



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

KAWANA SILVA BORTOLATO

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA SIMULTÂNEA À
MANCHA DE PHOMA E À MANCHA-DE-OLHO-PARDO EM
CAFÉ ARÁBICA POR MEIO DA METODOLOGIA
REML/BLUP**

Londrina
2025

KAWANA SILVA BORTOLATO

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA SIMULTÂNEA À
MANCHA DE PHOMA E À MANCHA-DE-OLHO-PARDO EM
CAFÉ ARÁBICA POR MEIO DA METODOLOGIA
REML/BLUP**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito para à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Hiroshi Sera

Londrina
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Bortolato, Kawana Silva.

Caracterização da resistência simultânea à mancha de Phoma e à mancha-de-olho-pardo em café arábica por meio da metodologia REML/BLUP

/ Kawana Silva Bortolato. - Londrina, 2025.

58 f.

Orientador: Gustavo Hiroshi Sera.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.

Inclui bibliografia.

1. Café arábica - Tese. 2. Melhoramento genético - Tese. 3. Resistência a doenças - Tese. 4. Metodologia REML/BLUP - Tese. I. Sera, Gustavo Hiroshi. II.

Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

KAWANA SILVA BORTOLATO

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA SIMULTÂNEA À
MANCHA DE PHOMA E À MANCHA-DE-OLHO-PARDO EM
CAFÉ ARÁBICA POR MEIO DA METODOLOGIA
REML/BLUP**

Tese de Doutorado apresentada à
Universidade Estadual de Londrina - UEL,
como requisito para a obtenção do título de
Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Gustavo Hiroshi Sera
IDR-Paraná / UEL

Dr^a. Flávia Rodrigues Alves Patrício
IB-APTA

Dr^a. Michele Regina Lopes da Silva
IDR-Paraná

Dr^a. Juliana Costa de Rezende Abrahão
EPAMIG

Dr. Antonio Carlos Baião
Embrapa Café

Londrina, 17 de março de 2025.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos recebidas ao longo desta jornada.

À Universidade Estadual de Londrina, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER e ao Instituto Biológico de Campinas, pelo suporte e pela estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Consórcio Pesquisa Café, pelo apoio financeiro durante esses anos.

Ao meu orientador, Dr. Gustavo Hiroshi Sera, por sua orientação, apoio e por compartilhar seu conhecimento ao longo dessa trajetória.

À Dra. Flavia Rodrigues Alves Patrício, pesquisadora do Instituto Biológico de Campinas-SP, pela disponibilidade, pelo treinamento, pela amizade e por todo o suporte durante a realização dos experimentos.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho Ana Beatriz, Gabriela, Luciana, Fernando, Poliana, Carlos, Valdir, Guilherme, Isabelly, Isabel, José Alves, Carlos Hamanaka, Julio, Alceu e Antonio, pela ajuda, parceria e momentos de descontração.

À minha família, pelo apoio incondicional desde o início desta caminhada.

Ao meu esposo, João Paulo, por sua paciência, companheirismo e por estar sempre ao meu lado, oferecendo apoio e incentivo

É justo que muito custe o que muito vale

Santa Teresa d'Ávila

..

RESUMO

BORTOLATO, Kawana Silva. **Caracterização da resistência simultânea à mancha de Phoma e à mancha-de-olho-pardo em café arábica por meio da metodologia REML/BLUP**. 2025. 58 f. Tese (Dourado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

A produtividade e a qualidade do cafeeiro são impactadas por diversos fatores, incluindo doenças como a mancha de Phoma (*Boeremia coffea*) e a mancha-de-olho-pardo (*Cercospora coffeicola*). Considerando a escassez de informações sobre a resistência genética a essas doenças e reconhecendo que a resistência varietal é a estratégia mais sustentável e economicamente viável para o manejo fitossanitário, é fundamental identificar fontes de resistência no germoplasma de cafeeiro. A seleção de genótipos resistentes poderia reduzir significativamente a necessidade de aplicação de fungicidas, minimizando assim os impactos ambientais e os custos de produção. O objetivo do trabalho foi identificar genótipos de café arábica com resistência a Mancha de Phoma e Mancha-de-olho-pardo. Foram realizadas inoculações artificiais em 72 acessos silvestres da Etiópia e em 4 cultivares comerciais (Catuaí Vermelho IAC 99, Catucaí Amarelo 2 SL, IPR 102 e IPR 103). As folhas inoculadas foram removidas, fotografadas e as imagens analisadas no Programa R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2023), utilizando o pacote Pliman (Olivoto, 2021) para determinar a porcentagem de área foliar com lesões (%AFL). Os dados da %AFL foram analisados pelo software Selegen REML/BLUP, onde os valores genotípicos foram preditos pelo BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) com base nas estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos obtidos pelo REML (*Restricted Maximum Likelihood*). Os resultados do BLUP, incluindo os valores genotípicos e seus respectivos limites inferior (LIIC) e superior (LSIC) de intervalo de confiança, foram utilizados para identificar diferenças estatísticas entre os genótipos de cafeeiro. Os valores de herdabilidade individual no sentido amplo indicaram que a resistência à mancha de Phoma (MP) é menos influenciada pelo ambiente do que a resistência à mancha-de-olho-pardo (MOP). A cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou resistência leve a ambas as doenças. A cultivar IPR 102 foi moderadamente resistente à MP e levemente resistente à MOP. Já a resistência de IPR 103 foi leve para a MP e moderada para a MOP. Catucaí Amarelo 2 SL, ao contrário do esperado, foi suscetível à MP e moderadamente resistente à MOP. Foram identificados 15 acessos com

resistência simultânea às duas doenças, com níveis de resistência iguais ou superiores aos das cultivares IPR 102 e IPR 103. Desses, seis acessos se destacaram pela resistência simultânea às duas doenças.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; *Boeremia coffea*; *Cercospora coffeicola* Etiópia, parâmetros genéticos.

ABSTRACT

BORTOLATO, Kawana Silva. **Characterization of simultaneous resistance to phoma spot and brown eye spot in arabica coffee using the REML/BLUP methodology**. 2025. 58 p. Tese (Dourado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025

Coffee productivity and quality are impacted by several factors, including diseases such as Phoma leaf spot (*Boeremia coffea*) and brown-eye leaf spot (*Cercospora coffeicola*). Considering the scarcity of information on genetic resistance to these diseases and recognizing that varietal resistance is the most sustainable and economically viable strategy for phytosanitary management, it is essential to identify sources of resistance in coffee germplasm. The selection of resistant genotypes could significantly reduce the need for fungicide application, thus minimizing environmental impacts and production costs. The objective of this study was to identify Arabica coffee genotypes with resistance to Phoma spot and brown eye spot. Artificial inoculations were performed on 72 wild accessions from Ethiopia and on 4 commercial cultivars (Catuaí Vermelho IAC 99, Catucaí Amarelo 2 SL, IPR 102 and IPR 103). The inoculated leaves were removed, photographed and the images analyzed in the R Program, version 4.2.2 (R Core Team, 2023), using the Pliman package (Olivoto, 2021) to determine the percentage of leaf area with lesions (%AFL). The %AFL data were analyzed by the Selegen REML/BLUP software, where the genotypic values were predicted by BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) based on the estimates of variance components and genetic parameters obtained by REML (Restricted Maximum Likelihood). The BLUP results, including the genotypic values and their respective lower (LIIC) and upper (LSIC) confidence interval limits, were used to identify statistical differences between the coffee genotypes. The individual heritability values in the broad sense indicated that resistance to Phoma spot (MP) is less influenced by the environment than resistance to brown eye spot (MOP). The cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 showed mild resistance to both diseases. The cultivar IPR 102 was moderately resistant to MP and mildly resistant to MOP. The resistance of IPR 103 was mild to MP and moderate to MOP. Catucaí Amarelo 2 SL, contrary to expectations, was susceptible to MP and moderately resistant to MOP. Fifteen

accessions with simultaneous resistance to both diseases were identified, with resistance levels equal to or higher than those of the cultivars IPR 102 and IPR 103. Of these, six accessions stood out for their simultaneous resistance to both diseases.

Key-words: *Coffea arabica*; *Boeremia coffea*; *Cercospora coffeicola* Ethiopia, genetic parameters

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Café.....	16
2.1.1	Importância econômica.....	16
2.1.2	Características do cafeeiro.....	16
2.1.3	Melhoramento genético do cafeeiro: histórico.....	17
2.2	Mancha de Phoma.....	19
2.2.1	Etiologia.....	19
2.2.2	Sintomatologia.....	20
2.2.3	Controle da Mancha de Phoma.....	20
2.2.3.1	Manejo preventivo.....	20
2.2.3.2	Controle químico.....	21
2.2.3.3	Resistência genética.....	22
2.3	Mancha de Olho Pardo.....	22
2.3.1	Etiologia.....	22
2.3.2	Sintomatologia.....	22
2.3.3	Controle da Mancha de Olho Pardo.....	23
2.3.3.1	Manejo preventivo.....	23
2.3.3.2	Controle químico.....	24
2.3.3.3	Resistência genética.....	24
2.4	Parâmetros genéticos.....	24
2.4.1	Componentes de Variância e Parâmetros Genéticos.....	24
2.4.2	Coefficiente de herdabilidade.....	25
2.4.3	Natureza dos efeitos estatísticos.....	26
2.4.4	Metodologia de modelos mistos REML/BLUP.....	26
2.4.4.1	Restricted Maximum Likelihood (REML).....	27
2.4.4.2	Best Linear Unbiased Prediction (BLUP).....	27
3	ARTIGO A Resistência à mancha de Phoma em cultivares e acessos silvestres de café arábica.....	29
3.1	Resumo.....	29
3.2	Abstract.....	30
3.3	Introdução.....	30
3.4	Material e Métodos.....	32
3.5	Resultados e Discussão.....	33
3.6	Conclusão.....	39
4	ARTIGO B Resistência à mancha-de-olho-pardo em cultivares e acessos silvestres de café arábica.....	41
4.1	Resumo.....	41
4.2	Abstract.....	41
4.3	Introdução.....	42
4.4	Material e Métodos.....	43
4.5	Resultados e Discussão.....	44
4.6	Conclusão.....	51
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O café possui elevada relevância econômica para o Brasil, que se destaca como o maior produtor e exportador mundial, respondendo por aproximadamente um terço da produção global. Além disso, o país ocupa a segunda posição no consumo da bebida, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. As principais espécies cultivadas são *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, sendo a primeira predominante no Brasil devido à sua superioridade qualitativa e valor agregado no mercado internacional.

A produtividade e a qualidade do cafeeiro são influenciadas por diversos fatores abióticos e bióticos. Entre os fatores abióticos, destacam-se seca, geadas, granizo e toxidez por alumínio, que comprometem o desenvolvimento da planta. Os fatores bióticos incluem pragas e doenças, sendo as principais pragas o bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*), a broca-do-cafeeiro (*Hypothenemus hampei*) e os nematoides (*Meloidogyne spp.*). Quanto às doenças, aquelas causadas por fungos representam uma ameaça significativa, destacando-se a ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix*), a mancha de Phoma (*Boeremia coffea*) e a mancha-de-olho-pardo (*Cercospora coffeicola*), além da bacteriose mancha-aureolada (*Pseudomonas syringae pv. garcae*).

A mancha de Phoma é favorecida por condições climáticas amenas, com temperaturas próximas a 20°C, alta umidade relativa, presença de neblina e ventos intensos. Os sintomas incluem manchas necróticas em tecidos jovens, principalmente em brotos apicais, podendo evoluir para necrose dos ramos, comprometendo flores e frutos e resultando na seca de ponteiros. O controle dessa doença é majoritariamente preventivo, sendo recomendado o estabelecimento de lavouras em locais menos propícios ao desenvolvimento do patógeno e a utilização de fungicidas à base de cobre, triazóis e carboxamidas. No entanto, há escassez de informações sobre cultivares com resistência genética a essa doença.

A mancha-de-olho-pardo, também conhecida como cercosporiose, é uma das doenças fúngicas mais disseminadas em lavouras cafeeiras e pode ocasionar perdas expressivas. Os sintomas característicos incluem lesões circulares castanho-escuras, frequentemente acompanhadas por um halo amarelado. Em estágios mais avançados, um ponto central escuro confere à lesão o aspecto de “olho”, justificando o nome da doença. A desfolha severa decorrente da infecção compromete a

capacidade fotossintética da planta e pode levar à seca de ramos. As estratégias de controle incluem práticas culturais, como manejo nutricional adequado, controle químico com fungicidas do grupo das estrobilurinas, triazóis, benzimidazóis e à base de cobre, e, potencialmente, o controle genético, embora haja poucos estudos sobre resistência varietal.

Diante da limitada disponibilidade de informações sobre resistência genética a ambas as doenças e considerando que a resistência varietal é a estratégia mais sustentável e economicamente viável para o manejo fitossanitário, faz-se necessária a identificação de fontes de resistência em germoplasma de cafeeiro. A seleção de genótipos resistentes permitiria reduzir significativamente a necessidade de aplicação de fungicidas, minimizando os impactos ambientais e os custos de produção.

Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a resistência simultânea à mancha de Phoma e à mancha-de-olho-pardo em café arábica utilizando a metodologia REML/BLUP.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CAFÉ

2.1.1 Importância econômica

O Brasil é o maior produtor mundial de café, concentrando cerca de um terço de toda a produção, além de ser o maior exportador, e o segundo maior consumidor. Em 2025, a primeira estimativa da safra é de 51,8 milhões de sacas de café beneficiado (ICO, 2023; USDA, 2023; CONAB, 2025).

A estimativa de produção nesta safra, indica uma redução de 4,4% em relação à anterior, visto que as lavouras foram acometidas por adversidades climáticas, o que reduziu a produção. A área total de cultivo de café no ano de 2025 é de 2,25 milhões de hectares, registrando um aumento de 0,5 % em relação à safra anterior. (CONAB, 2025).

2.1.2 Características do cafeeiro

O cafeeiro é uma planta de porte arbustivo, caule lignificado, reto e cilíndrico. Apresenta dois tipos de ramos, que crescem em direções diferentes. O ramo ortotrópico é aquele que cresce no sentido vertical, dando origem ao caule principal. Já os plagiotrópicos, crescem a partir do caule principal no sentido horizontal e são os ramos produtivos (MATIELLO et. al., 2005).

Sobre o caule, pode haver crescimento de ramos ortotrópicos chamados de ramos ladrões, favorecidos principalmente da quebra da dominância apical, decorrente de algum dano, como poda, ataques de pragas e doenças. Além disso, a formação de ramos ladrões é favorecida quando há maior exposição do caule ao sol, exigindo que sejam feitas desbrotas para retirada desses ramos (MATIELLO et. al., 2005; ALVES, 2008).

Os ramos plagiotrópicos originam ramos terciários, formando o palmetamento, que é uma característica desejável, pois aumenta a área produtiva da planta. O palmetamento pode variar de acordo com o genótipo e aumenta de acordo com a insolação, espaçamento mais aberto e faces com exposição maior ao sol da tarde.

Pode ocorrer também em ramos onde houve a morte dos ponteiros. As folhas são opostas, de aspecto coriáceo, inteiras e persistentes na maioria das espécies, de cor verde escuro brilhante na parte superior do limbo e verde mais claro e opaco com nervuras proeminentes na parte inferior (ALVES, 2008).

As gemas florais são formadas em ramos laterais e nas axilas das folhas. As flores são brancas, mas podem ser amareladas ou rosa claro como em algumas linhagens de *C. canephora*. São tubulosas, com a corola dividida em um número variável de lóbulos, apresentando-se pentâmeras em *C. arabica*. As flores crescem em rosetas, são hermafroditas e normalmente duram de três a quatro dias após a abertura (MATIELLO et. al., 2005; DAVIS et. al., 2006).

Os frutos são classificados como drupas, com duas sementes plano-convexas (achatadas). Quando ocorre o abortamento de um lóculo há a formação de sementes arredondadas, chamadas de moca. O cafeeiro apresenta sistema radicular do tipo pivotante, com 70 a 80% das raízes finas superficiais se concentrando até 30 a 40 centímetros de profundidade do solo (MATIELLO et. al., 2005; ALVES, 2008; DAVIS et. al., 2006).

2.1.3 Melhoramento genético do cafeeiro: histórico

A base genética do café é estreita, devido à introdução da espécie no Brasil ter se dado com mudas originadas de uma única planta, no ano de 1727. Portanto, os primeiros cultivos no país são considerados como uma grande progênie de um único genótipo, sendo *Typica* considerada a cultivar pioneira (CARVALHO; FAZUOLI, 1993).

O melhoramento genético era realizado por produtores, que ao multiplicar a cultura, selecionavam as melhores plantas, com maior vigor e mais produtivas, para formar mudas a partir delas. Por volta de 1859, o governo iniciou a introdução de novos materiais, visando aumentar a produtividade, trazendo a cultivar Bourbon Vermelho e, por volta do ano 1896, a cultivar Sumatra (CARVALHO, 1952).

Além da introdução de novos genótipos, houve o surgimento dos genótipos Maragogipe, Caturra Amarelo, Caturra Vermelho e Amarelo de Botucatu, através de mutações espontâneas (CARVALHO, 1952; CARVALHO, et al., 1957).

Pode-se destacar também a cultivar Mundo Novo, que tem como origem o

cruzamento natural entre Bourbon Vermelho e Typica. Após a seleção, foi liberada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 1952 e a partir de 1977 foram liberadas novas seleções. O IAC iniciou os estudos sobre café com programas de melhoramento a partir de 1932 (FAZUOLI et al., 2007).

Os materiais pertencentes ao grupo Catuaí correspondem' ao cruzamento entre Mundo Novo IAC 374-19 e Caturra Amarelo IAC 176-11, realizado no IAC no ano de 1949, com o objetivo de transferir genes responsáveis pelo porte baixo do Caturra Amarelo para o Mundo Novo. Somente em 1972 foram lançadas cultivares comercialmente, como o Catuaí Vermelho e o Catuaí Amarelo (FAZUOLI et al., 2007).

Na década de 70, o esforço era voltado para obtenção de cultivares resistentes à ferrugem alaranjada, então foram criados programas de melhoramento em diversas instituições brasileiras, como ex-Instituto Brasileiro do Café (IBC), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e o antigo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), atual Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná). Além da resistência à ferrugem alaranjada, também tiveram início pesquisas relacionadas a outras doenças e pragas, como mancha aureolada, a nematoides, bicho mineiro e a fatores abióticos, como resistência a geada.

A partir de 1990, os Institutos de Pesquisa, em parceria com a UFV (Universidade Federal de Viçosa) e UFLA (Universidade Federal de Lavras), iniciaram o lançamento de cultivares originadas de cruzamentos entre Catuaí x Mundo Novo, Villa Sarchi x Híbrido de Timor, Catuaí x Icatu de Porte Baixo, entre outras. O IDR-Paraná lançou as cultivares IAPAR 59, IPR 98 e IPR 99, que são originadas do cruzamento entre Villa Sarchi CIFC 971/10 com Híbrido de Timor CIFC 832/2, e IPR 107, que é derivado do IAPAR 59 e Mundo Novo IAC 376-4. No ano de 2006, foi lançado o IPR 103 (SERA et al., 2013) e em 2015 o IPR 102(SERA et. al., 2017). Ambos possuem a mesma origem (Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu de porte baixo), porém de plantas F1 diferentes.

O melhoramento genético de cafeeiros, além de resistência a pragas e doenças, busca produtividades superiores às cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo, as mais cultivadas ainda no Brasil (CHALFOUN; REIS, 2010). A diferença na maturação de frutos também é desejável, visto que facilitaria o escalonamento de colheita, aumentando a eficiência no uso de mão de obra e evitaria perdas em qualidade devido à coincidência com períodos chuvosos (MATIELLO et. al., 2005;

SERA, 2001).

2.2 MANCHA DE PHOMA

A Mancha de Phoma é uma doença fúngica que acomete cafeeiros, podendo causar danos severos e grandes prejuízos, se houver condições favoráveis ao seu desenvolvimento (NOJOSA, et al., 2009). Pode causar danos desde plantas jovens até adultas e é altamente dependente de condições climáticas para se desenvolver. Foi identificada inicialmente, no ano de 1975, no estado do Espírito Santo em lavouras de café arábica, onde os sintomas eram confundidos com deficiência de Boro (SALGADO; PFENNING, 2000).

2.2.1 Etiologia

A Mancha de Phoma do cafeeiro é causada por fungos do gênero *Boeremia*. É uma doença de grande importância, principalmente em lavouras de altitude acima de 800 metros (PATRÍCIO; OLIVEIRA, 2013). A doença pode ocorrer desde a formação de mudas, em viveiro, até plantas adultas, em fase produtiva (LIMA et. al., 2010). Segundo Salgado e Pfenning (2000), a parte aérea do cafeeiro pode abrigar muitas espécies do gênero Phoma, sendo as mais comuns Phoma tarda e P. costarricensis.

O agente causal, foi reclassificado por Aveskamp et al., (2010) como *Boeremia exigua* var. *coffae*. Através de uma análise filogenética, foi observada uma semelhança genética entre *P. tarda* e o complexo de espécies de *B. exigua*, sendo então, a primeira reclassificada como uma variedade da segunda. Outras espécies do gênero não possuem essa similaridade com *Boeremia*, por isso não houve modificação em sua nomenclatura.

A espécie *B. exigua* var. *coffae* pertence ao filo *Ascomycota*, classe *Dothideomycetes*, ordem *Pleosporales*, família *Didymellaceae* e gênero *Boeremia*.

Posteriormente, o patógeno foi novamente reclassificado, agora como *Boeremia coffea* (Hou et al., 2020).

2.2.2 Sintomatologia

As lesões têm início na parte apical da planta, principalmente nos brotos terminais, folhas jovens com tecidos tenros, onde ainda não há barreiras físicas de resistência à penetração do fungo. O principal sintoma é a necrose das folhas, podendo avançar até o ramo, rosetas florais e frutos, resultando em perdas que podem variar de 15 a 43% (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Quando a lesão atinge a borda das folhas, elas se encurvam e podem apresentar rachaduras. Em ramos, podem aparecer lesões deprimidas escuras, envolvendo todo seu diâmetro e, conseqüentemente, atingir flores e frutos (SALGADO et al., 2009; POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Regiões com altitude superior a 900 metros, com temperaturas inferiores a 20°C, umidade relativa do ar abaixo de 70% e com ventos fortes podem ter danos mais severos, mesmo que sem a presença de chuva, porém com molhamento foliar de no mínimo quatro horas (SALGADO et al., 2002; SALGADO et al., 2009; LIMA et al., 2010). Danos mecânicos nas folhas, causados por ventos, insetos ou ação humana, facilitam a penetração do fungo (CARVALHO et al., 2011). De acordo com Lorenzetti et al. (2015), o tubo germinativo aumenta de forma significativa quando a temperatura varia de 15 a 20°C e há um período relativamente longo de molhamento foliar.

2.2.3 Controle da Mancha de Phoma

O controle deve ter início com medidas que tenham como objetivo prevenir a instalação da doença e facilitar o controle químico, quando tornar-se necessário.

2.2.3.1 Manejo preventivo

O manejo preventivo deve ser realizado desde o viveiro até a implantação da lavoura. Deve-se evitar locais com alta incidência de vento e com uma drenagem ruim.

A irrigação deve ser controlada, de preferência ser realizada via gotejamento e realizar o espaçamento das mudas para evitar longos períodos de molhamento foliar (SOUZA, 2007). Para proteção da lavoura, devem ser evitados locais com ventos fortes e desprotegidos ou pode-se optar pelo uso de quebra ventos (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997; LIMA et al. 2010).

É preciso ficar atento ao estado nutricional da planta, pois desequilíbrios nutricionais podem favorecer a infecção. Por exemplo, altos níveis de nitrogênio aumentam tecidos tenros, além de aumentar a concentração de amidas e aminoácidos na superfície foliar, o que favorece a infecção por fungos, principalmente (MARSCHNER et al., 2005).

Já o potássio, quando em níveis adequados, reduz a intensidade da Mancha de Phoma em cafeeiros, pois aumenta a espessura da cutícula e da parede celular, o que dificulta a penetração e o processo de infecção (LIMA et al., 2010).

2.2.3.2 Controle químico

O controle químico é indispensável quando a lavoura está em uma região propícia ao desenvolvimento da doença (SOUZA, 2007). Atualmente tem-se recomendado realizar pulverizações foliares na pré e pós florada, visando proteger os frutos, garantindo uniformidade nas rosetas.

Produtos à base de cobre podem ser utilizados através da aplicação via foliar, sendo os mais utilizados os óxidos e hidróxidos (POZZA; CARVALHO; CHALFON, 2010). Porém a eficiência dos produtos à base de cobre pode variar de acordo com a fonte utilizada (MORAES et al., 2009).

De acordo com Moraes et al. (2014), hidróxido de cobre e cobre EDTA, se aplicados a cada quinze dias, de forma preventiva, foram efetivos no controle da mancha de phoma.

As pulverizações geralmente ocorrem de setembro, quando ocorrem as primeiras chuvas e continuam até dezembro, se as condições favoráveis ao desenvolvimento persistirem. As aplicações devem ser repetidas a cada trinta dias, objetivando a proteção de botões florais e frutos em formação (SANTOS et al., 2007).

2.2.3.3 Resistência genética

Pouco se conhece sobre a resistência de cultivares à Mancha de Phoma. De acordo com Pereira e Baião (2015), as cultivares Catucaí Amarelo 2SL e Catucaiam 2015479, desenvolvidas pela Fundação Procafé, são menos infectadas pelo patógeno.

2.3 MANCHA DE OLHO PARDO

A mancha de olho pardo é uma doença fúngica causada por *Cercospora coffeicola*. Foi identificada pela primeira vez em 1881 por Berkeley & Cooke, causando infecção em espécies de plantas do gênero *Coffea*. Atualmente encontra-se disseminada nas principais regiões cafeeiras do Brasil e do mundo, sendo conhecida por várias denominações, dependendo do local onde ocorre, tais como Mancha de Olho Pardo, Cercosporiose, Mancha Olho de Pomba (POZZA et al., 2010; ZAMBOLIM, 2015).

