AVALIAÇÃO INTEGRADA DA SEVERIDADE E ESTABILIDADE SANITÁRIA NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *COFFEA ARÁBICA* ENTRE SAFRAS

Autores: Maíra Silva Cattem[1]. Maria Clara Bolari Ramos [1]. Isabella Sobreira Alexandre Assis[1]. Lucas Rangel Garcia[1]. Lidiane dos Santos Gomes Oliveira[1]. Marcia Flores da Silva Ferreira[1]. Elaine Manelli Riva[2] Adésio Ferreira[1]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, maira_cattem@hotmail.com, mariabolari1@gmail.com, isabellasobreira_a_assis@hotmail.com, lrangelgarcia@gmail.com, lidianegomes31@gmail.com, marcia.ferreira@ufes.br, adesioferreira@gmail.com
[2]Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), BR-262, km 110, Viçosinha, São João de Viçosa (Caixa Postal 40), CEP 29378-990, Brasil, elaine.riva@gmail.com

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o perfil sanitário integrado de 13 genótipos de *Coffea arábica* quanto à severidade de ferrugem, cercosporiose e seca da ponteira, considerando o comportamento entre as safras de 2024 e 2025. Os dados foram analisados no software R, sendo calculado o Índice de Severidade Total (IST) e realizada a padronização das variáveis por escore Z. A estabilidade do perfil sanitário entre as safras foi estimada pela Distância Euclidiana Padronizada, permitindo a análise conjunta da severidade e da variação entre os anos. Os genótipos foram agrupados com base nas medianas do IST e da distância Z e ordenados por um escore de seleção exploratório. G12, G2 e G6 apresentaram a combinação mais favorável entre menor severidade e maior estabilidade. G7, G1 e G9 apresentaram baixa severidade, porém maior variação entre safras, enquanto G13 e G8 apresentaram maior severidade e maior estabilidade. G10, G4, G5, G3 e G11 apresentaram os resultados menos favoráveis, com maior severidade e instabilidade. Os resultados indicam que a avaliação conjunta da severidade e estabilidade pode auxiliar na seleção preliminar de genótipos, devendo a abordagem ser validada em maior número de safras e ambientes.

Palavras-chave: Cercosporiose. Ferrugem. Melhoramento genético. Seca da ponteira.

Área do Conhecimento: Ciências agrárias, agronomia.

Introdução

A cafeicultura apresenta elevada importância econômica e social, e a produtividade do cafeeiro é influenciada pela interação entre fatores genéticos, ambientais e de manejo. Entre os principais fatores que podem limitar o desempenho da cultura estão as doenças, que podem comprometer o desenvolvimento das plantas, a área foliar e a produtividade. Entre elas, destaca-se a ferrugem, causada por *Hemileia vastatrix*, considerada uma das principais doenças do cafeeiro e um importante alvo dos programas de melhoramento genético. A utilização de genótipos com resistência constitui uma estratégia relevante para reduzir os impactos da doença e contribuir para a sustentabilidade da produção (Silva et al., 2006; Petek et al., 2008).

A expressão da resistência à ferrugem pode variar entre genótipos e condições de cultivo, tornando importante a avaliação de materiais em diferentes ambientes e períodos. Estudos com cultivares e progênies de *Coffea arábica* demonstram a existência de diferenças quanto à reação às doenças e ressaltam a importância da identificação de fontes de resistência para programas de melhoramento (Petek et al., 2008; Carvalho et al., 2010). Além da ferrugem, a cercosporiose, causada por *Cercospora coffeicola*, também constitui importante problema fitossanitário do cafeeiro, podendo causar lesões foliares, desfolha e danos aos frutos. A ocorrência e a intensidade da doença podem variar entre materiais e condições de cultivo, reforçando a necessidade de sua consideração nas avaliações sanitárias (Patrício; Braghini; Fazuoli, 2010).

Nesse contexto, a avaliação conjunta de diferentes características sanitárias pode fornecer uma visão mais ampla do comportamento dos genótipos. Entretanto, a menor severidade de uma doença em determinada safra não necessariamente representa um comportamento consistente ao longo do tempo. A estabilidade da resposta sanitária torna-se, portanto, uma informação complementar para a seleção, especialmente em condições de campo, nas quais fatores ambientais podem modificar a expressão das doenças. Avaliações realizadas em diferentes ambientes demonstram que a resistência à ferrugem pode apresentar interação entre genótipo e ambiente, sendo possível encontrar materiais com elevada resistência, mas comportamento menos estável em determinadas condições (Berny Mier y Teran et al., 2025).

