e diâmetro do colo (mm) das quinze linhagens de feijão comum inoculadas com *Macrophomina phaseolina*.

Linhagens	Nº de Folhas	Diâmetro (mm)
BGF1	1,33 c	4,91 c
BGF7	5,11 c	10,62 b
BRSMG Madrepérola	4,88 c	11,75 b
BGF2	17,77 b	14,60 b
BGF6	15,33 b	12,66 b
BGF20	20,00 b	17,57 a
BGF26	17,77 b	11,78 b
BGF13	20,66 b	13,40 b
BRS Esteio	22,00 b	18,12 a
BGF31	22,22 b	16,46 a
BRS Notável	26,44 a	18,78 a
BRS Pitanga	26,66 a	18,63 a
BRS Timbó	26,66 a	20,12 a
BRS Campeiro	28,00 a	20,27 a
BRSMG Supremo	29,77 a	22,45 a
BGF1 (Controle não inoculado)	31,60 a	23,88 a
CV (%)	50,85	38,49

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Ao comparar as linhagens avaliadas em campo e em telado, é possível observar que houve semelhança quanto ao nível de resistência e suscetibilidade, entretanto, houve divergências entre as linhagens BGF20 e BGF7, onde em campo foram tolerantes e em casa de vegetação foram suscetíveis.

Na Tabela 4, é possível observar as variáveis número de folhas e diâmetro do colo. As linhagens que apresentaram menor número de folhas, foram BGF1, BGF7 e BRSMG Madrepérola. Essas linhagens também apresentaram menor altura da planta e maior lesão (Figura 1). Os caracteres avaliados altura da planta e tamanho da lesão causada pela podridão-cinzenta-do-caule, mostraram diferença significativa ao comparar a testemunha BGF1 com os demais tratamentos.

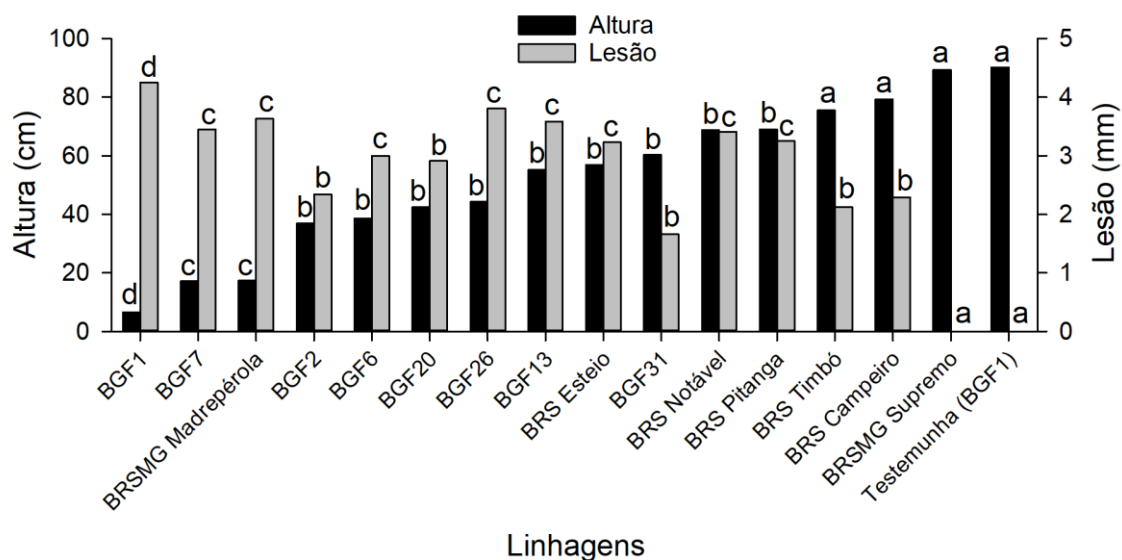


Figura 1. Altura de plantas (cm) e comprimento da lesão (cm) causada por *Macrophomina phaseolina* em linhagens de feijão comum. Barras de mesma cor com mesma letra dentro de cada variável não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

As linhagens BRSMG Supremo, BRS Campeiro e BRS Timbó não apresentaram redução no crescimento quando comparadas com as demais. Tendo destaque para linhagem BRSMG Supremo que além de não ter sido influenciada em seu desenvolvimento, também não apresentou lesões da doença. Com relação à redução na altura e lesões de ampla magnitude devido a ação do patógeno, podemos destacar as linhagens BGF1, BGF7, BRSMG Madrepérola, BGF6, BGF26, BGF13, BRS Esteio, BRS Notável e BRS Pitanga.

Quanto a variável severidade, apenas a linhagem BRSMG Supremo foi considerada altamente resistente sob inoculação artificial (experimento 2), pois não apresentou nenhum sintoma característico da podridão-cinzenta-do-caule. As linhagens BGF2, BGF13, BRS Notável e BRS Campeiro, foram classificadas como tolerantes, sendo classificadas como promissoras também (Tabela 5). As demais linhagens, foram classificadas como suscetíveis.

Tabela 5. Avaliação da severidade a podridão-cinzenta-do-caule em linhagens de feijão comum inoculadas artificialmente com *Macrophomina phaseolina*.

Linhagens	¹ Classe da doença	Severidade (%)
	Reação ²	
BGF1	S	60,50 c ³
BGF7	S	53,75 c
BRSMG Madrepérola	S	53,50 c
BGF2	T	25,50 b
BGF6	S	47,00 c
BGF20	S	43,00 c
BGF26	S	42,50 c
BGF13	T	22,00 b
BRS Esteio	S	44,50 c
BGF31	S	46,50 c
BRS Notável	T	18,50 b
BRS Pitanga	S	35,00 c
BRS Timbó	S	33,50 c
BRS Campeiro	T	15,50 b
BRSMG Supremo	RA	0,00 a
Testemunha não inoculada(BGF1)	RA	0,00 a
CV (%)		85,28

¹Classe de reação da doença conforme escala de notas de 0 a 5. ²Reação da doença: resistência alta (RA); tolerante (T); suscetível (S), de acordo com McKinney (1923). ³Médias seguidas pela mesma letra, na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

4.4 DISCUSSÃO

As linhagens avaliadas em campo e casa de vegetação apresentaram variação quanto a reação à podridão-cinzenta-do-caule, no que diz respeito à suscetibilidade e resistência. Mesmo com a presença do patógeno na área, houve produção de grãos significativa para as linhagens consideradas tolerantes avaliadas no experimento em campo. Esse é um fator muito importante para os melhoristas, pois é possível selecionar para dois caracteres desejáveis, resistência à doença e a produtividade elevada (SOUSA et al., 2020).

