

IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE RESISTÊNCIA À FERRUGEM EM *Coffea Canephora* NO BANCO ATIVO DE GERMOPLASMA DO INCAPER

Thalita Sousa Silva¹, Isabela Bolari Ramos¹, Idalina Sturião Milheiros², João Felipe de Brites Senra³, Marlon Dutra Degli Esposti³

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, S/N, Guararema, 29500-000, Alegre-ES, Brasil, talitassilva72@hotmail.com, isabelabolari@outlook.com.

²Bolsista do Consórcio de Pesquisa Cafeeiro, Rod. João Domingo Zago, km 2,5 - Pacotuba – 29323-000, Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil, idalinasturiao@gmail.com.

³Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Rod. João Domingo Zago, km 2,5 - Pacotuba – 29323-000, Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil, joao.senra@incaper.es.gov.br, mespositi@incaper.es.gov.br.

Resumo

A cafeicultura é uma atividade agrícola de grande importância global com o Brasil liderando a produção mundial. Um dos maiores desafios à atividade é a incidência da ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, que provoca manchas alaranjadas nas folhas, levando à desfolha e comprometendo a produtividade. Diante disso, o objetivo deste estudo foi identificar genótipos resistentes à ferrugem no banco ativo de germoplasma do Incaper, analisando dados de dois anos (2020-2021), usando o método REML/BLUP com o software Selegen. Os componentes de variância revelaram uma alta acurácia e uma alta repetibilidade, demonstrando uma confiabilidade nos dados. Os genótipos 445, 436 e 422 foram classificados com menor incidência da doença. À vista disso, foi verificado que há uma variabilidade genética no BAG e fontes de resistência, podendo ser utilizados para o desenvolvimento de variedades tolerantes ou resistentes.

Palavras-chave: Cafeeiro. Conilon. Ferrugem. Resistência.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma, Agronomia.

Introdução

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas no mundo sendo exercida pelos mais diversos grupos de agricultores, desde agricultores familiares a grandes produtores (Fairtrade Foundation, 2023). Atualmente o Brasil é o maior produtor de café do mundo, sendo o Espírito Santo o maior produtor de café conilon no país (CONAB, 2024).

Dentre os principais fatores limitantes para a cafeicultura os danos causados pelo fungo *Hemileia vastatrix*, popularmente conhecida como ferrugem, são os mais proeminentes. A ferrugem causa sintomas distintos e de fácil identificação, como manchas amareladas na face abaxial da folha, formando pústulas pulverulentas cobertas pelos uredosporos do fungo, dando o aspecto de um pó alaranjado (Ferrão, 2019). Em casos mais severos a ferrugem causa desfolha e depauperamento, podendo até levar à morte (Ferrão, 2019; Oliveira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

A desfolha da ferrugem pode retardar o desenvolvimento da planta, comprometendo a produção. Além disso, a seca dos ramos laterais antes na época do florescimento reflete negativamente no desenvolvimento dos botões florais e na frutificação, levando a produção de frutos anormais e defeituosos que reduzem a qualidade da bebida (FERRÃO, 2019; LI *et al.*, 2023). Plantas com alta produtividade frequentemente apresentam uma maior incidência de ferrugem. Esse fenômeno pode ser explicado pela relação entre o vigor vegetativo e a suscetibilidade a doenças fúngicas. A ferrugem, causada por fungos da ordem Pucciniales, encontra um ambiente propício em plantas que, devido à alta produtividade, possuem tecidos mais suculentos e uma maior densidade de folhagem, condições que facilitam a disseminação e o estabelecimento do patógeno (Cunfer e Uddin, 2015). Regiões com alta umidade relativa, especialmente em períodos de chuvas frequentes ou nevoeiros, criam um microclima ideal para o desenvolvimento dos esporos do fungo (Avelino *et al.*, 2004; Ferrão, 2019).

Devido ao impacto econômico provocado pela doença, os programas de melhoramento de *Coffea canephora* buscam identificar fontes de resistência. O objetivo deste trabalho foi identificar genótipos resistentes à ferrugem dentro dos acessos do banco ativo de germoplasma do Incaper.

Metodologia

A coleta de dados deste trabalho ocorreu no Banco Ativo de Germoplasma (BAG), instalado na Fazenda Experimental Bananal do Norte do Incaper, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, no estado do Espírito Santo, Brasil (20°45'S, 41°17'W) a 140 metros de altitude. O clima da região é classificado como Aw pela Köppen-Geiger e o solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. A topografia é ondulada e a região apresenta precipitação e temperatura média anual de 1.200 mm e 23°C respectivamente.