2.3.1 Etiologia

É causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk. e Cooke, pertencente à família *Dematiaceae*, ordem *Moniliales*, classe *Deuteromycetes* (ZAMBOLIM, 2015). O fungo produz dois tipos de estruturas reprodutivas, os conidióforos e conídios, que se formam no centro das lesões. O conídio emite tubo germinativo que penetra pelas aberturas dos estômatos e coloniza os tecidos do hospedeiro por meio das hifas, estes podendo permanecer viáveis por quase nove meses na superfície foliar, aguardando condições favoráveis para sua disseminação e desenvolvimento (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997).

2.3.2 Sintomatologia

Os sintomas característicos da doença são: manchas circulares nas folhas,

com tonalidades que variam de marrom claro a escuro, e com o centro de coloração acinzentada ou branca, estas, geralmente, cercadas por um anel amarelo. Nas áreas expostas ao sol, podem surgir manchas de cor marrom ou arroxeada, deprimidas e que escurecem com o tempo (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

O patógeno causa danos em folhas e frutos de plantas de café, tanto em mudas quanto em plantas jovens e adultas em campo (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997). Em condições de viveiro, a desfolha causa diminuição da taxa de desenvolvimento das mudas, a qual prejudica o plantio e a comercialização (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010; SILVA et al., 2016). Em campo, o patógeno causa lesões em folhas e frutos, ocorrendo a desfolha e queda dos frutos, seca de ramos e diminuição da produtividade e qualidade de bebida (MARTINS; MAFFIA; MIZUBUTI, 2008).

A intensidade da doença está relacionada aos ambientes com extrema insolação, os quais favorecem a ativação da produção de cercosporina pelo patógeno (DAUB; HERRERO; CHUNG, 2005; SILVA et al., 2016), ao desbalanceamento nutricional, principalmente em lavouras formadas em solos arenosos (ZAMBOLIM, 2015) e à variabilidade genética das populações de *C. coffeicola* (MARTINS; MAFFIA; MIZUBUTI, 2008).

2.3.3 Controle da Mancha de Olho Pardo

2.3.3.1 Manejo preventivo

As principais práticas de controle preventivo são a adubação equilibrada e a correção do solo, desde mudas até a implantação e condução a campo. Deve-se também evitar solos muito arenosos e compactados, visando um bom desenvolvimento radicular. Recomenda-se evitar insolações muito intensas ou uma repentina retirada da cobertura das mudas, sendo importante a realização da aclimação das mudas (POZZA et al., 2010).

O equilíbrio entre os elementos Calcio (Ca) e Potássio (K) em plantas adultas, pode reduzir a intensidade da Mancha de Olho Pardo. O excesso de K pode aumentar a intensidade da doença, enquanto o aumento de doses de Ca e N pode diminuir

(POZZA et al., 2001).

2.3.3.2 Controle químico

O controle químico é, majoritariamente, realizado pela aplicação de estrobilurinas, triazóis, benzimidazóis e cúpricos, isolados ou em misturas. Vale ressaltar que o uso excessivo de fungicidas pode ocasionar a resistência por parte do fungo, ou seja, diminuir a eficácia com o passar do tempo. Portanto, é essencial adotar uma abordagem integrada, combinando diferentes métodos de controle (POZZA et al., 2010).

2.3.3.3 Resistência genética

A pesquisa e o desenvolvimento de cultivares de café resistentes à Mancha de Olho Pardo são fundamentais e viáveis, já que existe variabilidade genética para essa característica. Alguns estudos identificaram resistência à MOP em cultivares de café arábica (PATRICIO; BRAGHINI; FAZUOLI, 2010; BOTELHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2017), indicando que pode ser uma boa alternativa para controle dessa doença. Apesar de haver alguns estudos, ainda não se conhece o mecanismo de resistência e o tipo de herança.

2.4 PARÂMETROS GENÉTICOS

2.4.1 Componentes de Variância e Parâmetros Genéticos

Para estudos em cafeeiros, os caracteres com maior interesse são de natureza quantitativa. A estimativa dos parâmetros pode apresentar valores variáveis, consequência da expressão de diferentes genes ao longo do desenvolvimento em plantas perenes (FERRÃO et al., 2008). O efeito ambiental dificulta o estudo desses caracteres, influenciando a expressão de fenótipos, em função do material genético, das condições ambientais, da época e idade de avaliação, entre outros fatores, sendo

necessário, para uma seleção, isolar esse efeito (OLIVEIRA et al., 2011; RAMALHO et al., 2012).

A covariância entre os genótipos e o ambiente se torna nula, quando utilizada a casualização dos genótipos no experimento, onde o valor do fenótipo é o resultado conjunto dos efeitos do ambiente e genético (RESENDE, 2002; BORÉM; MIRANDA, 2013). E, também, quando se vincula vários ambientes chamada de interação genótipo x ambiente (locais, colheitas, anos). A variância fenotípica é o somatório das variâncias genotípica, ambiental e interação genótipo x ambiente (BORÉM; MIRANDA, 2013).

2.4.2 Coeficiente de herdabilidade

A estimativa de herdabilidade (h^2) é um dos parâmetros mais relevantes no melhoramento genético, pois indica a proporção da variação fenotípica que pode ser transmitida entre gerações (RESENDE, 2002; RAMALHO et al., 2012). Quando a herdabilidade é igual a 1, o fenótipo é determinado exclusivamente pelo genótipo, sem influência do ambiente. Por outro lado, quando seu valor é zero, significa que a expressão fenotípica é totalmente dependente das condições ambientais (FALCONER; MACKAY, 1996). Segundo Resende (2002), herdabilidades com valores inferiores a 0,15 são classificadas como baixas; entre 0,15 e 0,50, como médias; e acima de 0,50, como altas. Dessa forma, valores elevados desse parâmetro indicam maior potencial de sucesso na seleção, pois refletem uma maior transmissão dos efeitos genéticos aos descendentes (RAMALHO et al., 2012).

A herdabilidade pode ser estimada em sentido amplo ou restrito. No sentido amplo, corresponde à razão entre a variância genotípica total e a variância fenotípica. Já no sentido restrito, considera-se a razão entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica (FEHR, 1991). Em espécies de reprodução sexuada, a herdabilidade no sentido restrito tem maior aplicação, pois mensura a importância relativa da proporção aditiva da variância genética que será transmitida às futuras gerações (FEHR, 1991; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

2.4.3 Natureza dos efeitos estatísticos

A definição do modelo estatístico ideal para avaliação genética requer a caracterização dos efeitos como fixos ou aleatórios. Um efeito é classificado como fixo quando suas conclusões são aplicáveis apenas ao próprio conjunto analisado. Dessa forma, quando o estudo envolve um efeito de natureza fixa, ele não representa uma amostra da população, mas sim o próprio material de interesse (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Para efeitos fixos, assume-se a existência de um conjunto finito de respostas, abrangendo todos os níveis relevantes para a pesquisa (DUCHATEAU; JANSSEN, 1997).

Por outro lado, um efeito é considerado aleatório quando o material genético avaliado representa uma amostra da população, sendo utilizado para caracterizar a população como um todo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). No caso dos efeitos aleatórios, pressupõe-se um conjunto infinito de respostas relacionadas às amostras da população estudada (DUCHATEAU; JANSSEN, 1997). Assim, ao tratar um fator como aleatório, entende-se que os níveis observados são considerados uma amostra aleatória de uma distribuição probabilística assumida (RESENDE, 2004).

2.4.4 Metodologia de modelos mistos REML/BLUP

Métodos estatísticos tradicionais, como a análise de variância (ANAVA) e a análise de regressão, são amplamente utilizados. No entanto, apresentam limitações quando aplicados a conjuntos de dados desbalanceados (RESENDE, 2004; DUARTE, 2010). O uso da metodologia de modelo misto REML/BLUP com tratamentos de efeitos aleatórios fornece resultados mais ao considerar dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais (DUARTE; VENCOSKY, 2001; DUARTE, 2010).

O procedimento REML/BLUP é amplamente utilizado para a predição de valores genéticos e a estimativa de componentes de variância, proporcionando alta precisão nessas análises (RESENDE, 2004). O método de predição mais eficiente para valores genéticos é o Best Linear Unbiased Prediction (BLUP), que significa "melhor predição linear não viciada" de variáveis aleatórias (HENDERSON, 1973; RESENDE, 2002). Na análise baseada na metodologia REML/BLUP, o BLUP utiliza

estimativas de variâncias obtidas pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML – Restricted Maximum Likelihood), garantindo maior eficiência na seleção (RESENDE, 2016). Além disso, o uso de modelos estatísticos para a seleção de plantas individuais é fundamental para o sucesso no melhoramento genético do café arábica (PETEK; SERA; FONSECA, 2008; OLIVEIRA et al., 2011).

Na metodologia de modelos mistos, a significância dos efeitos aleatórios não é testada da mesma forma que na análise de variância (ANAVA). Nesse contexto, aplica-se o Teste da Razão de Verossimilhança (Likelihood Ratio Test – LRT), realizado por meio da Análise Deviance (ANADEV) (RESENDE, 2007; 2016). O LRT é uma estatística obtida a partir da razão entre as verossimilhanças do modelo completo e do modelo reduzido, ou seja, corresponde à diferença entre as deviances do modelo completo e do modelo sem o efeito a ser testado (RESENDE, 2007). A significância desse efeito indica a existência de variabilidade genética, tornando viável a seleção dos tratamentos avaliados (NIELSEN et al., 2014).

2.4.4.1 Restricted Maximum Likelihood (REML)

O método REML, é uma generalização da ANAVA para situações mais complexas (RESENDE, 2004). Esse método permite a separação da variação fenotípica nos seus componentes genético e ambiental e dos componentes de interação genótipo x ambiente (RESENDE, 2016). Além disso, a partir do método REML, é possível obter as estimativas dos componentes de variância exigidas para a aplicação no BLUP (RESENDE, 2007; 2016).

2.4.4.2 Best Linear Unbiased Prediction (BLUP)

O BLUP é o procedimento ótimo de seleção para efeitos genéticos aditivos, de dominância e genotípicos, a depender da situação (RESENDE, 2016). Quando os genótipos são considerados como efeito aleatório, o BLUP pode minimizar o erro de predição e, maximizar o ganho genético por seleção e aumentar a probabilidade de uma seleção assertiva do melhor genótipo (RESENDE, 2004)

As principais vantagens da metodologia REML/BLUP são: comparação de indivíduos ou variedades ao longo do tempo e do espaço; identificar efeitos ambientais; estimar os componentes de variância; e a predizer valores genéticos e poder ser aplicado em dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais (RESENDE, 2016).

3 ARTIGO A RESISTÊNCIA À MANCHA DE PHOMA EM CULTIVARES E ACESSOS SILVESTRES DE CAFÉ ARÁBICA.

3.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos para avaliação da resistência à mancha de Phoma em acesso silvestres etíopes e cultivares de *C. arabica*, utilizando a metodologia REML/BLUP. Foram avaliados 72 acessos silvestres da Etiópia e quatro cultivares de *C. arabica*, submetidos à inoculação artificial com *Boeremia coffeae*. Após a inoculação, as folhas foram fotografadas e avaliadas para determinar a porcentagem de área foliar lesionada (%AFL) utilizando o pacote Pliman (Olivoto, 2021) do Programa R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2023) e posteriormente, os dados foram analisados no software Selegen REML/BLUP. A análise dos dados mostrou variabilidade genética significativa entre os genótipos para resistência à mancha de Phoma, com uma herdabilidade de 0,74, indicando que a resistência à doença é amplamente determinada por fatores genéticos. Isso sugere que a seleção de genótipos resistentes pode ser eficiente. A herdabilidade alta observada neste estudo é semelhante a resultados de outras pesquisas sobre resistência a doenças em cafeeiros. Além disso, a acurácia dos valores genotípicos preditos foi alta, variando entre 0,80 e 0,88, o que confere confiabilidade nas estimativas genéticas. Os resultados mostraram que existe uma boa distinção entre os genótipos mais suscetíveis e os mais resistentes à mancha de Phoma. Genótipos como E021/IDR.011 e E016/IDR.298 apresentaram as maiores porcentagens de área foliar lesionada, indicando que são altamente suscetíveis. Por outro lado, acessos como E037/IDR.676 demonstraram resistência muito alta à doença. Conclui-se que a utilização da metodologia REML/BLUP foi eficaz para avaliar a resistência à mancha de Phoma, oferecendo um método robusto para a seleção de genótipos resistentes, com base em parâmetros genéticos e ambientais.

Palavras-chave: *Boeremia coffeae*, *Coffea arabica*, Etiópia, parâmetros genéticos, REML/BLUP.