A severidade da podridão-cinzenta-do-caule aumenta devido a altas temperaturas e ao estresse hídrico, sendo estes fatores observados no experimento em campo. Para outra doença que atinge o feijão comum a mancha Pádua et al. (2021), afirmam que o período de seca é mais propício para o desenvolvimento dessa doença, isso quando as temperaturas variam entre 16 e

26°C com umidade foliar adequada, e na experimentação em campo, a severidade da doença em plantas adultas aumenta a cada ciclo da cultura.

As avaliações de resistência a podridão-cinzenta-do-caule são realizadas em campos com históricos da doença, por meio da escala de notas, incidência e severidade. A maioria destes trabalhos consegue selecionar materiais com diferentes níveis de resistência. No entanto, um dos grandes problemas em pesquisas realizadas em campos naturalmente infestados pelo patógeno de interesse, principalmente os patógenos habitantes de solo, é a desuniformidade na distribuição espacial do inóculo, assim como, as condições climáticas, que não podem ser controladas (ISHIKAWA et al., 2018), além da possibilidade de escape. Por isso, há a necessidade das experimentações em condições controladas aplicando um método de inoculação, que avalie a resistência, para se ter uma maior confiabilidade nos resultados obtidos em campo.

Os experimentos em campo e telado realizados no presente trabalho apresentaram resultados semelhantes, quanto a reação a podridão-cinzenta-do-caule, com poucas exceções. A linhagem BGF1 em ambos os experimentos apresentou suscetibilidade. No entanto, também houve resultados divergentes quanto a reação, onde em campo as linhagens BGF20 e BGF7 foram consideradas tolerantes em campo e em casa vegetação apresentaram maior severidade. Nesse caso, o que pode ter acontecido de acordo com Nelson et al. (2018), seria a menor quantidade de inóculo no campo e a ocorrência de diferentes espécies do patógeno, que podem ter um nível de agressividade menor. Diferentemente da inoculação em casa de vegetação, é possível o controle da concentração de inóculo que está sendo usado.

De acordo com Costa et al. (2003), a inoculação baseia-se no processo pelo qual o inóculo é transferido do local onde foi produzido para o local de infecção no hospedeiro. A inoculação pode ocorrer com o uso de métodos, de forma artificial ou natural. O método de inoculação artificial possui desvantagens, pois não simula o que ocorre naturalmente no campo, porém a resposta nas avaliações é mais rápida.

A inoculação é feita por meio de ferimentos na planta ou por infestação artificial do solo com o patógeno. Já a inoculação natural simula o que ocorre em campo, um exemplo é a infestação de substratos ou sementes contaminados com o patógeno (COSTA et al., 2003). Esse último foi o utilizado neste

experimento, mostrando resultados promissores, no que diz respeito a classificar com resistência e suscetibilidade à doença.

Viteri & Linares-Ramirez (2022), ao avaliarem linhagens de feijão comum em campo e casa de vegetação observaram interação significativa para a variável severidade. No entanto não houve diferença significativa para a localização dos dois ambientes. No presente trabalho foi observado diferença no comportamento das linhagens avaliadas em campo e casa de vegetação.

A altura, número de folhas e diâmetro do colo das plantas, variam entre cada linhagem. No entanto, quando as mesmas são comparadas com a testemunha, é possível observar redução no tamanho e diâmetro do colo das plantas e a queda de folhas, possivelmente relacionados aos sintomas da podridão-cinzenta-do-caule. Franco et al. (2009), ao avaliarem diferentes métodos de inoculação em cultivares de soja na presença de *Fusarium tucumaniae*, observaram que plantas testemunhas apresentaram altura superior a plantas inoculadas pelo método de grãos de sorgo e grãos de aveia, indicando que a infecção das plantas por patógeno estudado foi efetiva e provocou redução drástica no desenvolvimento das plantas.

Estudos realizados por Claudino & Dartanha. (2015), mostram que a variável altura, obteve diferença significativas, em relação a testemunha, pois quando se aumentou a concentração de 1,0 g para 5,0 g ou 10,0 g de inóculo de *M. phaseolina* por /kg de solo, houve redução da altura dos genótipos de mamona (*Ricinus communis* L.).

As linhagens BGF1, BGF7 e BRSMG Madrepérola apresentaram redução no diâmetro do colo, e isso possivelmente pode ser explicado devido a ação da podridão-cinzenta-do-caule que faz com que os tecidos condutores fiquem bloqueados, impedindo a passagem dos nutrientes e água para toda planta. Em pesquisas realizadas por Cruciol & Costa (2018), o diâmetro do colo foi maior na cultivar NA 73337 RR de soja. A avaliação dessa variável torna-se importante devido à redução do diâmetro está diretamente ligada com o aumento da incidência de doenças radiculares.

Ao avaliar o número de folhas foi possível observar que as linhagens com número de folhas reduzido, possivelmente a fotossíntese era afetada, causando redução fotossintética e conseqüentemente morte das plantas. Isso foi observado na linhagem BGF1, sendo esta considerada a mais suscetível nos experimentos realizados. Nesta, além de haver quedas das folhas, a mesma

apresentou redução do tamanho e diâmetro do colo e as maiores lesões. Cruciol & Costa (2018), ao avaliarem aos 20 e 40 dias, o número de folhas, observaram que duas cultivares foram semelhantes, no entanto, aos 60 dias a cultivar NA 7337 RR apresentou número de folhas inferior a cultivar CD 2737 RR. Neste estudo relatado a inoculação de *M. phaseolina* feita com grãos de arroz propiciou redução nos parâmetros de quantificação da doença (CRUCIOL & COSTA), e isso foi observado no presente trabalho.

A variável comprimento de lesão está ligada de forma direta com a severidade e a escala de notas, pois quanto maior a lesão, maior é a severidade da doença e o grau da escala. Woiciekoski & Costa (2016), inocularam *Rhizoctonia solani* em sementes de cinco cultivares de soja e, a cultivar NA 7337 RR apresentou severidade de 2,22% (raízes com lesões entre 2,5 e 5 mm) em uma escala de 0 a 6, não havendo diferença entre as plantas avaliadas com a respectiva escala.

A busca de linhagens que sejam resistentes a doenças é difícil, e isso mostra a dificuldade em obter um quantitativo de fontes de resistência a *M. phaseolina*, provavelmente devido a variabilidade que este patógeno apresenta. No presente trabalho foi possível selecionar apenas cinco linhagens, a partir das experimentações em campo, que contou com vinte e quatro linhagens avaliadas inicialmente, reduzindo para quinze em casa de vegetação. Viteri & Linares-Ramirez (2022), avaliaram dezesseis genótipos de feijão comum e apenas o genótipo UPR-Mp-34 apresentou resistência intermediária a *M. phaseolina*.