Diante disso, a integração de informações relacionadas à severidade e à estabilidade pode auxiliar na caracterização de diferentes padrões de resposta sanitária entre genótipos. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o perfil sanitário integrado de 13 genótipos de *Coffea arabica* quanto à severidade de ferrugem, cercosporiose e seca da ponteira, considerando a estabilidade do comportamento entre as safras de 2024 e 2025, visando identificar materiais com características favoráveis para seleção preliminar em programas de melhoramento genético.

Metodologia

Análise estatística

Os dados de severidade das doenças (ferrugem, cercosporiose e seca da ponteira) foram submetidos à análise no software R (R Core Team, 2024). Foi calculado o Índice de Severidade Total (IST), definido como a média aritmética das severidades das três doenças:

$$IST = \frac{(Ferrugem + Cercosporiose + seca\ \ da\ \ ponteira)}{3}$$

Os dados foram padronizados por meio da transformação em escore Z (média 0 e desvio padrão 1), devido as diferentes amplitudes de variação das escalas originais (ferrugem: 1–5; cercosporiose: 1 –4; seca da ponteira: 2–9). A estabilidade do perfil sanitário entre as safras foi quantificada pela Distância Euclidiana Padronizada (Z):

$$D_{ij} = \sqrt{(Zferr_{2024} - Zferr\,2025)^2 + Z(cer\,2024 - Zcer\,2025)^2 + (Zseca - Zseca\,2025)^2}$$

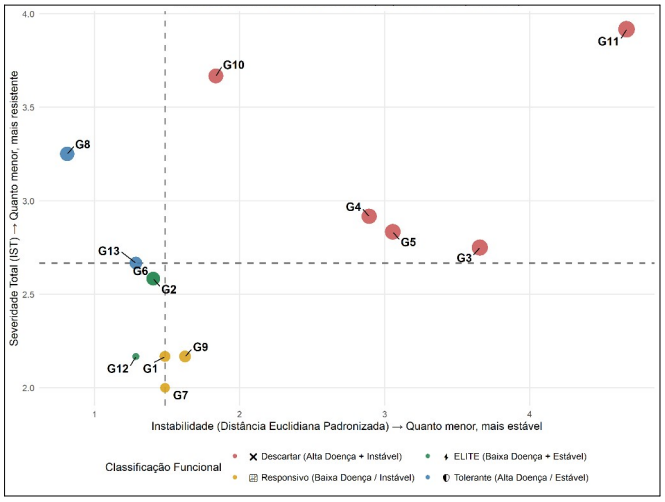
A classificação funcional dos genótipos foi realizada com base nas medianas do IST e da distância Z. Foram definidas quatro categorias: Altamente Promissor, para genótipos com IST e distância Z abaixo das respectivas medianas; Responsivo, para aqueles com IST abaixo e distância Z igual ou superior às medianas; Alta severidade e alta estabilidade, para genótipos com IST igual ou superior e distância Z abaixo das medianas; e Alta severidade e instabilidade, para genótipos com IST e distância Z iguais ou superiores às medianas.

O escore de seleção foi obtido pela média ponderada do IST e da distância Z, atribuindo-se peso de 0,5 a cada componente. Menores valores indicaram uma combinação mais favorável entre menor severidade e menor distância entre as safras. Considerando que o IST e a distância Z apresentam escalas e naturezas distintas, o escore foi utilizado como ferramenta exploratória de ordenação dos genótipos, não sendo interpretado isoladamente como evidência definitiva de superioridade genética.

Resultados

A Figura 1 apresenta a distribuição dos 13 genótipos nos quatro grupos definidos pelas medianas do IST (2,58) e da distância Z (1,49). G12, G2 e G6 apresentaram baixos valores de IST e de distância Z, indicando combinação favorável entre menor severidade e maior estabilidade. G7, G1 e G9 apresentaram baixos valores de IST, porém maiores distâncias entre as safras. G13 e G8 apresentaram maior severidade associada a menores distâncias, enquanto G10, G4, G5, G3 e G11 apresentaram maiores valores de severidade e distância Z.

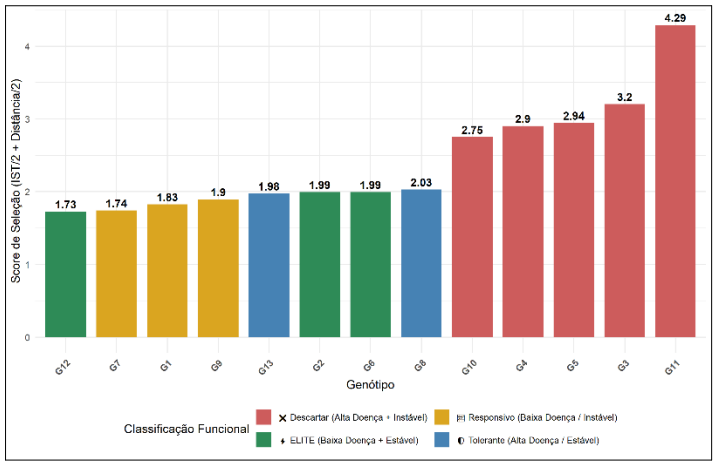
Figura 1- Distribuição dos 13 genótipos nos quatro grupos funcionais com base no Índice de Severidade Total (IST) e na Distância Euclidiana Padronizada (Z).