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to estimate genetic parameters and predict genotypic values for evaluating resistance to Phoma leaf spot in Ethiopian wild accessions and cultivars of *C. arabica*, using the REML/BLUP methodology. Seventy-two Ethiopian wild accessions and four cultivars of *C. arabica* were evaluated, subjected to artificial inoculation with *Boeremia coffeae*. After inoculation, the leaves were photographed and evaluated to determine the percentage of injured leaf area (%AFL) using the Pliman package (Olivoto, 2021) of the R Program, version 4.2.2 (R Core Team, 2023) and subsequently, the data were analyzed in the Selegen REML/BLUP software. Data analysis showed significant genetic variability among genotypes for resistance to Phoma leaf spot, with a heritability of 0.74, indicating that resistance to the disease is largely determined by genetic factors. This suggests that the selection of resistant genotypes can be efficient. The high heritability observed in this study is similar to results from other studies on disease resistance in coffee plants. In addition, the accuracy of the predicted genotypic values was high, ranging from 0.80 to 0.88, which provides reliability to the genetic estimates. The results showed that there is a good distinction between the most susceptible and the most resistant genotypes to Phoma spot. Genotypes such as E021/IDR.011 and E016/IDR.298 presented the highest percentages of injured leaf area, indicating that they are highly susceptible. On the other hand, accessions such as E037/IDR.676 demonstrated very high resistance to the disease. It is concluded that the use of the REML/BLUP methodology was effective in evaluating resistance to Phoma spot, offering a robust method for the selection of resistant genotypes, based on genetic and environmental parameters.

Key words: *Boeremia coffea*, *Coffea arabica*, Ethiopia, genetic parameters, REML/BLUP.

3.3 INTRODUÇÃO

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas comerciais no mundo, sendo responsável por grande parte da produção global de café, destacando-se pela sua qualidade sensorial e pela preferência dos consumidores (FAO, 2021). No

entanto, sua produção enfrenta uma série de desafios fitossanitários, entre os quais as doenças de origem fúngica, como a mancha de Phoma (*Boeremia coffea*). A mancha de Phoma, em particular, é uma doença foliar que afeta a planta em diversas fases de desenvolvimento, resultando em perda de área foliar e redução na produtividade (CASTRO et al., 2007; FERREIRA et al., 2013).

O desenvolvimento de novas cultivares de café com resistência à mancha de Phoma é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção, uma vez que a utilização de fungicidas, embora eficaz, tem implicações ambientais e econômicas, além de possíveis riscos à saúde (OLIVEIRA et al., 2011).

A resistência genética ao patógeno pode ser classificada em diferentes níveis, e é fundamental identificar as fontes de resistência mais eficazes para uso em programas de melhoramento. Entre as fontes potenciais de resistência, destacam-se os acessos silvestres, especialmente os provenientes da Etiópia, país considerado o centro de origem do cafeeiro e que possui uma rica diversidade genética (SETE et al., 2018).

O uso de germoplasma de acessos silvestres pode ser uma solução eficaz para melhorar a resistência a doenças, uma vez que muitos desses genótipos possuem características fenotípicas favoráveis. No entanto, a identificação dessas fontes de resistência requer o uso de metodologias avançadas de avaliação genética e estatística, como a metodologia REML/BLUP (Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction). Esses métodos permitem estimar com precisão os componentes de variância genética e prever os valores genéticos dos genótipos, facilitando a seleção de indivíduos com características desejáveis de forma mais eficiente (RESENDE, 2002; GIANOTTI et al., 2017).

O método REML é utilizado para estimar os parâmetros de variância a partir de modelos de efeitos mistos, enquanto o BLUP fornece previsões de valores genéticos para os indivíduos, com a vantagem de ser uma previsão não enviesada e linear. Esta abordagem permite, portanto, uma seleção mais robusta de genótipos para resistência a doenças, além de possibilitar o controle mais preciso dos efeitos ambientais na expressão dos fenótipos (RESENDE, 2004).

Em características quantitativas, recomenda-se que a avaliação genética seja fundamentada na estimativa de parâmetros genéticos, a fim de entender o controle genético e, assim, obter estimativas precisas que possibilitem prever os valores genotípicos com maior acurácia (RESENDE, 2016). O método *Restricted Maximum*

Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction (REML/BLUP) é destacado como uma abordagem adequada para a avaliação genética no cafeeiro (Petek, Sera, Fonseca, 2008; Pereira et al., 2014; Rezende et al., 2019).

Portanto, o objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos para avaliação da resistência à mancha de Phoma em acesso silvestres etíopes e cultivares de *C. arabica*, utilizando a metodologia REML/BLUP.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 72 acessos silvestres da Etiópia, do Banco Ativo de Germoplasma do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) e quatro cultivares (Catuaí Vermelho IAC 99, Catucaí Amarelo 2SL, IPR 102 e IPR 103). As mudas com seis pares de folhas em tubetes foram produzidas no IDR-Paraná e submetidas a inoculação artificial, no Laboratório de Fitopatologia do Instituto Biológico em Campinas-SP, com um isolado de *Boeremia coffea*, denominado IBLF 1199. Foram inoculados os últimos dois pares de folhas completamente expandidos, com quatro discos de micélio em cada. Os discos foram fixados com fita adesiva transparente, a fim de não se soltarem. Posteriormente as plantas foram colocadas em câmara úmida e transferidas para B.O.D., com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 20°C ± 0,2, por 7 dias.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com dez repetições de uma planta por parcela. As folhas inoculadas foram removidas e fotografadas, e as imagens analisadas através do Programa R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2023), utilizando o pacote Pliman (Olivoto, 2021) para determinar a porcentagem de área foliar lesionada (%AFL). Os dados das avaliações foram submetidos ao software Selegen – REML/BLUP (RESENDE, 2016) com a finalidade de estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genotípicos, conforme o modelo linear misto: $y = Xu + Zg + e$, em que: y é o vetor dos dados fenotípicos; u é o escalar referente à média geral (efeito fixo); g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios); e é o vetor de erros ou resíduo (aleatórios). As letras maiúsculas X e Z representam as matrizes de incidência para os efeitos u e g , respectivamente. Em seguida, os resultados do BLUP para os valores genotípicos e seus respectivos limites de intervalos de confiança inferior (LIIC) e superior (LSIC) foram utilizados para identificar as diferenças estatísticas entre os cafeeiros.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos valores de LRT (Tabela 1), obtidos por meio da análise das deviances (ANADEV), foi observada significância a 1% para o efeito do genótipo, demonstrando que existe variabilidade genética para a resistência à mancha de Phoma (MP) entre os 76 genótipos avaliados pela variável porcentagem da área foliar lesionada (%AFL).

Tabela 1 – Análise de deviance (ANADEV): Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos (Gen) e do modelo completo (C) para a variável porcentagem da área foliar com lesões (%AFL) de mancha de Phoma em 76 genótipos de *Coffea arabica*.

Efeito	%AFL	
	Dev	LRT
Gen	5127,05	739,12**
C	4387,93	

**.: resultados significativos ao nível de 1% pelo teste de qui-quadrado.

A herdabilidade é um parâmetro que indica a proporção da variação fenotípica atribuída a fatores genotípicos. A herdabilidade individual no sentido amplo (h^2_g) foi 0,74, considerada de alta magnitude conforme a classificação de Resende (2002), que considera as herdabilidades com valores abaixo de 0,15, entre 0,15 e 0,50 e acima de 0,50, respectivamente, de magnitudes baixa, moderada e alta (Tabela 2). Esse valor de herdabilidade ressalta a existência de alta variabilidade genética para a resistência à MP entre os cafeeiros, além de indicar que essa característica foi influenciada principalmente por fatores genéticos e teve pouca influência ambiental.

O alto valor da h^2_g para resistência à Mancha de Phoma foi similar ao encontrado em outros estudos sobre a resistência do cafeeiro à ferrugem alaranjada, nos quais foram obtidos herdabilidades no sentido amplo de 0,75 (ALEMAYEHU, 2019) e 0,50 (ATINAFU; MOHAMMED; KUFA, 2017). Em estudo recente, foi verificado que as resistências de três acessos silvestres da Etiópia (E37, E338 e T4340) às bacterioses mancha aureolada e à mancha bacteriana são controladas,

respectivamente, pelos genes dominantes denominados *Pga* e *Pta*, ambos de caráter qualitativo (SERA et al., 2023). Neste mesmo estudo os valores das herdabilidades foram de 0,99, demonstrando que para essas duas bacterioses a influência ambiental é quase nula.

Tabela 2 – Componentes de variância e parâmetros genéticos e não genéticos para a variável porcentagem da área foliar com lesões (%AFL) de mancha de Phoma em 76 genótipos de *Coffea arabica*.

Componente/ parâmetro	%AFL
σ^2_g	317,27
σ^2_e	109,66
σ^2_f	426,93
h^2_g	0,74
CVgi%	48,32
CVe%	28,41
μ	36,86

(¹) σ^2_g : variância genotípica; σ^2_e : variância residual; σ^2_f : variância fenotípica; h^2_g : herdabilidade individual no sentido amplo ou dos efeitos genotípicos totais; CVgi: coeficiente de variação genotípica; CVe: coeficiente de variação residual; μ : média geral do experimento.

Um dos prováveis motivos para as altas magnitudes da herdabilidade no sentido amplo se deve ao fato dessas resistências às doenças ferrugem alaranjada, mancha aureolada e mancha bacteriana serem governadas por genes de efeito qualitativo e quantitativo (BETTENCOURT e RODRIGUES JUNIOR, 1988; ESKES et al., 1990; SERA et al., 2023). É possível que os cafeeiros com os menores valores genotípicos (VGs) (Tabela 3) tenham genes de resistência de caráter qualitativo e quantitativo, enquanto os cafeeiros com resistência intermediária tenham uma predominância de genes de caráter quantitativo. Porém essas hipóteses precisam ser confirmadas em estudos de herança.

Tabela 3 – Valores genotípicos ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC), limite superior do intervalo de confiança (LSIC), níveis de resistência (NR) e valores fenotípicos (f) para a variável porcentagem da área foliar com lesões (%AFL) de mancha de Phoma em 76 genótipos de *Coffea arabica*, ranqueados dos cafeeiros

mais suscetíveis para os mais resistentes.

Rank	Genótipos	u+g	LIIC	LSIC	NR⁽¹⁾	f
1	E080/IDR.584	74,95	67,45	82,45	HS	76,27
2	E088/IDR.3435	73,67	66,17	81,17	HS	74,94
3	E068/IDR.014	72,31	64,81	79,81	HS	73,54
4	E130/IDR.169	70,96	63,46	78,46	HS	72,14
5	E213/IDR.211	70,63	63,13	78,13	HS	71,79
6	E159/IDR.656	67,18	58,66	75,69	HS	68,67
7	E123a/IDR.667	63,97	56,47	71,47	HS	64,90
8	E148/IDR.254	63,53	56,03	71,03	HS	64,45
9	E071/IDR.557	62,74	55,24	70,24	S	63,64
10	E220/IDR.127	62,65	55,15	70,15	S	63,54
11	E087/IDR.195	59,10	51,60	66,60	S	59,87
12	E081/IDR.041	58,24	50,73	65,74	S	58,97
13	E123b/IDR.120	54,42	46,92	61,92	S	55,03
14	E116/IDR.286	53,87	46,37	61,37	S	54,46
15	Catucuí A. 2SL	53,40	43,74	63,06	S	54,55
16	E174/IDR.164	51,22	43,72	58,72	S	51,72
17	E205/IDR.078	51,12	43,62	58,62	S	51,61
18	E201/IDR.134	49,97	42,47	57,47	S	50,42
19	E152/IDR.167	48,09	40,58	55,59	L	48,47
20	E221/IDR.214	47,99	40,49	55,49	L	48,38
21	E183/IDR.138	46,92	39,14	54,70	L	47,31
22	E199/IDR.092	46,22	38,72	53,72	L	46,55
23	E139/IDR.663	45,16	37,66	52,66	L	45,45
24	E131/IDR.018019	43,35	35,85	50,85	L	43,57
25	IPR 103	42,32	32,66	51,98	L	42,70
26	E302/IDR.083	41,56	33,05	50,08	L	41,80
27	E218/IDR.641642	40,83	33,33	48,33	L	40,96
28	E267/IDR.374	40,55	33,05	48,05	L	40,68
29	Catuaí V. IAC 99	40,02	30,36	49,68	L	40,24
30	E146/IDR.012	39,29	31,79	46,79	L	39,37
31	E046/IDR.021	39,19	31,69	46,69	L	39,27