Gomes (2014) afirma que a *M. phaseolina* pode infectar plantas de soja em vários estágios de crescimento, e dependendo do estágio da planta em que a infecção se inicia, vários componentes da produtividade na cultura podem ser afetados. Este fato foi observado no presente experimento, evidenciando que o diâmetro do colo, número de folhas, altura e lesão também foram afetados por *M. phaseolina* para as linhagens BGF1, BGF20, BGF7 e BRSMG Madrepérola.

Nos programas de melhoramento a busca por genótipos resistentes a doenças, torna-se necessário e eficaz quando é feita a experimentação em condições de campo e controladas, visando realizar estudos genéticos para definir o melhor método a ser adotado (LIMA et al., 2018).

A avaliação da reação (fenotipagem) utilizando a inoculação natural de *M. phaseolina*, representa um método promissor e de baixo custo, que pode ser usado de forma rotineira, com o intuito de obter linhagens resistentes reduzindo

período de tempo entre os ciclos. Ainda conforme Cobb et al. (2019), para ter ganho genético com facilidade e baixo custo, seria necessário encurtar a duração do ciclo das plantas no melhoramento. Além disso, pode-se afirmar que a seleção conjunta em campo e casa de vegetação, é de suma importância para obtenção de uma população base de qualidade (PÁDUA et al., 2021).

4.5 CONCLUSÕES

A partir das linhagens avaliadas em campo e casa de vegetação foi possível identificar cinco linhagens promissoras, que apresentaram melhores resultados para resistência juntamente com boa produtividade. Essas linhagens serão utilizadas nos cruzamentos com intuito de iniciar um programa de seleção recorrente, sendo elas: BRSMG Supremo, BRS Campeiro, BRS Notável, BGF13 e BGF2, que aliam alta produtividade e resistência.

4.6 REFERÊNCIAS

ABAWI, G. S.; PASTOR-CORRALES, M. A. Root rots of bean in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies and management strategies. Bogotá: **Centro de Agricultura Tropical**, 1990.

AMARO, G. B. Seleção fenotípica recorrente no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) com grãos do tipo carioca para resistência aos fungos *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, 30(3):584-588, 2007.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. ed.2, Minnesota: Stemma, p. 400, 2010.

CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. **Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja**. Piracicaba: ESALQ/LPV, p. 81-120, 2000.

CLAUDINO, MONALIZA & SOARES, DARTANHA. Pathogenicity and aggressiveness of *Macrophomina phaseolina* isolates to castor (*Ricinus communis*). **Tropical Plant Pathology**. 39. 453-456, 2015.

COBB, J.N.; BISWAS, P.S.; PLATTEN, J.D. Back to the future: revisiting MAS as a tool for modern plant breeding. **Theoretical and Applied Genetics**, v.132(3), p.647-667, 2019.

COSER, S. M.; REDDY, R. V. C.; ZHANG, J.; MUELLER, D. S.; MENGISTU, A.; WISE, K. A.; ALLEN, T. W.; SINGH, A.; SINGH, A. K. Genetic architecture of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) resistance in soybean revealed using a diverse panel. **Front. Plant Sci.** 2017.

COSTA, M.L.N.C; MACHADO, J.C.; GUIMARÃES, R.M.; POZZA, E.A.; ORIDE, D. Inoculação de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* em sementes de feijoeiro através de restrição hídrica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.5, p.1023-1030, 2003.

CRUCIOL, G. C. D.; COSTA, M. L. N. Influência de metodologias de inoculação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de cultivares de soja. **Summa Phytopathol.** p.44, 2018.

FARR, D. F.; ROSSMAN, A. Y. (2022). **Fungal Databases. National Fungus Collections**, ARS, USDA: U.S, 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FRANCO, H.B.J.; CENTURION, M.A.P.C.; BARBOSA, J.C. Estudo de métodos de inoculação para avaliação de cultivares de soja a *Fusarium tucumaniae* **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.1, p.32-38, 2009.

GOMES, C.J.A. **Macrophomina phaseolina em soja, padrão de ocorrência, danos e aspectos físicos, químicos e biológicos do solo relacionados à doença** 2014. 39f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual do Norte do Paraná, 2014.

GOMES-SILVA, F.; ALMEIDA, C.; SILVA, A.; LEÃO, M.; SILVA, K.; OLIVEIRA, L.; SILVA, M.; COSTA, A. F.; LIMA, V. Genetic diversity of isolates of *Macrophomina phaseolina* associated with cowpea from Brazil semi-arid region. **Journal of Agricultural Science**, 9: 112-116, 2017.

ISHIKAWA, M.S.; RIBEIRO, N.R.; OLIVEIRA, E.C.; ALMEIDA, A.A.; BALBI-PEÑA, M.I. Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, v.43, n.4, p.38-44, 2018.

LEMOS, R. C. Meio século de programa de melhoramento de feijão em as regiões Sul e Alto Paranaíba de Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(2):e295420211, 2020.

LIBRELON, S. S.; PÁDUA, P. F.; ABREU, A. F.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Aumentando a eficiência dos recorrentes seleção para resistência à mancha angular em feijoeiro. **Crop Science**, 60(2):751-758, 2020.

LIMA, V. J.; FREITAS JUNIOR, S.P.; SOUZA, Y.P.; SILVA, C.S.; FARIAS, J.E.C.; SOUZA, R.F.; CHAVES, M.M.; FEITOSA, J.V. Genetic gain capitalization in the first cycle of recurrent selection in popcorn at Ceará Cariri. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**.v.13, n.3, p. 55-56, 2018.

LODHA, S.; MAWAR, R. Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. **Journal of Phytopathology**, 168: 1-17, 2020.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E.; SALES JÚNIOR, R. Reação de genótipos de melão a *Rhizoctonia solani* **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, pág. 401-404, 2008.

McKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 5, p.195-218, 1923.

NAY, M. M. A review of angular leaf spot resistance in common bean. **Crop Science**, v.59, p.1376-1391, 2019.

NEGREIROS, A. M. P.; JUNIOR SALES, R.; MELO, N. J. A.; MICHEREFF, S. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; MEDEIROS, H. L. S.; ARMENGOL, J. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of phytopathology**, 167: 326-337, 2019.

NELSON, R. Navigating complexity to breed disease resistant crops. **Nature Reviews Genetics**, v.19, p.21-33, 2018.