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Figura 2 apresenta a ordenação dos genótipos pelo escore de seleção exploratório, calculado pela média ponderada do IST e da distância Z. Os menores valores foram observados em G12 (1,73), G7 (1,74), G1 (1,83), G9 (1,90), G13 (1,98), G2 (1,99) e G6 (1,99). Os maiores valores foram observados em G8 (2,03), G10 (2,75), G4 (2,90), G5 (2,94), G3 (3,20) e G11 (4,29).

Figura 2- Ordenação dos 13 genótipos com base no escore de seleção exploratório.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A classificação funcional e o escore de seleção foram utilizados como critérios complementares. Enquanto a classificação considera a posição dos genótipos em relação às medianas do IST e da distância Z, o escore fornece uma ordenação contínua a partir da combinação desses dois componentes. Dessa forma, a ordem apresentada pelo escore não necessariamente coincide com a classificação dos quadrantes, sendo utilizada como ferramenta exploratória para auxiliar a interpretação dos resultados.

A Tabela 1 apresenta os valores de IST, distância Euclidiana padronizada e a classificação funcional dos genótipos. G12 apresentou o menor IST (2,17) associado a baixa distância Z (1,29), seguido por G2 e G6, ambos com IST de 2,58 e distância Z de 1,40. G7, G1 e G9 apresentaram baixos valores de IST, porém maior variação entre as safras. G13 e G8 apresentaram maior severidade e menor distância Z, enquanto G10, G4, G5, G3 e G11 apresentaram as combinações menos favoráveis, caracterizadas por maior severidade e maior distância entre as safras.

Tabela 1- Índice de Severidade Total (IST), distância Euclidiana padronizada (Z) e classificação funcional de 13 genótipos de café com base no perfil sanitário para ferrugem, cercosporiose e seca da ponteira entre as safras 2024 e 2025.

Genótipo	IST_medio	dist_Euclidiana_Z	Classificação
G12	2,17	1,29	Altamente Promissor (Baixa severidade + Alta estabilidade)
G7	2,00	1,49	Responsivo (Baixa severidade / Instável)
G1	2,17	1,49	Responsivo (Baixa severidade / Instável)
G9	2,17	1,63	Responsivo (Baixa severidade / Instável)
G13	2,67	1,29	Tolerante (Alta severidade + Alta estabilidade)
G2	2,58	1,40	Altamente Promissor (Baixa severidade + Alta estabilidade)
G6	2,58	1,40	Altamente Promissor (Baixa severidade + Alta estabilidade)
G8	3,25	0,81	Tolerante (Alta severidade + Alta estabilidade)
G10	3,67	1,84	Suscetível (Alta severidade + Instável)
G4	2,92	2,89	Suscetível (Alta severidade + Instável)
G5	2,83	3,06	Suscetível (Alta severidade + Instável)
G3	2,75	3,66	Suscetível (Alta severidade + Instável)
G11	3,92	4,67	Suscetível (Alta severidade + Instável)

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Discussão

Os resultados demonstraram diferenças entre os genótipos quanto à severidade das características sanitárias avaliadas e à estabilidade do comportamento entre as safras de 2024 e 2025. Essa variação é relevante para o melhoramento do cafeeiro, pois a identificação de materiais com menor severidade e comportamento mais consistente pode auxiliar na seleção de genótipos de interesse. A resposta às doenças, entretanto, não depende exclusivamente do genótipo, uma vez que condições ambientais e a interação genótipo × ambiente podem modificar a expressão da resistência. Estudos realizados em diferentes ambientes confirmam que a resposta de genótipos de *Coffea arábica* à ferrugem pode variar entre locais, reforçando a importância de avaliações em múltiplas condições (Silva et al., 2006; Berny Mier y Teran et al., 2025).