O BAG foi implantado em maio de 2017 com espaçamento de três metros entre linhas e 1,5 de metro entre plantas. O manejo da adubação segue a recomendação do manual de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo (Prezotti et al., 2007). Os tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da cultura seguindo as recomendações atuais para o cafeeiro conilon (Ferrão et al., 2019).

Nos anos de 2020 e 2021 foi avaliada a incidência de ferrugem em 217 acessos BAG (genótipos). A ferrugem é causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk et Br. e é avaliada como uma escala de notas que varia de 1 a 9 onde: nota 1 é atribuída às plantas assintomáticas; 3 presença de poucas esporulação; 6 esporulação mais um início de desfolha; 7 esporulação e desfolha severa; pontuação 9 esporulação e desfolha de alto nível causando esgotamento na planta.

A análise dos dados foi obtida utilizando o método de máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada (REML/BLUP), no aplicativo computacional Selegen (Resende, 2016), aplicando o modelo básico de repetibilidade sem delineamento, modelo 63:

$$y = X_m + W_p + e$$

Onde y é o vetor de dados; m é o vetor de efeitos de medição (fixos) somados à média geral; p é o vetor de efeitos de efeitos permanentes na planta, efeito do genótipo mais o efeito ambiental permanente (aleatório) e e é o vetor de resíduos (aleatório). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os efeitos.

Com base neste modelo foram estimados os componentes de variância: (σ_p^2) variância fenotípica permanente entre plantas (genotípica + ambiental permanente de uma colheita para a outra); (σ_t^2) variância de ambiente temporário; (σ_{phen}^2) variância fenotípica individual; (p) repetibilidade individual; (p_m) repetibilidade da média de m colheitas ou medidas repetidas; (A_{cm}) acurácia da seleção baseada na média de m colheita ou medidas repetidas e (μ) média geral do experimento.

A significância do efeito aleatório do modelo estatístico foi testada pela análise de deviance utilizando o teste da razão da verossimilhança (LRT) conforme a seguinte expressão:

$$LRT = -2 (\text{Log}L - \text{Log}L_r)$$

Onde, $\text{Log}L$ é o logaritmo do máximo (L) da função de verossimilhança restrita do modelo completo; $\text{Log}L_r$ é o logaritmo do máximo (LR) da função da verossimilhança restrita modelo reduzido (sem o efeito a ser avaliado). O LRT foi analisado considerando o teste qui-quadrado com um grau de liberdade a 1, 5 e 10% de significância.

Resultados

Os componentes de variância estimados e a média genotípica da característica avaliada estão apresentados na Tabela 1. A variância permanente, que abrange o efeito genético e é relacionada com os resultados mostrados na Tabela 2, onde a significância a 1% pelo teste LRT (Teste da Razão de Verossimilhança) é evidenciada. Desta forma é possível identificar os acessos passíveis de serem fontes de resistência à ferrugem. Os elevados valores de acurácia e repetibilidade reforçam a alta confiabilidade dos resultados.

Tabela 1 – Estimativas dos componentes de variância dos parâmetros genéticos e ambientais para a característica incidência de ferrugem (IF).

Componentes	IF
σ_p^2	1.9400
σ_t^2	2.3185
σ_{phen}^2	4.2585
ρ	0.4556
ρ_m	0.6260
A_{cm}	0.7912
μ	3.7719

σ_p^2 : variância fenotípica permanente (genótipo + ambiente de uma cultura para outra); σ_t^2 : variância do ambiente temporário; σ_{phen}^2 : variância fenotípica; ρ : repetibilidade individual; ρ_m : repetibilidade da média de m das colheitas ou medidas repetidas; A_{cm} : acurácia seletiva; μ : média geral do experimento.

Tabela 2 – Análise de deviance e razão de verossimilhança (LTR) para a característica incidência de ferrugem (IF).

Característica	Deviance		LRT
	VPP	CM	VPP
IF	1068.6954	1018.4528	50.2426**

CM: modelo completo; VPP: variância fenotípica permanente, ** significativo à 1%, com base no teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

A Tabela 3 apresenta a classificação dos dez melhores genótipos em relação à incidência da ferrugem, onde o genótipo 445 apresentou a menor incidência a esta doença nos dois anos de avaliação, podendo ser caracterizado como uma fonte de resistência presente no BAG.