NORONHA, M.A.; SILVA, K.J.D.; GONÇALVES, S.R.; LIMA, L.R.L. Avaliação da resistência de genótipos de feijão-caupi a *Macrophomina phaseolina*. Embrapa, 2012.

PÁDUA, P. F.; PEREIRA, R.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Efficiency of a recurrent selection method to achieve resistance of common beans to *Pseudocercospora griseola* in a short period, **Ciência e Agrotecnologia**, v.45, 2021.

REZENDE, B. A. BOTELHO, F. B. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Métodos de avaliação de gravidade em comum Programa de seleção recorrente de feijão para resistência à mancha angular. **Journal of Phytopathology**, 162(10):643-649, 2014.

SALES JÚNIOR, R.; NETO, A. N. S.; NEGREIROS, A. M.; GOMES, T. R. R.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; ARMENGOL, J. Pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in cowpea. **Revista Caatinga**, 33: 395-401, 2020.

SOUSA, C. M.; ALCANTARA, C. B. Cruzamento entre as cultivares de feijão brs-majestoso e iac imperador pelo método da hibridação. **Revista educação, saúde & meio ambiente**. Vol. 1, Ano 4, n. 7, 2020.

SCHOONHOVEN, A. V.; PASTOR-CORRALES, M Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. **Cali: CIAT-Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**, p. 56, 1987.

VITERI, D. M.; LINARES-RAMÍREZ, A. M. Screening a newly developed common bean germplasm with improved resistance to ashy stem blight in multiple environments. **Front. Plant Sci.** 2022.

WEATHERSPARK. **Histórico de temperatura em Petrolina**. Disponível em <<https://pt.weatherspark.com/h/y/30914/2021/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-durante-2021-em-Petrolina-Brasil#Figures-Temperature>>. Acesso em 25 de fev. 2023.

WOICIECKOSKI. C. P.; COSTA, M. L. N. Severidade de *Rhizoctonia solani* em cultivares de soja em relação ao potássio. **Tecnologia & Ciência Agropecuária** João Pessoa, v. 10, n. 2, p.22-27, 2016.

5. AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES DE FEIJÃO COMUM QUANTO À REAÇÃO À PODRIDÃO-CINZENTA-DO-CAULE¹

RESUMO

A *Macrophomina phaseolina* é um patógeno de solo favorecido por estresses abióticos como o estresse hídrico, temperaturas elevadas, além da ampla gama de hospedeiros e a persistência dos microescleródios no solo durante anos que acabam favorecendo o desenvolvimento desse patógeno. Por isso, a busca por métodos de controle eficazes tem sido um desafio. A dificuldade de encontrar genótipos resistentes indica que a resistência é poligênica, portanto, a utilização da seleção recorrente vem mostrando resultados satisfatórios em outro patossistema. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das progênies obtidas por meio dos cruzamentos, com relação a resistência/tolerância, utilizando o método do arroz infestado com *M. phaseolina*, com o intuito de formar a população do Ciclo C0 de seleção recorrente. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, na Universidade Federal do Vale do São Francisco em Petrolina-PE. Foram utilizados nos cruzamentos as linhagens BGF2, BGF13, BRS Notável, BRSMG Supremo e BRS Campeiro previamente selecionadas. Por meio das hibridações foi possível obter cinco grupos com diferentes pais, ou seja, doadores de pólen. Em seguida a população base foi avaliada quanto à altura, o tamanho da lesão e a severidade, utilizando o método de inoculação do arroz infestado com *M. phaseolina*. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 grupos de linhagens de feijão comum, obtidos através dos cruzamentos. Foram utilizadas 5 repetições, contendo uma semente por célula em cada bandeja incluindo a testemunha, a linhagem BGF1, considerada suscetível ao patógeno. Houve diferença significativa entre os cruzamentos avaliados em casa de vegetação. Os cruzamentos BGF2 x BRS Notável, BGF13 x BGF2 e BGF2 x BGF13 mostraram resistência alta e podem ser utilizados nos próximos ciclos de seleção recorrente, avaliando o comportamento dos mesmos em campo. A testemunha apresentou suscetibilidade, mostrando a eficácia do método de inoculação utilizado. As progênies dos cruzamentos BGF2 x BRS Notável, BGF2 x BGF13 e BGF13 x BGF2 mostraram resistência alta, e que podem ser utilizados nos próximos ciclos de seleção recorrente, avaliando o comportamento dos mesmos em campo. A testemunha apresentou suscetibilidade, mostrando a eficácia do método de inoculação utilizado, assim como o cruzamento BRSMG Supremo x BGF13. Já os cruzamentos BGF2 x BGF BRSMG Supremo, BRS Campeiro x BGF13, BGF2 x BRS Campeiro e BGF13 x BRS Notável foram considerados tolerantes.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. População base. Hibridações. Método de inoculação do arroz.

¹Trabalho a ser submetido

5.1 INTRODUÇÃO

Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid., é um patógeno de solo presente em várias partes do mundo, e vem afetando mais de 100 famílias em 800 espécies de plantas (GHOSH et al., 2018; FARR; ROSSMAN, 2019), incluindo culturas de importância agrícola, como o feijão comum, soja, melão e algodão.

O estresse hídrico e o aumento das temperaturas favorecem o desenvolvimento desse patógeno (SINHA et al. 2019). O aumento da incidência da doença em plantas que sofrem estresse hídrico é bem maior quando comparadas com plantas bem irrigadas (CHANDRAN et al. 2021). Essas condições são recorrentes na região do Submédio do Vale do São Francisco.

A persistência de *M. phaseolina* no solo com as estruturas de resistência e a ampla gama de hospedeiros vem sendo um dos desafios para o controle da podridão-cinzenta-do-caule (MARQUEZ et al., 2021). Isso porque, os microescleródios são uma das principais formas de sobrevivência do fungo e permanecem de dois até quinze anos no solo (MUNGUÍA, 2017).

O uso do controle químico para *M. phaseolina* é difícil, pois não há fungicidas sistêmicos que se movam em direção à raiz, e que sejam registrados para cultura (PARMAR et al., 2017; LOKESH et al., 2020). Por isso, a busca por materiais resistentes, tem se tornado uma alternativa viável, com o intuito de realizar o aumento e a manutenção da produção (SOUSA & ALCANTARA, 2020). O melhoramento genético vem para auxiliar neste processo por meio dos cruzamentos e seleção podem resultar em uma nova cultivar (SOUSA & ALCANTARA, 2020).