32	E180/IDR.227	37,65	30,15	45,15	L	37,68
33	IPR 102	36,34	26,68	46,00	M	36,31
34	E368/IDR.600	36,21	27,69	44,72	L	36,17
35	E055/IDR.596597	36,18	28,68	43,68	L	36,16
36	E041/IDR.662	36,17	28,67	43,67	L	36,15
37	E209/IDR.182	35,54	28,04	43,04	L	35,49
38	E057/IDR.497	34,78	27,28	42,29	L	34,71
39	E151/IDR.575	34,22	26,72	41,72	M	34,13
40	E237/IDR.171	33,64	26,14	41,14	M	33,53
41	E017/IDR.047	33,35	25,85	40,85	M	33,23
42	E196/IDR.117	33,22	25,72	40,72	M	33,10
43	E047/IDR.267	32,54	25,03	40,04	M	32,39
44	E039/IDR.668	32,29	24,79	39,79	M	32,13
45	E332/IDR.232	31,78	23,27	40,30	M	31,53
46	E189/IDR.119	31,39	23,89	38,89	M	31,20
47	E546/IDR.563	30,98	23,48	38,48	M	30,78
48	E254/IDR.285	30,09	22,59	37,59	M	29,85
49	E007/IDR.087	29,20	21,42	36,98	M	28,91
50	E324/IDR.093	27,98	20,48	35,48	M	27,67
51	E044/IDR.122	26,98	19,48	34,48	M	26,63
52	E315/IDR.639	26,59	19,09	34,09	M	26,23
53	E301/IDR.111	26,23	18,73	33,73	M	25,86
54	E287/IDR.234	25,56	18,06	33,06	M	25,17
55	E320/IDR.145	25,49	17,99	32,99	M	25,10
56	E326/IDR.251	23,14	15,64	30,64	M	22,67
57	E331/IDR.280	22,57	15,06	30,07	MH	22,07
58	E030/IDR.075	21,89	14,39	29,39	MH	21,37
59	E283/IDR.620	21,84	14,34	29,34	MH	21,32
60	E261/IDR.052	21,76	14,26	29,26	MH	21,24
61	E238/IDR.022	21,54	14,04	29,04	MH	21,01
62	E268/IDR.207	21,35	13,85	28,85	MH	20,81
63	E272/IDR.144	21,19	13,69	28,69	MH	20,65
64	E419/IDR.297	21,12	13,62	28,62	MH	20,57

65	E233/IDR.398	20,83	13,33	28,33	MH	20,28
66	E298/IDR.382	19,55	12,05	27,05	MH	18,95
67	E061/IDR.126	19,13	11,63	26,63	H	18,52
68	E333/IDR.104	19,10	11,60	26,61	H	18,49
69	E025/IDR.308	18,97	11,70	26,23	H	18,41
70	E228/IDR.534	16,25	8,75	23,75	H	15,54
71	E270/IDR.044	14,91	7,41	22,41	H	14,15
72	M7846/IDR.256	13,96	6,46	21,46	H	13,17
73	E037/IDR.676	7,94	0,44	15,44	VH	6,94
74	E018/IDR.494	6,09	-1,41	13,59	VH	5,03
75	E016/IDR.298	4,48	-3,02	11,98	VH	3,36
76	E021/IDR.011	4,08	-3,69	11,86	VH	2,83
		36,86	29,19	44,54		36,88

(¹) Níveis de resistência: HS = altamente suscetível; S = suscetível; L = leve; M = moderada; MH = moderada-alta; H = alta; VH = muito alta.

No presente estudo, a acurácia dos valores genotípicos preditos variaram de 0,80 a 0,88, sendo considerada de magnitude alta, de acordo com a classificação de Resende e Duarte (2007). Esse resultado garante confiabilidade das predições genéticas, uma vez que a acurácia expressa a relação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros.

A alta acurácia obtida pode ser atribuída às magnitudes elevadas de herdabilidade, uma vez que esses parâmetros estão diretamente relacionados. Segundo Resende (2007), a acurácia depende do número de indivíduos na população de estimação e do tamanho efetivo populacional. Portanto, no nosso estudo a alta magnitude da acurácia indica que o experimento, com inoculação artificial em mudas, foi conduzido com número populacional satisfatório (10 repetições de uma planta). Valores semelhantes de acurácia foram encontrados em um estudo de resistência à mancha-de-olho-pardo em *C. arabica*, com valores acima de 0,80 (Botelho *et al.*, 2017).

As diferenças estatísticas entre os genótipos foram analisadas pela sobreposição dos limites inferior (LIIC) e superior (LSIC) dos intervalos de confiança dos valores genotípicos ($u + g$) preditos (Tabela 3). Os acessos E021/IDR.011, E016/IDR.298, E018/IDR.494, E037/IDR.676, M7846/IDR.256, E270/IDR.044,

E228/IDR.534, E025/IDR.308, E333/IDR.104 e E061/IDR.126 apresentaram alto nível de resistência, em vista dos menores valores genotípicos para %AFL, além de diferirem de todos os demais cafeeiros em estudo. Dentre os 10 acessos no grupo de resistência alta, quatro (E021/IDR.011, E016/IDR.298, E018/IDR.494 e E037/IDR.676) se destacam por apresentarem valores genotípicos inferiores e diferentes estatisticamente do E326/IDR.251, que foi o acesso com menor valor genotípico do grupo de cafeeiros que não diferiu de 'Catuaí Vermelho IAC 99'. Por este motivo, os quatro acessos mais resistentes foram classificados com resistência muito alta.

Níveis moderados de resistência foram identificados em 28 acessos (E298/IDR.382 no rank 66 até E151/IDR.575 no rank 39) e em 'IPR 102' (rank 33), os quais diferiram tanto dos cafeeiros mais resistentes, quanto de outros três grupos de cafeeiros mais suscetíveis. Dentre os 29 genótipos com resistência moderada, os VGs da %AFL de 10 acessos (E298/IDR.382, E233/IDR.398, E419/IDR.297, E272/IDR.144, E268/IDR.207, E238/IDR.022, E261/IDR.052, E283/IDR.620, E030/IDR.075, E331/IDR.280) foram inferiores e diferentes estatisticamente da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Portanto, classificamos estes 10 acessos com resistência moderada-alta.

Um grupo de 17 acessos (E057/IDR.497 no rank 38 até E152/IDR.167 no rank 19), incluindo as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99 (rank 29) e IPR 103 (rank 25), diferiram estatisticamente dos cafeeiros com resistência moderada e dos dois grupos mais suscetíveis e, portanto, foram classificados com resistência leve. Nove acessos (E201/IDR.134 no rank 18 até E071/IDR.557 no rank 9) e a cultivar Catucaí Amarelo 2SL foram classificados como suscetíveis por apresentarem %AFL superior e diferirem do grupo com resistência leve. Outros oito acessos (E148/IDR.254 no rank 8 até E080/IDR.584 no rank 1) foram classificados como altamente suscetíveis por apresentarem os maiores valores genotípicos da %AFL e diferirem estatisticamente dos demais tratamentos.

Existem relatos em plantas adultas, em condições de campo, de um bom nível de resistência à mancha de phoma em Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaiam 2015479 (Pereira e Baião, 2015; Matiello et al., 2016), IBC Palma 2, Japy e Acauã novo (Matiello et al., 2016). Em mudas de cafeeiros inoculadas artificialmente foram observados maiores níveis de resistência em Japy e Acauã novo, juntamente de Catucaí 785-15 e Icatu Precoce IAC 3282, em comparação a Catuaí Amarelo IAC 62, Catucaí Vermelho

24/137, Saíra e Catucaí Amarelo 2SL (Moura et al., 2013). Da mesma forma, no nosso estudo foi observado que Catucaí Amarelo 2 SL foi classificada como suscetível, enquanto Matiello et al. (2016) relatam um bom nível de resistência à MP. Uma das prováveis explicações para a suscetibilidade observada em 'Catucaí Amarelo 2SL' é a existência de raças fisiológicas de *B. coffea*. Japy, Catucaí 785-15 e Icatu Precoce IAC 3282, mencionados por Moura et al. (2013) como mais resistentes à MP em comparação com Catucaí Amarelo IAC 62, têm o cafeeiro Icatu como um de seus genitores. IPR 102 também possui o Icatu em sua genealogia, o que pode indicar essa origem como uma possível fonte de sua resistência moderada à MP. Por outro lado, o outro parental de IPR 102 é o Catucaí que também pode ter contribuído para a resistência, pois no nosso estudo foi classificada como levemente resistente.

Os acessos silvestres da Etiópia apresentaram grande diversidade, variando desde cafeeiros altamente suscetíveis até aqueles com resistência muito alta. São poucos os estudos que identificaram resistência à Mancha de Phoma em cultivares de café arábica, provavelmente, por existir pouca variabilidade genética para essa resistência nesses cafeeiros. Por esse motivo, os acessos identificados com resistência alta e muito alta são promissores para serem utilizados em programas de melhoramento genético visando o desenvolvimento de cultivares de café arábica com resistência à Mancha de Phoma.

É conhecido que os acessos silvestres da Etiópia possuem diversidade genética muito maior do que as cultivares de café arábica atuais, as quais tiveram origem restrita aos parentais *Typica* e *Bourbon*, além de cafeeiros que possuem introgressão de *Coffea canephora* (ex. Híbrido de Timor e Icatu) e *C. liberica* (ex. BA-10) (Silvestrini et al., 2007; Ariyoshi et al., 2022; Salojärvi et al., 2024). Além da resistência à MP encontrada no nosso estudo, os acessos silvestres da Etiópia são importantes fontes de resistência: aos nematoides *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita* e *M. exigua* (Fatobene et al., 2017; Holderbaum et al. 2020); à mancha aureolada e à mancha bacteriana (Mohan et al., 1978; Rodrigues et al., 2023); e ao Coffee Berry Disease (VAN DER VOSSSEN; WALYARO, 2009).

3.6 CONCLUSÃO

Os parâmetros encontrados pelo REML indicam que a resistência à Mancha

de Phoma dos acessos e das cultivares estudadas possui pouca influência ambiental em condições de inoculação artificial em mudas.

A metodologia REML/BLUP foi eficiente na caracterização da resistência à Mancha de Phoma, sendo encontrados cafeeiros com níveis de resistência variados.

Foram encontrados vários acessos silvestres da Etiópia com níveis de resistência mais altos do que os das cultivares de café e, portanto, esses acessos são importantes para serem usados nos programas de melhoramento genético.

4 ARTIGO B RESISTÊNCIA À MANCHA-DE-OLHO-PARDO EM CULTIVARES E ACESSOS SILVESTRES DE CAFÉ ARÁBICA.

4.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos para avaliação da resistência à mancha-de-olho-pardo em acesso silvestres etíopes e cultivares de *C. arabica*, utilizando a metodologia REML/BLUP. Foram avaliados 72 acessos silvestres da Etiópia e quatro cultivares de *C. arabica*, submetidos à inoculação artificial com *Cercospora coffeicola*. Após a inoculação, as folhas foram fotografadas e avaliadas para determinar a porcentagem de área foliar lesionada (%AFL) utilizando o pacote Pliman (Olivoto, 2021) do Programa R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2023) e posteriormente, os dados foram analisados no software Selegen REML/BLUP. Os resultados mostraram variabilidade genética significativa entre os genótipos, com herdabilidade moderada ($h^2g = 0,26$), indicando influência ambiental e um provável controle quantitativo da resistência. A acurácia preditiva variou de 0,80 a 0,88, garantindo alta confiabilidade das estimativas genéticas. O ranking dos genótipos identificou acessos altamente suscetíveis e resistentes, permitindo a seleção de materiais promissores para programas de melhoramento. Cultivares comerciais, como IPR 102 e Catuaí Vermelho IAC 99, apresentaram resistência intermediária. O estudo reforça a importância da caracterização genética para o desenvolvimento de cultivares mais resistentes à MOP.

Palavras-chave: *Cercospora coffeicola*, *Coffea arabica*, Etiópia, parâmetros genéticos, REML/BLUP.

4.2 ABSTRACT

The objective of this study was to estimate genetic parameters and predict genotypic values for evaluating resistance to brown eye spot in Ethiopian wild accessions and cultivars of *C. arabica*, using the REML/BLUP methodology. Seventy-two Ethiopian

wild accessions and four cultivars of *C. arabica* were evaluated, subjected to artificial inoculation with *Cercospora coffeicola*. After inoculation, the leaves were photographed and evaluated to determine the percentage of injured leaf area (%AFL) using the Pliman package (Olivoto, 2021) of the R Program, version 4.2.2 (R Core Team, 2023) and subsequently, the data were analyzed in the Selegen REML/BLUP software. The results showed significant genetic variability among the genotypes, with moderate heritability ($h^2g = 0.26$), indicating environmental influence and a probable quantitative control of resistance. Predictive accuracy ranged from 0.80 to 0.88, ensuring high reliability of genetic estimates. The ranking of genotypes identified highly susceptible and resistant accessions, allowing the selection of promising materials for breeding programs. Commercial cultivars, such as IPR 102 and Catuaí Vermelho IAC 99, showed intermediate resistance. The study reinforces the importance of genetic characterization for the development of cultivars that are more resistant to MOP.

Key-words: *Cercospora coffeicola*, *Coffea arabica*, Etiópia, genetic parameters, REML/BLUP.

4.3 INTRODUÇÃO

A mancha-de-olho-pardo, provocada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cook, é uma das principais doenças do cafeeiro, com ampla distribuição nos países produtores (WALLER; BIGGER; HILLOCKS, 2007). Essa doença afeta folhas e frutos de plantas de *Coffea spp.*, prejudicando desde mudas até plantas jovens e adultas em campo (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997). Em viveiros, a desfolha compromete o crescimento das mudas, o que impacta negativamente o plantio e a comercialização (POZZA et al., 2010; SILVA et al., 2016). No campo, o patógeno provoca lesões em folhas e frutos, levando à desfolha, queda dos frutos, secagem de ramos, redução da produtividade e diminuição da qualidade da bebida (MARTINS et al., 2008).