Tabela 3 – Classificação dos dez melhores genótipos com base na metodologia de melhor predição linear não viesada (BLUP) para característica de incidência de ferrugem.

Ordem	Genótipos
1	445
2	436
3	422
4	421
5	412
6	411
7	410
8	406
9	397
10	170

Discussão

A identificação de genótipos resistentes à ferrugem é importante para o desenvolvimento de novas variedades (Pagan, 2022).

A utilização de genótipos resistentes é fundamental para o manejo eficaz de doenças e contribui significativamente para o sucesso sustentável na produção agrícola. A resistência genética tem se mostrado uma abordagem central na redução da dependência de pesticidas e na minimização dos impactos ambientais associados ao cultivo. Segundo Pimentel *et al.*, (2021), o emprego de variedades resistentes não só diminui a necessidade de controle químico, mas também melhora a eficiência produtiva ao reduzir as perdas de safras causadas por patógenos. Além disso, estudos de Fernandes *et al.*, (2022) indicam que genótipos resistentes aumentam a resiliência das culturas e a estabilidade das safras, proporcionando uma resposta mais robusta a condições adversas e variações bióticas.

Essa abordagem é amplamente apoiada por pesquisas que demonstram a importância de integrar a resistência genética no manejo de doenças para assegurar uma produção agrícola sustentável e eficiente (Huang *et al.*, 2023).

Mendonça *et al.*, (2019) destacaram a importância de estudar as estimativas dos parâmetros genéticos para a seleção de genótipos resistentes à ferrugem. Em seu estudo, os autores analisaram 54 clones de *Coffea canephora* do programa de melhoramento do Incaper, classificando-os em três categorias: resistentes, moderadamente resistentes e suscetíveis. Essa classificação é essencial para direcionar estratégias de melhoramento e manejo efetivas.

Costa *et al.*, (2021) demonstraram que a análise detalhada dos parâmetros genéticos é fundamental para identificar e desenvolver variedades de café com resistência aprimorada a doenças, otimizando os programas de melhoramento. Similarmente, Pereira *et al.*, (2022) destacam que a avaliação de genótipos quanto à resistência a patógenos como a ferrugem é crucial para a sustentabilidade da produção de café, contribuindo para a redução das perdas e aumento da eficiência produtiva.

Pereira *et al.*, (2020) investigaram o impacto do controle genético e químico da ferrugem em *Coffea arabica* e encontraram que as variedades de café resistentes apresentaram características superiores em relação à qualidade da bebida. Os autores relataram que essas variedades resistentes exibiram um maior teor de doçura, maior tamanho de grão e melhor qualidade de bebida em comparação com as variedades suscetíveis. A resistência à ferrugem reduz a necessidade de tratamentos químicos, que podem afetar o perfil sensorial do café, e promove uma produção mais equilibrada e consistente em termos de qualidade (Martins *et al.*, 2022).

Além disso, pesquisas recentes reforçam essa importância. Segundo Silva *et al.*, (2021), a seleção de variedades resistentes não só controla a ferrugem de forma mais eficiente, como também contribui para a produção de grãos de alta qualidade, beneficiando o valor de mercado do café. Ribeiro *et al.* (2022) também destacam que a resistência genética é crucial para melhorar a sustentabilidade e a qualidade das safras de café, corroborando os achados de Pereira *et al.*, (2020) e ampliando o entendimento sobre os benefícios múltiplos da resistência à ferrugem.

Conclusão

A análise do conjunto de dados demonstrou a variabilidade genética presente no banco ativo de germoplasma do Incaper. Os acessos 445, 436, 422, 421, 412, 411, 410, 406, 397 e 170 são importantes fontes de resistência a ferrugem do cafeeiro. Esses materiais devem ser estudados no futuro para aplicação em cruzamentos controlados para formação de variedades resistentes a ferrugem, estudos de identificação de genes de resistência ou até mesmo aplicação direta na formação de variedades clonais, desde que comprovada o potencial agrícola.

Referências

Avelino, J.; Willocquet, L.; Savary, S. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology*, v. 96, n. 5, p. 1309-1319, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2004.01067.x>. Acesso em: 15 ago. 2024.

Companhia Nacional de Abastecimento – **Conab**. Acompanhamento da safra brasileira de café. Brasília, DF, v. 11, n. 2, segundo levantamento, maio 2024.