A seleção recorrente é um método confiável que visa o acúmulo de alelos favoráveis, incluindo aqueles de pequenos efeitos de pais diferentes (NELSON et al., 2018). É um processo cíclico que envolve a obtenção, a avaliação e recombinação das progênies selecionadas (NELSON et al., 2018). Este método tem sido utilizado com sucesso para seleção de progênie resistentes a *Pseudocercospora griseola* (ARANTES et al., 2010). Uma das etapas do programa de seleção recorrente é avaliar progênies para seleção das mais resistentes (AMARO et al., 2007). As linhagens desse programa, em geral, têm apresentado bom nível de resistência a *P. griseola* (PEREIRA et al., 2019).

A resistência genética é a maneira mais indicada para o controle de doenças, como a causada pela *M. phaseolina*, porém nenhuma cultivar

resistente está disponível no mercado (ALMEIDA et al., 2014). A variabilidade entre os isolados de *M. phaseolina*, dificulta a obtenção de resistência em cultivares de soja no Brasil (ISHIKAWA et al., 2018). Na cultura da soja a resistência é considerada poligênica, ou seja, ocorre quando vários pares de genes interagem para determinar uma característica. Na cultura do feijão comum há escassez de trabalhos relacionados a isso.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das progênies obtidas por meio dos cruzamentos, com relação a resistência/tolerância, utilizando o método do arroz infestado com *M. phaseolina*, com o intuito de formar a população do Ciclo C0 de seleção recorrente.

5.2 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) em Petrolina - PE, Brasil.

5.2.1 População Base (C0) e progênies do ciclo I

A população base foi selecionada em experimentos anteriores que avaliaram a resistência à podridão-cinzenta-do-caule e a produtividade de vinte e quatro linhagens de feijão comum em campo, sendo escolhidas quinze para experimentação em casa de vegetação. A partir disso, foram selecionadas cinco linhagens para utilizar nos cruzamentos e compor a população base, sendo elas: BGF2, BGF13, BRS Notável, BRSMG Supremo e BRS Campeiro.

Após a seleção dos genitores foram realizados os experimentos para obtenção dos cruzamentos. Os cruzamentos foram realizados em julho de 2022, no período da manhã das 06:00 às 08:00 horas, devido as temperaturas serem mais amenas nesse horário. As linhagens foram semeadas em vasos de 2L, em que cada linhagem foi composta por dois vasos com duas plantas por vaso. A irrigação foi realizada manualmente de acordo com a demanda da cultura.

Os cruzamentos foram realizados através da hibridação no estádio R6, fase de florescimento do feijão comum. Foi utilizado o método de emasculação do botão floral descrito por Peternelli et al. (2009), que consiste na retirada das anteras, com auxílio de uma pinça, do genitor feminino, seguida da polinização

com o pólen da flor doadora ou do parental masculino. Logo após, as flores foram identificadas com fitas coloridas, para saber de onde veio o pólen.

A partir dos cruzamentos por meio das hibridações, foi possível obter cinco grupos com diferentes pais, ou seja, doadores de pólen (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação dos grupos obtidos através dos cruzamentos

Grupos	ID Cruzamentos	Nº F1
1º	BGF2 x BRSMG Supremo	12 sementes
	BGF2 x BRS Campeiro	15 sementes
	BGF2 x BGF13	10 sementes
	BGF2 x BRS Notável	2 sementes
2º	BRSMG Supremo x BGF13	3 sementes
3º	BRS Campeiro x BGF13	8 sementes
4º	BRS Notável x BGF13	4 sementes
5º	BGF13 x BGF2	6 sementes
	BGF13 x BRS Notável	2 sementes

Após os cruzamentos, as progênes F1 obtidas, foram colhidas e plantadas para obtenção das progênes F2. Foram realizados dois plantios, o primeiro foi em setembro de 2022 e devido às altas temperaturas que atingiram 35°C de máxima (Figura 1), foi realizado o segundo plantio. Com isso houve uma grande quantidade de vagens abortadas e conseqüentemente o número de sementes foi reduzido.

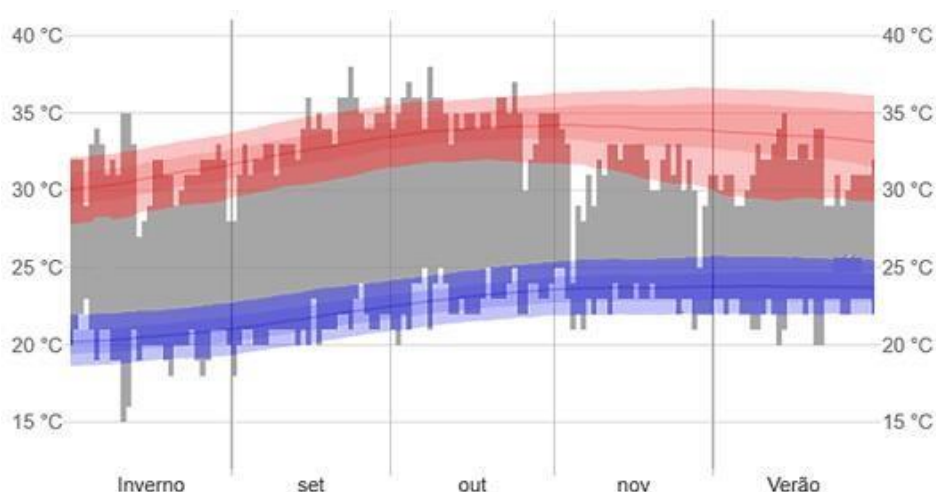


Figura 1. Histórico de temperatura do mês de setembro em 2022. Fonte: © WeatherSpark.com

O segundo plantio foi em dezembro de 2022, afim de obter o quantitativo de sementes maior. As mesmas foram plantadas em vasos de 7 litros, com duas

plantas de cada linhagem em cada vaso. A irrigação foi de acordo com a demanda da cultura.

Tabela 2. Identificação dos grupos obtidos através dos cruzamentos obtidos na geração F2.

Grupos	ID Cruzamentos	Nº F2
1º	BGF2 x BRSMG Supremo	147 sementes
	BGF2 x BRS Campeiro	48 sementes
	BGF2 x BGF13	257 sementes
	BGF2 x BRS Notável	350 sementes
2º	BRSMG Supremo x BGF13	86 sementes
3º	BRS Campeiro x BGF13	69 sementes
4º	BRS Notável x BGF13	1 sementes
5º	BGF13 x BGF2	329 sementes
	BGF13 x BRS Notável	4 sementes

5.2.2 Avaliação dos cruzamentos

Em seguida, com o processo de maturação das vagens finalizado, foi realizada a colheita das progênes F2, que foram utilizadas no procedimento de inoculação com o método do arroz infestado com *M. phaseolina* (CRUCIOL & COSTA, 2018), com o intuito de avaliar o comportamento das mesmas quanto a resistência e suscetibilidade, através das avaliações.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 grupos de linhagens de feijão comum, obtidos através dos cruzamentos (Tabela 1). Foram utilizadas 5 repetições para os cruzamentos com o número de sementes F2 maior. Aqueles com número de sementes menor foram usados o quantitativo disponível. A testemunha utilizada foi a linhagem BGF1, considerada suscetível ao patógeno em experimentos anteriores, contendo uma semente por célula em cada bandeja.