Embora a mancha-de-olho-pardo seja uma das doenças mais antigas conhecidas no cultivo de cafeeiros, sua relevância aumentou nos últimos anos, especialmente por sua presença endêmica em regiões produtoras com diferentes sistemas agrícolas (SANTOS et al., 2008). A intensidade da doença está associada a

ambientes com intensa insolação, que favorecem a produção de cercosporina pelo patógeno (DAUB et al., 2005; SILVA et al., 2016), ao desbalanceamento nutricional, particularmente em solos arenosos (ZAMBOLIM, 2015), e à variabilidade genética das populações de *C. coffeicola* (MARTINS et al., 2008).

Como forma de controle, adotam-se principalmente práticas culturais e o uso de produtos químicos. As práticas culturais incluem correções e adubações do solo, visando equilibrar a nutrição das plantas, enquanto o controle químico é realizado principalmente com estrobilurinas, triazóis, benzimidazóis e fungicidas cúpricos, aplicados isolados ou em misturas (POZZA et al., 2010). Embora o uso de cultivares resistentes seja uma estratégia importante de controle, as pesquisas sobre controle genético da mancha-de-olho-pardo ainda são limitadas e frequentemente apresentam resultados contraditórios (PATRÍCIO et al., 2010; DELL' ACQUA et al., 2011; BOTELHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2017). No entanto, esses estudos indicam a existência de variabilidade genética que pode ser explorada para melhorar a resistência à *C. coffeicola*.

Para a análise de características quantitativas, é fundamental a estimativa de parâmetros genéticos, uma vez que ela proporciona uma compreensão detalhada sobre o controle genético e permite a obtenção de estimativas mais precisas para prever os valores genotípicos com maior acurácia (Resende, 2016). Nesse contexto, a metodologia de Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction (REML/BLUP) tem se mostrado uma ferramenta eficaz na avaliação genética de cafeeiros (Petek, Sera, Fonseca, 2008; Pereira et al., 2014; Rezende et al., 2019).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos, com foco na resistência à mancha-de-olho-pardo, em acessos silvestres etíopes e cultivares de *Coffea arabica*, utilizando a metodologia REML/BLUP.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 72 acessos silvestres da Etiópia, do Banco Ativo de Germoplasma do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) e quatro cultivares (Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Amarelo 2SL, IPR 102 e IPR 103). As mudas com seis pares de folhas em tubetes foram produzidas no

IDR-Paraná e submetidas a inoculação artificial, no Laboratório de Fitopatologia do Instituto Biológico em Campinas-SP, com um isolado de *Cercospora coffeicola*, denominado IB1312.

Foram inoculados os últimos dois pares de folhas completamente expandidos, com 5 ml de suspensão de conídios, na concentração de 5×10^4 conídios/ml. Após a inoculação, as plantas foram colocadas em câmara úmida por 24 horas e, posteriormente, transferidas para um viveiro com sombrite de 50% de luminosidade e irrigação por aspersão programada a cada uma hora, por um período de um minuto de molhamento.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com dez repetições de uma planta por parcela. Após 30 dias da inoculação, as folhas inoculadas foram removidas e fotografadas, e as imagens analisadas através do Programa R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2023), utilizando o pacote Pliman (Olivoto, 2021) para determinar a porcentagem de área foliar com lesões (%AFL). Os dados das avaliações foram submetidos ao software Selegen – REML/BLUP (RESENDE, 2016) com a finalidade de estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genotípicos, conforme o modelo linear misto: $y = Xu + Zg + e$, em que: y é o vetor dos dados fenotípicos; u é o escalar referente à média geral (efeito fixo); g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios); e é o vetor de erros ou resíduo (aleatórios). As letras maiúsculas X e Z representam as matrizes de incidência para os efeitos u e g , respectivamente. Em seguida, os resultados do BLUP para os valores genotípicos e seus respectivos limites de intervalos de confiança inferior (LIIC) e superior (LSIC) foram utilizados para identificar as diferenças estatísticas entre os cafeeiros.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos valores de LRT (**Tabela 1**), obtidos por meio da análise das deviances (ANADEV), foi observada significância a 1% para o efeito do genótipo, demonstrando que existe variabilidade genética para a resistência à mancha-de-olho-pardo (MOP) entre os 76 genótipos avaliados pela variável porcentagem da área foliar lesionada (%AFL).

Tabela 1 – Análise de deviance (ANADEV): Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos (Gen) e do modelo completo (C) para a variável porcentagem da área foliar com lesões (%AFL) de mancha-de-olho-pardo em 76 genótipos de *Coffea arabica*.

Efeito	%AFL	
	Dev	LRT
Gen	3477,87	113,80**
C	3364,07	

** : resultados significativos ao nível de 1% pelo teste de qui-quadrado.

A herdabilidade é um parâmetro que indica a proporção da variação fenotípica atribuída a fatores genotípicos. A herdabilidade individual no sentido amplo (h^2_g) para resistência à MOP foi 0,26, considerada de moderada magnitude conforme a classificação de Resende (2002), que considera as herdabilidades com valores abaixo de 0,15, entre 0,15 e 0,50 e acima de 0,50, respectivamente, de magnitudes baixa, moderada e alta (**Tabela 2**).

Tabela 2 – Componentes de variância e parâmetros genéticos e não genéticos para a variável porcentagem da área foliar com lesões (%AFL) de mancha-de-olho-pardo em 76 genótipos de *Coffea arabica*.

Componente/ parâmetro	%AFL
σ^2_g	10,79
σ^2_e	30,27
σ^2_f	41,06
h^2_g	0,26
CVgi%	101,34
CVe%	169,75
μ	3,24

(¹) σ^2_g : variância genotípica; σ^2_e : variância residual; σ^2_f : variância fenotípica; h^2_g : herdabilidade individual no sentido amplo ou dos efeitos genotípicos totais; CVgi: coeficiente de variação genotípica; CVe: coeficiente de variação residual; μ : média geral do experimento.

O valor da estimativa de h^2_g foi similar aos resultados de Botelho et al. (2017), os quais obtiveram o valor de 0,34 ao considerar a média de três avaliações para MOP

em genótipos do banco de germoplasma da EPAMIG. No entanto, essas estimativas são inferiores aos valores obtidos em cafeeiros arábica para a resistência à ferrugem alaranjada (PEREIRA et al., 2013; ALEMAYEHU, 2019), aos nematoides (FATOBENE et al., 2017; REZENDE et al., 2017) e às bacterioses mancha aureolada e mancha bacteriana (SERA et al., 2023). A resistência qualitativa para essas doenças é promovida pelos genes *SHs*, *Mex-1*, *Pga* e *Pta*, os quais promovem a resistência qualitativa, respectivamente, para as doenças ferrugem alaranjada (BETTENCOURT; RODRIGUES JUNIOR, 1988), nematoide *Meloidogyne exigua* (Noir et al. 2003), mancha aureolada e mancha bacteriana (SERA et al., 2023). O valor da h^2_g encontrado no nosso estudo, indica que a resistência à MOP é mais influenciada pelo ambiente e que é controlada por maior número de genes do que para as doenças supracitadas.

Os fatores ambientais conhecidos que afetam a severidade de MOP em cafeeiros são a temperatura (SOUZA, 2007), a intensidade da luminosidade (SILVA et al., 2015) e a nutrição mineral da planta (FERNANDES, 1989; POZZA et al., 2001; GARCIA JUNIOR et al., 2003). Esses fatores tendem a embutir os seus efeitos ambientais nas médias fenotípicas, diminuindo a eficiência da caracterização dos genótipos mais resistentes (RESENDE; DUARTE, 2007). Por essa razão, ao considerar o ambiente como efeito fixo e o genótipo como efeito aleatório, foi possível prever os valores genotípicos (VGs) sem a interferência do ambiente, permitindo a caracterização dos genótipos para resistência à MOP com maior acurácia. No presente estudo, a acurácia dos VGs preditos variaram de 0,80 a 0,88, sendo considerada de magnitude alta, de acordo com a classificação de Resende e Duarte (2007). Esse resultado garante confiabilidade das predições genéticas, uma vez que a acurácia expressa a relação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros.

As diferenças estatísticas entre os genótipos foram analisadas pela sobreposição dos limites inferior (LIIC) e superior (LSIC) dos intervalos de confiança dos VGs ($\mu + g$) preditos (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores genotípicos ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC), limite superior do intervalo de confiança (LSIC), níveis de resistência (NR) e valores fenotípicos (f) para a variável porcentagem da área foliar com lesões (%AFL) da mancha-de-olho-pardo em 76 genótipos de *Coffea arabica*, ranqueados dos cafeeiros

mais suscetíveis para os mais resistentes.

Rank	Genótipos	u+g	LIIC	LSIC	NR⁽¹⁾	f
1	E130/IDR.169	16,98	13,89	20,06	HS	20,83
2	E148/IDR.254	13,98	10,89	17,06	HS	16,99
3	E088/IDR.3435	9,66	6,57	12,74	S	11,46
4	E326/IDR.251	9,01	5,93	12,10	S	10,63
5	E017/IDR.047	8,44	5,36	11,53	S	9,90
6	E016/IDR.298	8,11	5,03	11,19	S	9,48
7	E025/IDR.308	7,57	4,49	10,65	S	8,78
8	E037/IDR.676	6,81	3,73	9,89	L	7,81
9	E270/IDR.044	6,25	3,16	9,33	L	7,09
10	E151/IDR.575	6,09	3,00	9,17	L	6,89
11	E030/IDR.075	5,83	2,75	8,91	L	6,56
12	E324/IDR.093	5,00	1,91	8,08	L	5,49
13	E331/IDR.280	4,89	1,81	7,98	L	5,36
14	E021/IDR.011	4,62	1,53	7,70	L	5,00
15	E007/IDR.087	4,42	1,22	7,62	L	4,79
16	E332/IDR.232	4,36	1,28	7,44	L	4,68
17	E046/IDR.021	4,12	1,04	7,21	L	4,37
18	E268/IDR.207	3,76	0,68	6,85	L	3,91
19	E146/IDR.012	3,71	0,62	6,79	L	3,84
20	E039/IDR.668	3,57	0,48	6,65	L	3,66
21	E333/IDR.104	3,56	0,48	6,64	L	3,65
22	IPR 102	3,46	-0,44	7,35	L	3,58
23	E221/IDR.214	3,33	0,25	6,42	M	3,36
24	E254/IDR.285	3,27	0,06	6,47	M	3,28
25	E302/IDR.083	3,23	0,15	6,31	M	3,23
26	E315/IDR.639	3,11	0,03	6,19	M	3,07
27	E419/IDR.297	2,98	-0,11	6,06	M	2,90
28	E320/IDR.145	2,95	-0,13	6,04	M	2,87
29	E213/IDR.211	2,89	-0,19	5,98	M	2,79
30	Catuaí V. IAC 99	2,83	-1,07	6,72	L	2,59
31	E068/IDR.014	2,82	-0,26	5,91	M	2,71

32	E238/IDR.022	2,82	-0,26	5,91	M	2,71
33	M7846/IDR.256	2,79	-0,29	5,87	M	2,66
34	E018/IDR.494	2,71	-0,37	5,80	M	2,57
35	E261/IDR.052	2,66	-0,54	5,87	M	2,48
36	E071/IDR.557	2,63	-0,46	5,71	M	2,46
37	Catucací A. 2SL	2,57	-1,33	6,46	M	2,19
38	E047/IDR.267	2,44	-0,65	5,52	M	2,21
39	E061/IDR.126	2,42	-0,67	5,50	M	2,19
40	E209/IDR.182	2,33	-0,76	5,41	M	2,07
41	E237/IDR.171	2,27	-0,82	5,35	M	1,99
42	E301/IDR.111	2,26	-0,82	5,35	M	1,99
43	E233/IDR.398	2,26	-0,82	5,34	M	1,98
44	E139/IDR.663	2,06	-1,02	5,15	M	1,73
45	E298/IDR.382	2,04	-1,04	5,12	M	1,70
46	E267/IDR.374	1,89	-1,20	4,97	M	1,51
47	E055/IDR.596597	1,88	-1,20	4,96	M	1,50
48	E205/IDR.078	1,76	-1,32	4,85	M	1,35
49	E152/IDR.167	1,70	-1,39	4,78	M	1,26
50	E196/IDR.117	1,68	-1,41	4,76	M	1,24
51	E272/IDR.144	1,61	-1,48	4,69	M	1,15
52	E283/IDR.620	1,53	-1,55	4,62	M	1,05
53	E368/IDR.600	1,49	-1,60	4,57	M	1,00
54	E220/IDR.127	1,44	-1,64	4,53	M	0,94
55	IPR 103	1,41	-2,49	5,30	M	0,38
56	E080/IDR.584	1,41	-1,68	4,49	M	0,89
57	E546/IDR.563	1,39	-1,70	4,47	MH	0,87
58	E180/IDR.227	1,36	-1,72	4,45	MH	0,84
59	E174/IDR.164	1,36	-1,73	4,44	MH	0,83
60	E287/IDR.234	1,29	-1,80	4,37	MH	0,74
61	E123a/IDR.667	1,27	-1,81	4,36	MH	0,72
62	E057/IDR.497	1,25	-1,84	4,33	MH	0,69
63	E044/IDR.122	1,20	-1,89	4,28	MH	0,62
64	E081/IDR.041	1,18	-1,90	4,27	MH	0,61

65	E228/IDR.534	1,18	-1,91	4,26	MH	0,60
66	E218/IDR.641642	1,18	-1,91	4,26	MH	0,60
67	E131/IDR.018019	1,14	-1,94	4,22	MH	0,55
68	E116/IDR.286	1,11	-1,98	4,19	MH	0,51
69	E159/IDR.656	1,08	-2,01	4,16	MH	0,47
70	E041/IDR.662	1,06	-2,02	4,15	MH	0,45
71	E087/IDR.195	0,99	-2,09	4,08	MH	0,36
72	E201/IDR.134	0,98	-2,10	4,07	MH	0,35
73	E199/IDR.092	0,98	-2,11	4,06	MH	0,34
74	E189/IDR.119	0,97	-2,11	4,06	MH	0,34
75	E123b/IDR.120	0,95	-2,14	4,03	MH	0,30
76	E183/IDR.138	0,76	-2,32	3,85	MH	0,07
		3,24	0,11	6,37		3,23

⁽¹⁾ Níveis de resistência: HS = altamente suscetível; S = suscetível; L = leve; M = moderada; MH = moderada-alta.