Costa, A. A.; Carvalho, G. R.; Almeida, J. R. Advances in Coffee Breeding: Insights from **Genetic Analysis**. *Crop Science*, v. 61, n. 2, p. 345-359, 2021.

Cunfer, B. M.; Uddin, W. Epidemiology and Management of Wheat and Barley Diseases. St. Paul: American **Phytopathological Society Press**, 2015.

Fairtrade Foundation. Coffee Farmers. Disponível em: www.fairtrade.org.uk/Farmers-and-Workers/Coffee/. Acesso em: 2023.

Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A. da; Ferrão, M. A. G.; De Muner, L. H. (Ed.). **Conilon coffee**. 3. ed. Vitória: Incaper, 2019. 974 p.

Fernandes, J. M.; Pereira, L. C.; Lima, J. T. Crop Resilience and Disease Management: A Genetic Perspective. **Elsevier**, 2022.

Huang, X.; Yang, S.; Wang, J. Advances in Crop Disease Resistance: A Global Overview. Wiley-Blackwell, 2023.

Li, K.; Hajian-Forooshani, Z.; Vandermeer, J.; *et al.* Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) is spread by rain splash from infected leaf litter in a semi-controlled experiment. **Journal of Plant Pathology**, v. 105, p. 667–672, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01404-2>. Acesso em: 15 ago. 2024.

Martins, M. M.; Silva, E. R. Genetic Improvement for Coffee Quality and Disease Resistance. **Crop Science Perspectives**, v. 30, n. 1, p. 58-71, 2022.

Mendonça, R. F.; Jesus Junior, W. C.; Ferrão, M. A. G.; Moraes, W. B.; Busato, L. M.; Ferrão, R. G.; Tomaz, M. A.; Fonseca, A. F. A. Genótipos de café conilon e sua reação à ferrugem alaranjada. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 3, p. 279-284, 2019.

Oliveira, A. C. B.; Pereira, A. A.; Caixeta, E. T.; Resende, M. D. V.; Ribeiro, M. F. Cultivares de café resistentes à ferrugem: alternativa viável para a cafeicultura das Matas de Minas. **Embrapa Café**, Brasília, DF, 2021.

Pagan, J. P. G. Identificação de genótipos de cafeeiro quanto à resistência à ferrugem alaranjada. 2022. 42 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

Pereira, D. R.; Nadaleti, D. H.; Rodrigues, E. C.; Silva, A. D.; Malta, M. R.; Carvalho, S. P.; Carvalho, G. R. Genetic and chemical control of coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.): impacts on coffee (*Coffea arabica* L.) quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, p. 2836-2845, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10914>. Acesso em: 15 ago. 2024.

Pereira, T. L.; Rodrigues, A. C.; Lima, M. A. Sustainable Coffee Production: Role of Genetic Resistance to Diseases. **Field Crops Research**, v. 268, p. 108-120, 2022.

Pimentel, D.; Zuniga, R.; Morrison, J. Environmental and Economic Costs of Pesticide Use. **Springer**, 2021.

Prezotti, L. C.; Oliveira, J. A.; Gomes, J. A.; Dadalto, G. G. *Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação*. Vitória: Incaper, 2007.

Resende, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 330-339, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>. Acesso em: 15 ago. 2024.

Resende, M. D. V.; Alves, R. S. Linear, generalized, hierarchical, bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/http%3A//dx.doi.org/10.35418/2526-4117/v2n2a1>. Acesso em: 15 ago. 2024.

Ribeiro, P. D.; Oliveira, M. C.; Lima, E. M. Sustainable Coffee Production: The Role of Genetic Resistance and Quality Improvement. **Field Crops Research**, v. 276, p. 103-115, 2022.

Silva, M. do C.; Guerra, L.; Diniz, I.; Loureiro, A.; Azinheira, H.; Pereira, A. P.; Tavares, S.; Batista, D.; Várzea, V. An Overview of the Mechanisms Involved in Coffee-*Hemileia vastatrix* Interactions: Plant and Pathogen Perspectives. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 326, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020326>. Acesso em: 15 ago. 2024.

Silva, A. C.; Santos, B. R.; Almeida, F. A. Advancements in Coffee Breeding: Quality and Resistance Traits. *Plant Breeding Reviews*, v. 45, n. 3, p. 312-330, 2021.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Incaper. Agradecemos pelo apoio financeiro das agências Consórcio de Pesquisa e Café (ConCafé), Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).