O tratamento controle foi constituído apenas do substrato esterilizado, os grãos de arroz sem o fungo e a semente de feijão, e os demais tratamentos foram na mesma proporção, porém com três grãos de arroz infestado com o patógeno, em cada célula. As plantas foram acondicionadas em um telado com sombrite de 50%, sobre bancadas e foram irrigadas diariamente, de forma reduzida, com o intuito de favorecer o desenvolvimento da doença.

No preparo do inóculo foram utilizados erlenmeyers com arroz sem casca, previamente umedecidos com água destilada (100 mL de água/ 50 g de arroz)

durante dez minutos, logo após a água foi retirada e posteriormente esterilizado em autoclave por vinte minutos a 120 °C.

Após o resfriamento do arroz, foram adicionados 20 discos miceliais de 3 mm provenientes de culturas puras do fungo *M. phaseolina* (ISO 80), e incubados em BOD (demanda bioquímica de oxigênio) por um período de dez dias, a 28°C, sob fotoperíodo de 12 horas. Após a adição dos discos sobre o arroz, os frascos foram agitados diariamente, uma vez ao dia, visando obter uma colonização e homogeneização mais rápida e uniforme.

A semeadura e inoculação foram realizados em bandejas de 50 células (28,5 x 8,0 cm), contendo substrato comercial, com deposição das sementes de feijão comum e dos grãos de arroz colonizados pela *M. phaseolina* nas bandejas a uma profundidade de 1,0 cm (CRUCIOL & COSTA, 2018).

As avaliações foram realizadas dez dias após a inoculação e adaptadas de acordo com Câmara e Heiffeig (2000). As variáveis avaliadas foram: altura das plantas, tamanho da lesão e a severidade da doença. Para essa última variável foi utilizada, escala de notas de 0 para plantas resistentes e 5 para plantas suscetíveis, adaptada de Abawi e Pastor-Corrales (1990), onde: 0 - são plantas sem manifestação dos sintomas; 1 - plantas com sintomas nos tecidos cotiledonares; 2 - plantas com lesões radiculares; 3 - plantas com sintomas no colo da planta; 4 - plantas com a presença da estrutura de resistência em todo caule da planta (microescleródios) e 5 - plantas que morreram devido a ação da *M. phaseolina*.

A partir dos dados obtidos, foi feito o cálculo de reação média de cada linhagem, expressa pela média aritmética das notas das plantas avaliadas, onde essa característica mostrará os genótipos em três classes de reação à doença, sendo: 0 - resistência alta (RA); 1-3 = tolerante (T); 4-5 = suscetível (S). Logo após essas avaliações foi calculada a severidade da doença (SEV) de acordo com o índice de McKinney (1923), sendo exposta pela fórmula:

$$SEV = \frac{(\text{grau da escala} * \text{frequência}) * 100}{(\text{n}^\circ \text{ total de unidades} * \text{grau máximo da escala})}$$

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, e as médias agrupadas pelo teste de Scott- Knott ($P \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os cruzamentos avaliados em casa de vegetação. A linhagem BGF1 considerada suscetível que foi utilizada como testemunha, apresentou lesão com ampla magnitude, alta suscetibilidade quando comparada com os cruzamentos e redução na altura, quando inoculada com grãos de arroz infestados com *M. phaseolina*. Os resultados obtidos corroboram com o que foi encontrado nos outros trabalhos de experimentação em campo e casa de vegetação (Tabela 2).

Porto et al. (2019) afirmam que a infestação do solo com o patógeno de interesse, aumenta a expressão dos sintomas nas plantas, afetando o crescimento e a produção agrícola. Por isso é importante avaliar o caractere altura, pois a doença interfere diretamente no desenvolvimento da planta. Ainda de acordo com Ishikawa et al. (2018), as plantas infectadas apresentam porte menor e redução no vigor das plantas de soja. Esse aspecto observado na presente experimentação.

O cruzamento BRS Notável x BGF13, apresentado na tabela 1, tinha apenas uma semente proveniente da geração F2, e ao realizar a inoculação, não houve germinação. Os cruzamentos BGF2 x BRS Notável, BGF2 x BGF13 e BGF13 x BGF2 (Tabela 3), não apresentaram os sintomas característicos da podridão-cinzenta-do-caule, como amarelecimento dos folíolos, murchamento da planta, *damping off*, redução de folhas e tamanho, podridão seca acinzentada na região do colo e raiz (ISHIKAWA et al., 2018). Portanto, são considerados materiais ideais para serem utilizados no avanço da seleção recorrente.

A seleção de materiais resistentes deve ser realizada nas condições favoráveis para o desenvolvimento da doença. Além do estresse hídrico, as altas temperaturas favorecem a ação do patógeno *M. phaseolina*. Essas condições foram observadas no presente experimento.

A região de localização deste experimento, caracteriza-se por apresentar altas temperaturas, com uma média máxima chegando aos 35 °C (Figura 1). A severidade da doença é influenciada pela seca e altas temperaturas (30-35°C), que é a faixa ótima para expressão da doença (MEYER et al., 1974).

O estresse hídrico e as altas temperaturas faz com que a podridão-cinzenta-do-caule seja agravada na cultura do grão-de-bico (SINHA et al., 2019). Além disso faz com que haja o aumento da incidência e severidade da doença

em plantas que sofrem estresse hídrico quando comparadas com plantas bem irrigadas (CHANDRAN et al., 2021).

A seca aumenta a severidade da podridão-cinzenta-do-caule independentemente do tipo de solo e do genótipo utilizado. Trazendo prejuízos de 40 a 50% de rendimento no grão-de-bico, e aliado esse fator com a podridão-cinzenta-do-caule, essa perda chega a 100% no rendimento (MAQBOOL et al., 2017). O solo infestado com *M. phaseolina* afeta o desenvolvimento de plantas de soja determinando plantas de menor altura (ISHIKAWA et al., 2018). Isso também ocorre com o feijão comum, e os que mais sofrem são os pequenos agricultores que não tem condições de montar um sistema de irrigação, e conduzem o plantio no sequeiro.