Alta suscetibilidade foi encontrada nos acessos E130/IDR.169 e E148/IDR.254, os quais apresentaram os maiores VGs e diferiram estatisticamente do acesso com menor VG (E183/IDR.138) e das cultivares Catuaí Vermelho IAC 99, Catucaí Amarelo 2SL, IPR 102 e IPR 103. Cinco acessos (E088/IDR.3435, E326/IDR.251, E017/IDR.047, E016/IDR.298 e E025/IDR.308) diferiram do acesso com maior VG, porém também diferiram do acesso o menor VG e, portanto, foram classificados como suscetíveis.

Uma leve resistência foi encontrada em 14 acessos (E037/IDR.676 no rank 8 até E333/IDR.104 no rank 21) e nas cultivares IPR 102 (rank 22) e Catuaí Vermelho IAC 99 (rank 33). Esses 16 genótipos foram classificados como levemente resistentes, pois apesar de não diferirem do acesso com menor VG, também não diferiram do E088/IDR.3435, que foi o acesso com o maior VG entre os classificados como suscetíveis.

Níveis de resistência moderada à MOP foram encontradas em 31 acessos (E221/IDR.214 no rank 23 até E080/IDR.584 no rank 56) e nas cultivares IPR 103 (rank 55) e Catucaí Amarelo 2 SL (rank 37), pois não diferiram do E183/IDR.138 e diferiram do E088/IDR.3435.

A resistência em nível moderado-alto foi identificada em 20 acessos silvestres

(E546/IDR.563 no rank 57 até E183/IDR.138 no rank 76), os quais apresentaram os menores VGs para %AFL e diferiram do E025/IDR.308, que foi o acesso com o menor VG entre os cafeeiros suscetíveis. O valor fenotípico médio desses 20 acessos foi de 0,543, sendo 83,19% inferior à média geral de %AFL. Embora os valores fenotípicos não tenham sido considerados para determinar o nível de resistência, devido aos efeitos ambientais embutidos, esses resultados reforçam a resistência identificada nesses cafeeiros para MOP.

A resistência vertical confere altos níveis de resistência, sendo específica para determinadas raças do patógeno e caracterizada por uma herança mono ou oligogênica, o que reduz a influência ambiental. Em contraste, a resistência horizontal proporciona níveis de resistência moderados ou intermediários, não sendo específica para raças e a herança é poligênica, resultando em uma maior influência do ambiente (VAN DER PLANK, 1963; BORÉM et al., 2017; CAMARGO, 2018). Os níveis de resistência à MOP observados em nosso estudo foram moderados ou intermediários, sugerindo que a resistência dos cafeeiros avaliados é de caráter quantitativo. Esse resultado corrobora a hipótese inicial, baseada no valor de herdabilidade de magnitude moderada. Da mesma forma, na maioria dos outros estudos também foram identificados níveis de resistência à MOP intermediários (PATRÍCIO et al., 2010; DELL'ACQUA et al., 2011; BOTELHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2017; RAMOS et al., 2022).

Em outros estudos também foi verificado que cultivares do grupo Catuaí possuem leve resistência e foram classificadas como moderadamente suscetíveis e como mais resistentes do cultivares do grupo Mundo Novo (PATRÍCIO et al., 2010; Dell'Acqua et al., 2011). As cultivares IPR 102, IPR 103 e Catuaí Amarelo 2 SL possuem origem do cruzamento entre cafeeiros do Catuaí e cafeeiros do Icatu. Cafeeiros do Icatu apresentaram diferentes reações de resistência, sendo classificado como mais resistente que Catuaí por Pozza et al. (2004), não diferente de Catuaí por Patrício et al. (2010) e mais suscetível do que Catuaí por Dell'Acqua et al. (2011). Verificamos que IPR 103 e Catuaí Amarelo 2 SL foram moderadamente resistentes, o que pode ser explicado pela combinação de genes de resistência das cultivares dos cafeeiros Catuaí e Icatu. Em estudo recente, Ramos et al. (2022) também verificaram que IPR 103 possui um bom nível de resistência intermediário.

Os acessos silvestres da Etiópia demonstraram ter um grande potencial para serem utilizadas em programas de melhoramento para resistência à MOP, pois 20

acessos tiveram nível de resistência maior do que as cultivares IPR 103 e Catucaí Amarelo 2SL. Além da resistência à MOP é conhecido que acessos silvestres da Etiópia possuem diversidade genética muito maior do que as cultivares de café arábica atuais, as quais tiveram origem restrita aos parentais *Typica* e *Bourbon*, além de cafeeiros que possuem introgressão de *Coffea canephora* (ex. Híbrido de Timor e Icatu) e *C. liberica* (ex. BA-10) (Silvestrini et al., 2007; Ariyoshi et al., 2022; Salojärvi et al., 2024). Além disso, esses acessos silvestres são importantes fontes de resistência: aos nematoides *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita* e *M. exigua* (Fatobene et al., 2017; Holderbaum et al. 2020); à mancha aureolada e à mancha bacteriana (Mohan et al., 1978; Rodrigues et al., 2023); e ao Coffee Berry Disease (Van der Vossen and Walyaro, 2009).

4.6 CONCLUSÃO

A moderada magnitude de herdabilidade e os níveis de resistência intermediários encontrados indicam que a resistência à mancha-de-olho-pardo dos cafeeiros estudados sofre muito influenciada ambiental.

A metodologia REML/BLUP foi eficiente na caracterização da resistência à mancha-de-olho-pardo.

Foram encontrados 20 acessos silvestres da Etiópia com níveis de resistência mais altos do que os das cultivares de café e, portanto, esses acessos são importantes para serem usados nos programas de melhoramento genético.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Pelos valores de herdabilidade individual no sentido amplo foi verificado que a resistência à mancha de Phoma é menos influenciada pelo ambiente do que a resistência à mancha-de-olho-pardo.

O REML/BLUP foi uma metodologia eficiente para a caracterização dos níveis de resistência à MP e à MOP por meio da diferenciação dos cafeeiros pela sobreposição dos limites inferior e superior dos intervalos de confiança dos valores genotípicos preditos.

A cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foi levemente resistente para as duas doenças. IPR 102 foi moderadamente resistente à MP e levemente resistente à MOP. A resistência de IPR 103 foi leve para MP e moderada para MOP. Catucaí Amarelo 2 SL, ao contrário do que se esperava, foi suscetível para MP e moderadamente resistente à MOP.

Em relação à resistência à MP, 20 acessos apresentaram níveis superiores ao da cultivar IPR 102, destacando-se os acessos E021/IDR.011, E016/IDR.298, E018/IDR.494 e E037/IDR.676, que exibiram resistência muito alta. Já para a resistência à MOP, foram identificados 20 acessos com nível moderado-alto, considerado superior ao da cultivar IPR 103.

Foram identificados 15 acessos com resistência simultânea às duas doenças, com níveis iguais ou superiores aos das cultivares IPR 102 e IPR 103. Dentre eles, seis acessos se destacaram pela resistência simultânea. O acesso E228/IDR.534 apresentou resistência alta à MP e moderada-alta à MOP. Os acessos E189/IDR.119 e E287/IDR.234 tiveram resistência moderada à MP e moderada-alta à MOP. Já E061/IDR.126 e M7846/IDR.256 mostraram resistência alta à MP e moderada à MOP. Por fim, o acesso E018/IDR.494 se destacou por apresentar resistência muito alta à MP e moderada à MOP.

REFERÊNCIAS

- ALEMAYEHU, D. (2019). Estimation of genetic component and heritability for quantitative traits in amaro coffee (*Coffea Arabica* L.) landrace at Awada, Southern Ethiopia. *Int. j. sci. res. sci. eng. technol*, 6, 1-9.
- ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, p. 35-56, 2008.
- ARIYOSHI, C.; SERA, G. H.; RODRIGUES, L. M. R.; CARVALHO, F. G.; SHIGUEOKA, L. H.; MENDONÇA, A. E. S.; PEREIRA, C. T. M.; DESTÉFANO, S. A. L.; PEREIRA, L. F. P. Development and Validation of an Allele-Specific Marker for Resistance to Bacterial Halo Blight in *Coffea arabica*. *Agronomy-Basel*, v. 12, p. 3178-3189, 2022
- ATINAFU, G., H. MOHAMMED AND T. KUFA, 2017. Genetic Variability of Sidama Coffee (*Coffea Arabica* L.) Landrace for Agro-morphological Traits at Awada. *Southern Ethiopia Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*, 5: 263-275
- AVESKAMP, M.M., GRUYTER, J. DE, WOUDEBERG, J.H.C., VERKLEY, G.J.M.& CROUS, P.W. (2010) Highlights of the *Didymellaceae*: A polyphasic approach to characterise *Phoma* and related pleosporalean genera. *Studies in Mycology* 65(1): 1–60.
- BETTENCOURT, A. J.; RODRIGUES JUNIOR, C. J. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). *Coffee*. London: Elsevier Applied Science, v. 4, 1988, p. 199-234.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. *Melhoramento de plantas*. 6ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2013. 523 p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. *Melhoramento visando à resistência a doenças*. In: BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. (eds.). *Melhoramento de plantas*. 7 ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2017. p. 394-418.
- BOTELHO, D. M. S.; RESENDE, M. L. V.; ANDRADE, V. T.; PEREIRA, A. A.; PATRÍCIO, F. R. A.; JUNIOR, P. M. R.; OGOSHI, C.; RESENDE, J. C. Cercosporiosis resistance in coffee germplasm collection. *Euphytica*. 213:117. 2017.
- CAMARGO, L. E. A. Controle genético. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. *Manual de fitopatologia: volume 1*. Ouro Fino, Agronômica Ceres Ltda., 2018, p. 229-238.

CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro VI – Estudo e interpretação, para fins de seleção de produção individuais na variedade Bourbon. **Bragantia**, Campinas, v. 12, n. 4/6, p. 179-200, 1952.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Café. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **O Melhoramento de plantas do Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 29-76, 1993.

CARVALHO, A.; ANTUNES FILHO, H.; MENDES, J. E. T.; LAZZARINI, W; REIS, A. J.; ALOISI SOBRINHO, J.; MORAES, M. V. de; NOGUEIRA, P. K.; ROCHA, T. R. da. Melhoramento do cafeeiro XIII - Café Bourbon Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 411-454, 1957.

CARVALHO, V. L. D., CUNHA, R. L. D., SILVA, N. R. N., & XAVIER, E. P. (2011). Avaliação Da Resistência De Progênies De Cafeeiros À Mancha-De-Phoma E Cercosporiose Em Duas Regiões De Minas Gerais.

CARVALHO, A. M.; CARDOSO, D. A.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, V. L.; PEREIRA, A. A.; FERREIRA, A. D.; CARNEIRO, L. F. Comportamento de cultivares de cafeeiro sob a incidência das doenças da ferrugem e cercosporiose em dois ambientes de cultivo. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 1, p. 100-107. 2017

CASTRO, J. L. et al. "Doenças do cafeeiro: agentes patogênicos e controle." *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 2, n. 2, p. 51-57, 2007.

CHALFOUN, S. M.; REIS, P. R. História da cafeicultura no Brasil. In: REIS, P.R.; CUNHA, R.L. da. **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG SM, v. 1, cap. 1, p. 23-85, 2010.

Companhia Nacional De Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café, v. 12 – Safra 2025, n.1- Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-48, janeiro 2025.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético: Volume 1. 4ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético: volume 2. 3ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2014. 668 p.

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. R. Photo activated perylene quinone toxins in fungal pathogenesis of plants. *FEMS Microbiology Letters*, 252, 197–206. . (2005).