G12, G2 e G6 apresentaram a combinação mais favorável no presente estudo, caracterizada por menores valores de IST e de distância Z. G12 apresentou IST de 2,17 e distância Z de 1,29, enquanto G2 e G6 apresentaram IST de 2,58 e distância Z de 1,40. Esses resultados indicam menor intensidade média das características avaliadas associada a menor alteração do perfil sanitário entre as safras. A identificação de materiais com menor severidade é particularmente relevante em programas de melhoramento, nos quais a resistência genética constitui uma estratégia importante para reduzir os impactos das doenças do cafeeiro (Petek et al., 2008).

G7, G1 e G9 apresentaram baixos valores de IST, porém maiores distâncias entre as safras, indicando que a menor severidade não foi acompanhada pela mesma estabilidade observada em G12, G2 e G6. Por outro lado, G13 e G8 apresentaram menores distâncias entre as safras, mas maiores valores de IST. Esse resultado evidencia que estabilidade, quando analisada isoladamente, não representa necessariamente um comportamento sanitário favorável. Assim, a interpretação conjunta das duas dimensões permite diferenciar materiais com baixa severidade daqueles que apenas mantiveram um padrão sanitário relativamente constante. Essa distinção é coerente com estudos de avaliação multilocal de resistência à ferrugem, nos quais resistência e estabilidade não apresentaram comportamento necessariamente coincidente entre os genótipos (Berny Mier y Teran et al., 2025).

Os genótipos G10, G4, G5, G3 e G11 apresentaram as combinações menos favoráveis, caracterizadas por maiores valores de IST e distância Z. O G11 apresentou os maiores valores para ambas as medidas (IST = 3,92; distância Z = 4,67), indicando maior severidade e maior alteração do perfil sanitário entre as safras. A presença de diferentes respostas entre os genótipos também pode estar relacionada à ocorrência simultânea de diferentes problemas sanitários. No caso da cercosporiose, estudos demonstram diferenças de reação entre materiais de cafeeiro e influência das condições de cultivo sobre a intensidade da doença (Patrício; Braghini; Fazuoli et al., 2010).

A utilização conjunta do IST e da distância Euclidiana permitiu sintetizar informações complementares sobre o perfil sanitário dos genótipos. Entretanto, os resultados devem ser interpretados como uma abordagem exploratória. O IST foi calculado a partir das escalas originais das três características, que apresentam amplitudes diferentes, enquanto a distância Z foi obtida a partir de variáveis padronizadas. Além disso, o escore de seleção utilizou pesos iguais para o IST e a distância Z, embora esses componentes apresentem escalas distintas. Dessa forma, o ranking deve ser interpretado de maneira relativa ao conjunto avaliado e não como evidência definitiva de superioridade genética. Em estudos futuros, recomenda-se a padronização prévia dos componentes utilizados no escore, além da ampliação do número de safras e ambientes, para verificar a consistência dos padrões identificados.

Conclusão

A avaliação integrada permitiu diferenciar os 13 genótipos de *Coffea arabica* quanto à severidade de ferrugem, cercosporiose e seca da ponteira e à estabilidade do perfil sanitário entre as safras de 2024 e 2025. G12, G2 e G6 apresentaram a combinação mais favorável entre menor severidade e maior estabilidade, destacando-se como materiais prioritários para avaliações posteriores. G7, G1 e G9 apresentaram baixa severidade, porém maior variação entre as safras, enquanto os demais genótipos apresentaram combinações menos favoráveis entre severidade e estabilidade.

A combinação do Índice de Severidade Total e da Distância Euclidiana Padronizada mostrou potencial como ferramenta exploratória para a seleção preliminar de genótipos com comportamento sanitário mais favorável. Entretanto, os resultados devem ser interpretados de forma relativa aos materiais avaliados e validados em maior número de safras e ambientes. A padronização prévia dos componentes do escore e a inclusão de características agronômicas, como produtividade, podem contribuir para o aprimoramento da abordagem em estudos futuros.

Referências

BERNY MIER Y TERAN, J. C. et al. Global *Coffea arabica* variety trials reveal genotype-by-environment interactions in resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). ***Frontiers in Plant Science***, v. 16, 1583595, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1583595.

BOTELHO, C. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília**, v. 45, n. 12, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200010.

CARVALHO, A. M. de et al. Desempenho agronômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no estado de Minas Gerais, Brasil. ***Bragantia*, Campinas**, 2010.

PATRICIO, F. R. A.; BRAGHINI, M. T.; FAZUOLI, L. C. Resistência de plantas de *Coffea arábica*, *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos à cercosporiose. ***Bragantia*, Campinas**, v. 69, n. 4, p. 883-890, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400014.

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. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100016.

SILVA, M. do C. et al. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. ***Brazilian Journal of Plant Physiology***, v. 18, n. 1, p. 119-147, 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa. Agradecemos também ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pelo suporte institucional e pelas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.