A partir dos cruzamentos foi possível obter cinco grupos com diferentes pais, que nada mais é que os doadores de pólen, e o primeiro grupo apresentou o maior número de cruzamentos, tendo como doador de pólen a linhagem BGF2 (Tabela 2). Isso ocorreu por essa linhagem apresentar boa produtividade mesmo com a presença da podridão-cinzenta-do-caule e por ser considerada precoce quando comparadas com as demais.

A escolha dos genitores, assim como o planejamento dos cruzamentos, são etapas importantes para o sucesso do programa de melhoramento. Além disso, Borém & Miranda (2013), afirmam que em um programa de seleção recorrente, a população deve apresentar um desempenho elevado e uma variabilidade genética suficiente para assegurar que o progresso seja contínuo ao longo dos vários ciclos de seleção.

No entanto, um dos grandes desafios dos melhoristas é reunir em um único genótipo as características de maior interesse, pois na prática ganhos em alguns caracteres requerem perdas em outros (FARIAS, 2018). Por isso a importância dos cruzamentos entre a população base escolhida, para saber como as mesmas se comportam.

Tabela 3. Variáveis de altura das plantas e tamanho da lesão avaliadas nos cruzamentos de linhagens de feijão comum inoculadas com *Macrophomina phaseolina*.

Cruzamentos	Altura	Lesão
BGF2 x BRSMG Supremo	8,16 a	0,38 b
BGF2 x BRS Notável	8,57 a	0,00 a
BGF13 x BGF2	8,58 a	0,00 a
BGF2 x BGF13	8,78 a	0,00 a
BRS Campeiro x BGF13	5,96 b	0,70 b
BGF13 x BRS Campeiro	6,42 b	0,50 b
BRSMG Supremo x BGF13	5,26 b	1,86 c
BGF13 x BRS Notável	4,10 c	0,48 b
Testemunha BGF1	3,46 d	3,00 d
CV (%)	36,63	37,78

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si na coluna pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Na Tabela 4, é possível observar como os cruzamentos de feijão comum reagiram quanto à severidade da doença. A testemunha apresentou 100% de severidade, diferindo estaticamente dos cruzamentos, sendo considerada suscetível, seguida do cruzamento BRSMG Supremo x BGF13. Já os cruzamentos BGF2 x BRS Notável, BGF13 x BGF2 e BGF2 x BGF13 apresentaram resistência alta, e os demais cruzamentos foram considerados tolerantes.

Os relatos direcionados para seleção recorrente visando resistência a patógenos na cultura do feijão comum são poucos (LYONS et al., 1987; GARCIA et al., 2003). No entanto, por ser considerado um processo dinâmico, é possível realizar um ciclo a cada ano, e para tornar a seleção de famílias mais eficiente, no caso do feijão comum, deve-se submeter a população a pelo menos duas ou três gerações de avaliação (LIBRELON et al., 2019).

Nos programas de seleção recorrente, as etapas de cruzamentos e extração dos melhores caracteres também são de suma importância para garantir os ganhos futuros. Durante a etapa de cruzamentos, o objetivo é gerar uma população com variabilidade genética suficiente para se praticar a seleção, visando obter linhagens que possuam alelos favoráveis para os caracteres de interesse (RAMALHO et al., 2001). Dessa forma, essas linhagens poderão participar de novos cruzamentos, possibilitando o aumento dos ganhos dentro do programa de melhoramento.

Atualmente, os programas de melhoramento do feijão comum buscam por cultivares de porte ereto, no qual as vagens não tocam o solo, com guias curtas

e tolerantes ao acamamento, proporcionando a colheita mecanizada com menores perdas, além de propiciar um produto final de melhor qualidade, visto que uma boa aeração na lavoura diminui a incidência de doenças, além de materiais resistentes a doenças (FARIAS, 2018).

Tabela 4. Avaliação da severidade a podridão-cinzenta-do-caule nos cruzamentos de feijão comum inoculados com método do arroz colonizado.

Cruzamentos	¹ Classe da doença	Severidade (%)
	Reação ²	
BGF2 x BRS Notável	RA	0,00 a ³
BGF13 x BGF2	RA	0,00 a
BGF2 x BGF13	RA	0,00 a
BGF2 x BRSMG Supremo	T	20,00 b
BRS Campeiro x BGF13	T	20,00 b
BGF2 x BRS Campeiro	T	20,00 b
BGF13 x BRS Notável	T	20,00 b
BRSMG Supremo x BGF13	S	80,00 c
Testemunha BGF1	S	100,00 c
CV (%)		74,45

¹Classe de reação da doença conforme escala de notas de 0 a 5. ²Reação da doença: resistência alta (RA); tolerante (T); suscetível (S). ³Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Desse modo, os resultados obtidos nesse trabalho foram satisfatórios, demonstrando a eficiência da seleção recorrente em obter famílias resistentes a doenças provenientes dos cruzamentos. Estes resultados concordam com os relatos da literatura sobre o alto nível de resistência dos cruzamentos a doenças (PEREIRA et al., 2015). No presente estudo, a seleção recorrente se mostrou eficiente, uma vez que a maioria das progênies avaliadas apresentou alto nível de resistência a *M. phaseolina*.

5.4 CONCLUSÕES

As progênies dos cruzamentos BGF2 x BRS Notável, BGF2 x BGF13 e BGF13 x BGF2 mostraram resistência alta, e que podem ser utilizados nos próximos ciclos de seleção recorrente, avaliando o comportamento delas em campo.

A testemunha apresentou suscetibilidade, mostrando a eficácia do método de inoculação utilizado, assim como o cruzamento BRSMG Supremo x BGF13. Já os cruzamentos BGF2 x BGF BRSMG Supremo, BRS Campeiro x

BGF13, BGF2 x BRS Campeiro e BGF13 x BRS Notável foram considerados tolerantes.

5.5 REFERÊNCIAS

ABAWI, G. S.; PASTOR-CORRALES, M. A. Root rots of bean in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies and management strategies. Bogotá: **Centro de Agricultura Tropical**, 1990.

ALMEIDA, A. M. R.; GAUDÊNCIO, C. A.; SEIXAS, C. D. S.; DEBIASI H.; COSTA, J. M.; FARIAS, J. R. B.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, M. C. N. (2014) *Macrophomina phaseolina* em soja. Londrina: Embrapa Soja, 2014, 55 p.

AMARO, G. B; ABREU, A. F. B; RAMALHO, M. A. P. Seleção fenotípica recorrente em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) com grãos do tipo carioca para resistência ao fungo *Phaeoisariopsis griseola*, **Genética e Biologia Molecular**, v.30, p.584-588, 2007.