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, Londres, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.

DELL' ACQUA R.; MANTOVANI, E. S.; BRAGHINI, M. T.; OLIVEIRA, C. M.G.; HARAKAVA, R.; ROBAINA, A. S.; PETEK, M .R.; FLÁVIA PATRICIO, F. R. A.; Variabilidade in vitro, in vivo e molecular de isolados de . *Tropical Plant Pathology*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 313-326, 2011.

DUARTE, J. B. Biometria em genética e melhoramento de plantas: tendências e inquietações. In: XIV SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS: a genética quantitativa e de populações no Brasil, 14, 2010, Lavras. Anais [...]. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. p. 47-60.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 1, p. 109-117, 2001.

DUCHATEAU, L.; JANSSEN, P. An example-based in linear mixed models. In: VERBEKE, G.; MOLENBERGHS, G. (Eds.). *Linear mixed models in practice: a SAS-oriented approach*. New York: Springer-Verlag, 1997, p. 11-61.

ESKES, A. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Assessment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.). *Plant Prot. Bulletin FAO*, v. 29, p. 56-66, 1981.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. 4th Edition, London: Longman Green, 1996. 464 p.

FAO. Coffee market report. Food and Agriculture Organization, 2021.

FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; ALOISE, G. S.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; GUERREIROFILHO, O. Wild *Coffea arábica* resistantto *Meloidogyne paranaensis* and genetic parameters for resistance. *Euphytica*. 213:196. 2017

FAZUOLI, L. C.; SILVAROLLA, M. B.; SALVA; T. J. G.; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H. P.; GONÇALVES, W. Cultivares de café arábica do IAC, um patrimonio da cafeicultura brasileira. In: 33º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, **Anais ...**, Lavras, MG, 2007.

FEHR, W. R. Principles of cultivar development. New York: Macmillan Publishing Company, 1991. 536 p.

FERREIRA, A. M. et al. "Impacto da mancha de Phoma na produtividade do café Arábica." *Café & Ciência*, v. 13, p. 18-25, 2013.

FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D., FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; CARNEIRO, P. C. S.; SILVA, M. F. Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.

FERNANDES, A. T. F. (1989). Componentes que expressam a intensidade da Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook) em progenies de catimor.

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; SOUZA, P.E.; CARVALHO, J.G.; BALIEIRO, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira*, v.28, p.286-291, 2003

GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). IN: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN-FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (eds.). *Manual de fitopatologia*. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, p. 184-200, 1997.

GIANOTTI, A. et al. "Análise genético-estatística para a seleção de cafeeiros resistentes a doenças." *Revista Brasileira de Melhoramento*, v. 9, n. 1, p. 56-63, 2017.

HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. *Journal of Animal Science*, v. 1973, p. 10-41, 1973.

HOLDERBAUM, M. M., ITO, D. S., SANTIAGO, D. C., SHIGUEOKA, L. H., FERNANDES, L. E., SERA, G. H. (2020). Arabica coffee accessions originated from Ethiopia with resistance to nematode '*Meloidogyne paranaensis*'. *Australian Journal of Crop Science*, 14(8), 1209-1213.

HOU, L.W.; GROENEWALD, J.Z.; PFENNING, L.H.; YARDEN, O.; CROUS, P.W.; CAI, L. (2020). *Studies in Mycology*, Volume 96, Number 1, 1 June 2020, pp. 309-396(88).

LIMA, L. M. D., POZZA, E. A., TORRES, H. N., POZZA, A. A., SALGADO, M., PFENNING, L. H. (2010). Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de

mudas de cafeeiro em solução nutritiva. *Tropical Plant Pathology*, 35, 223-228.

LORENZETTI, E. R., POZZA, E. A., SOUZA, P. E. D., SANTOS, L. A., ALVES, E., SILVA, A. C. D., Carvalho, R. R. D. C. (2015). Effect of temperature and leaf wetness on *Phoma tarda* and phoma leaf spot in coffee seedlings.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of higher plants. 2nd. ed. Londres: Academic Press, 2005. 889 p.

MARTINS, A. L. **História do Café**. São Paulo: Contexto, 2008. 316p.

MARTINS, R. B., MAFFIA, L. A., & MIZUBUTI, E. S. G. (2008). Genetic variability of *Cercospora coffeicola* from organic and conventional coffee plantings, characterized by vegetative compatibility. *Phytopathology*, 98(11), 1205-1211.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R, FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Ed. 2005. Varginha, MG: Gráfica Editora Bom Pastor, 2005.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**. Ed. 2015. Varginha, MG: Futurama Editora, 2016.

MORAES, A., PAES, E. R., SALOMÃO, G. S., GOULART, R. R., MACHADO, E. A., FLORÊNCIO, V. H. P., & REGES, W. A. (2014). Avaliação de diferentes fontes de cobre no controle de doenças fungicas do cafeeiro.

MOURA, W. M, DE LIMA, P. C., FAZUOLI, L. C., CONDÉ, A. T. B., DA SILVA, T. C. (2013). Desempenho de cultivares de café em sistema de cultivo orgânico na Zona da Mata Mineira. *Coffee Science-ISSN 1984-3909*, 8(3), 256-264.

NIELSEN, H. B.; ALMEIDA, M.; JUNCKER, A. S.; RASMUSSEN, S.; LI, J.; SUNAGAWA, S.; PLICHTA, D. R.; GAUTIER, L.; PEDERSEN, A. G.; Le CHATELIER, E.; PELLETIER, E.; BONDE, I.; NIELSEN, T.; MANICHANH, C.; ARUMUGAM, M.; BATTO, J. M.; Dos SANTOS, M. B. Q.; BLOM, N.; BORRUEL, N.; BURGDORF, K. S.; BOUMEZBEUR, F.; CASELLAS, F.; DORÉ, J.; DWORZYNSKI, P.; GUARNER, F.; HANSEN, T.; HILDEBRAND, F.; KAAS, R. S.; KENNEDY, S.; KRISTIENSEN, K.; KULTIMA, J. R.; LÉONARD, P.; LEVENEZ, F.; LUND, O.; MOUMEN, B.; Le PASLIER, D.; PONS, N.; PEDERSEN, O.; PRIFTI, E.; QIN, J.; RAES, J.; SØRENSEN, S.; TAP, J.; TIMS, S.; USSERY, D. W.; YAMADA, T.; RENAULT, P.; SICHERITZ-PONTEN, T.; BORK, P.; WANG, J. 25, BRUNAK, S.; EHRLICH, S. D. Identification and assembly of genomes and genetic elements

in complex metagenomic samples without using reference genomes. *Nature Biotechnology*, v. 32, n. 8, p. 822–828, 2014

REIS, A. R., FAVARIN, J. L., MALAVOLTA, E., JÚNIOR, J. L., & MORAES, M. F. (2009). Photosynthesis, chlorophylls, and SPAD readings in coffee leaves in relation to nitrogen supply. *Communications in soil science and plant analysis*, 40(9-10), 1512-1528.

NOIR, S., ANTHONY, F., BERTRAND, B., COMBES, M. C., & LASHERMES, P. (2003). Identification of a major gene (Mex-1) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. *Plant Pathology*, 52(1), 97-103.

NOJOSA, G. B. A.; RESENDE, M. L. V.; BARGUIL, B. M.; MORAES, S. R. G.; VILAS BOAS, C. H. Efeito de indutores de resistência em cafeeiro contra a mancha de Phoma. *Summa Phytopathologica*, v. 35, n. 1, p. 60–62, jan. 2009.

OLIVEIRA, A. C. B.; PEREIRA, A. A.; SILVA, F. L.; REZENDE, J. C.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, G. R. Prediction of genetic gains from selection of Arabica coffee progenies. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, p. 106-113, 2011

OLIVOTO, T. Pliman: Tools for Plant Image Analysis. R package version 1.1.0., 2021. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=pliman>>. Acesso em: 03 de julho de 2023.

PATRICIO, F. R. A., BRAGHINI, M. T., & FAZUOLI, L. C. (2010). Resistência de plantas de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos à cercosporiose. *Bragantia*, 69, 883-890.

PATRICIO, F. R. A.; OLIVEIRA, E. G. Desafios do manejo no controle de doenças do café. *Visão Agrícola*, Piracicaba, v. 12, p. 51-54, 2013.

PEREIRA, A.A.; BAIÃO, A.C. Cultivares. In: SAKIYAMA. Ney et al. *Café arábica do plantio à colheita*. Viçosa: FUNEP, 2015. p. 24-45.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Predição de valores genéticos aditivos na seleção visando obter cultivares de café mais resistentes à ferrugem. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 1, p. 133-140, 2008.

POZZA, A.A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; CAIXETA, S.L.; CARDOSO, A.A.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E.A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em

mudas de cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, p.53-60, 2001.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (eds). Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordem nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA, 2010. p. 69-106.

RAMALHO; M. A. P.; CARVALHO, B. L.; NUNES, A. R. Perspectives for the use of quantitative genetics in breeding of autogamous plants. ISRN Genetics, v. 2013, p. 1-6, 2012.

RAMOS, J. B., DE RESENDE, M. L. V., ANDRADE, M. E. R., TEIXEIRA, A. R., SANTIAGO, W. D., POZZA, E. A., BOTELHO, D. M. D. S. (2022). Quantification of cercosporin from coffee leaves infected by *Cercospora coffeicola*. Australasian Plant Pathology, 51(4), 429-432.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 03 de julho de 2023

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

RESENDE, M. D. V. Efeitos fixos ou aleatórios de repetições no contexto dos modelos mistos no melhoramento de plantas perenes. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 23 p.

RESENDE, M. D. V. Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 57 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V. Software SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas,. 359 p. 2007

REZENDE, R. M.; ANDRADE, V. T.; SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C.; MENEZES, J. O.; CARVALHO, G. R. Genetic gain in the resistance of Arabica coffee progênies to root-knotnematode. Crop Science, v. 57, p. 1355-1362, 2017.

SALGADO, M.; PFENNING, L. W. (2000) Identificação e caracterização morfológica de espécies de Phoma do Brasil. **Anais**. I Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil. Poços de Caldas-MG., p 183-186.

SALGADO M, POZZA E.A., PFENNING L.H., BERGER R.D. (2002) Influência da temperatura e do tempo de incubação no crescimento micelial e produção de conídios in vitro de espécies de Phoma do cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira* 27 (Supl.):159.

SALGADO, M., POZZA, E. A., LIMA, L. M. D., PEREIRA, R. T.; PFENNING, L. H. (2009). Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de Phoma do cafeeiro. *Tropical Plant Pathology*, 34, 422-427.

SALOJÄRVI, J., RAMBANI, A., YU, Z. et al. The genome and population genomics of allopolyploid *Coffea arabica* reveal the diversification history of modern coffee cultivars. *Nat Genet* 56, 721–731 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41588-024-01695-w>

SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, n. 2, 2001.

SERA, T.; SERA, G. H; FAZUOLI, L. C. IPR 103 – Rustic dwarf arabic coffee cultivar more adapted to hot regions and poor soils. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 13, p. 95-98, 2013.

SERA, G. H.; SERA, T.; FAZUOLI, L. C. IPR 102-Dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to bacterial halo blight. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, n. 4, p. 403-407, 2017.

SERA, G.H.; CARVALHO, F. G. ; RODRIGUES, L. M. R. ; GUERREIRO FILHO, O. ; DESTEFANO, S. A. L. ; PEREIRA, C. T. M. ; ARIYOSHI, C. ; SHIGUEOKA, L. H. ; FONSECA, I. C. B. . Inheritance of resistance to *Pseudomonas coronafaciens* pv. *garcae* on Ethiopian wild Arabica coffee. In: 29th Conference of Association for the Science and Information on Coffee, 2023, Hanoi - Vietnam. Book of Abstracts, 2023. v. 1. p. 155-155.

SETE, F. et al. "Germoplasma de café e sua importância no melhoramento genético." *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 9, p. 1122-1130, 2018.

SILVA, M. G. da. Temperature and light intensity interaction on *Cercospora coffeicola* sporulation and conidia germination. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, n. 2, 2016.

SILVESTRINI S, JUNQUEIRA MG, FAVARIN AC, GUERREIRO-FILHO O, MALUF MP, SILVAROLLA MB, COLOMBO CA (2007) Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 54:1367-1379

SOUZA, A. G. C.; RODRIGUES, F. A.; MAFIA, L. A.; GOMIDE, M. E. S.; Infection Process of *Cercospora coffeicola* on Coffee Leaf. *J Phytopathol San Diego*, 59: p. 6–11. 2011.

VAN DER PLANK, J. E. *Plant diseases: epidemic and control*. New York: Academic press, 349 p. 1963.

VAN DER VOSSEN HAM, WALYARO DJ (2009) Additional evidence for oligogenic inheritance of durable resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Euphytica* 165:105-111.

WALLER, J. M., BIGGER, M., & HILLOCKS, R. J. (Eds.). (2007). *Coffee pests, diseases and their management*. CABI.

ZAMBOLIM, L. Manejo de doenças. In: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (eds.). *Café arábica: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2015. p.129-150.