ARANTES, L. O; ABREU, A. F. B; RAMALHO, M. A. P. Oito ciclos de seleção recorrente para resistência à mancha angular em feijoeiro. **Melhoramento de Culturas e Biotecnologia Aplicada**, v.10, p. 232-237, 2010.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. 5.ed. Viçosa: UFV, p.529, 2009.

CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. **Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja**. Piracicaba: ESALQ/LPV, p. 81-120, 2000.

CHANDRAN, U. S.; TARAFDAR, A.; MAHESHA, H. S.; SHARMA, M. Temperature and soil moisture stress modulates the host defense response in chickpea during dry root rot incidence. **Front. Plant Sci.** 12:932, 2021.

CRUCIOL, G. C. D.; COSTA, M. L. N. Influência de metodologias de inoculação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de cultivares de soja. **Summa Phytopathol.** p.44, 2018.

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

FARR, D. F.; ROSSMAN, A. Y. **Fungal Databases**, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Internet Resource. Disponível em: Acesso em: 18. fev. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

- GARCIA, R. E.; ROBINSON, R. A.; AGUILAR, J. A. P.; SANDOVAL, S. I.; GUZMAN, R. P. Recurrent selection for quantitative resistance to soil borne diseases in beans in the Mixteca region, México. **Euphytica**, v. 130, p. 241-247, 2003.
- GHOSH, T.; BISWAS, M. K.; GUIN, C. E.; ROY, P. Uma revisão sobre a caracterização, abordagens terapêuticas e patogênese de *Macrophomina phaseolina*. **Biociencia**, v. 19, p. 72-84, 2018.
- ISHIKAWA, M.S.; RIBEIRO, N.R.; OLIVEIRA, E.C.; ALMEIDA, A.A.; BALBIPEÑA, M.I. Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, v.43, n.4, p.38-44, 2018.
- LIBRELON, S. S.; PÁDUA, P. F.; ABREU, Â. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Increasing the efficiency of recurrent selection for angular leaf spot resistance in common bean. **Crop Science**, v.60(2), p.751–758, 2019.
- LOKESH, R.; RAKHOLIYA, K. B.; THESIYA, M. R. Evaluation of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) goid. causing dry root rot of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in vitro. **Artic. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.** v.9, p.1–11, 2020.
- LYONS, M. E.; DICKSON, M. H.; HUNTER, J. E. Recurrent selection for resistance to white mold in Phaseolus species. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, n. 1, p. 149-152, 1987.
- MAQBOOL, M. A.; ASLAM, M.; ALI, H. Breeding for improved drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant Breed.** v.36, p.300-318, 2017.
- MARQUEZ, N.; GIACHERO, M. L.; DECLERCK, S.; DUCASSE, D. A. *Macrophomina phaseolina*: General Characteristics of Pathogenicity and Methods of Control. **Front.** v.22, **Plant Sci**, 2021.
- McKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 5, p.195-218, 1923.
- MEYER, W. A.; SINCLAIR, J. B.; KHARE, M. N. Fatores que afetam a podridão carvoeira de mudas de soja. **Fitopatologia**, São. Paulo. v.64, n.6, p.845–849, 1974.
- MUNGUÍA, M. E. G. **Seleção de acessos de feijão-fava resistentes a *Macrophomina phaseolina***. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Piauí, Teresina, p. 64, 2017.
- NELSON, R.; WIESNER-HANKS, T.; WISSER, R.; BALINT-KURTI, P. Navigating complexity to produce disease resistant crops. **Nature Reviews Genetics**, v.19, p. 21-33, 2018.
- PARMAR, H. V.; KAPADIYA, H. J.; BHALIYA, C. M. Efficacy of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid causing castor root rot. **Int. J. Chem. Stud**, v.5, p.1807–1809, 2017.

PEREIRA, R.; ABREU, A. F. B.; NALIN, R. S.; SOUZA, E. A. Fenotipagem da severidade da mancha angular e sua implicação no melhoramento do feijoeiro para resistência. *Genética e Melhoramento de Plantas. Sci. agric.* (Piracicaba, Braz.), v.76 (5), 2019.

PEREIRA, R.; SOUZA, E. A.; BARCELOS, Q. L.; ABREU, A. F. B.; LIBRELON, S. S. Agressividade de cepas de *Pseudocercospora griseola* em genótipos de feijoeiro e implicações para o melhoramento genético. *Genetics and Molecular Research*, v.14, p. 5044-5053, 2015.

PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A. Hibridação do Feijão. – Viçosa, MG: Ed. UFV, p.269-294, 2009.

PORTO, M. A. F.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NASCIMENTO, S. R. C.; CRUZ, L. S.; TORRES, T. M. Interaction of *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* as roots pathogens of *Cucumis melo*. *Summa Phytopathol.* v.45 (4), 2019.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, P. S. J. dos. Interação genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijoeiro nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 22, n. 2, p. 176-181, 2001.

SINHA, R.; IRULAPPAN, V.; MOHAN-RAJU, B.; SUGANTHI, A.; SENTHIL-KUMAR, M. Impact of drought stress on simultaneously occurring pathogen infection in field-grown chickpea. *Sci. Rep.* 9:5577, 2019.

SOUSA, C. M.; ALCANTARA, C. B. Cruzamento entre as cultivares de feijão brs-majestoso e iac imperador pelo método da hibridação. *Revista educação, saúde & meio ambiente.* v. 1, n. 7, 2020.

WEATHERSPARK. **Histórico de temperatura em Petrolina.** Disponível em <<https://pt.weatherspark.com/h/y/30914/2021/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-hist%C3%B3ricas-durante-2021-em-Petrolina-Brasil#Figures-Temperature>>. Acesso em 25 de fev. 2023.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da seleção recorrente fenotípica permitiu compor a população base de feijão comum, que apresenta características promissoras para os cruzamentos, no que diz respeito a tolerância à podridão-cinzenta-do-caule, e à produtividade, com o intuito de que possa ser avaliada e aceita pelo mercado consumidor futuramente.

A inoculação com a *Macrophomina phaseolina* no estágio fenológico V0 facilita na triagem, visando a escolha de linhagens resistentes, quando se tem um grande quantitativo de linhagens não avaliadas nos bancos de germoplasma. Assim como ter a certeza de que o método de inoculação utilizado é eficaz no sentido de saber distinguir a reação das linhagens quanto a suscetibilidade ou resistência.

Os cruzamentos realizados por meio das hibridações, após as avaliações e seleção são essenciais para serem utilizados nos próximos ciclos de seleção recorrente, pois permitem melhorar as linhagens aumentando a resistência associado a produtividade, além de outros caracteres que não tenham boa aceitação pelos consumidores, por exemplo.