

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS GENÉTICOS DE ACEROLEIRA NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Isabela Bolari Ramos¹, Gabriel Maganha Verdam², Laisa Gabriela Melo Pravato², Idalina Sturião Milheiros², Flávio de França Souza³, João Felipe de Brites Senra², Marlon Dutra Degli Esposti².

¹Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Alto Universitário, s/nº, Guararema, 29500-000, Alegre-ES, Brasil, isabelabolari@outlook.com.

²Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER/CPDI Sul) - Rodovia João Domingo Zago, Km 2,5, Pacotuba, 29323-000, Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil, gabriel.m.verdam@gmail.com, laisapravato@gmail.com, idalinasturiao@gmail.com, joao.senra@incaper.es.gov.br, mesposti@incaper.es.gov.br.

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Rodovia BR 428, Km 152, Zona Rural, 56302-970, Petrolina-PE, Brasil, flavio.franca@embrapa.br.

Resumo

O estudo teve como objetivo analisar os parâmetros genéticos relacionados à altura da planta em genótipos de aceroleira na região sul do estado do Espírito Santo. Doze genótipos foram avaliados em um Delineamento em Blocos Casualizados. A análise dos parâmetros genéticos foi realizada utilizando o método de modelos mistos (REML/BLUP), e a significância foi testada pelo teste de razão de verossimilhança (LRT). Os resultados indicaram uma alta variabilidade genética, com destaque para o genótipo 5, que apresentou o maior potencial de crescimento, ao contrário do genótipo 6 que obteve a menor altura.

Palavras-chave: *Malpighia emarginata* D.C., modelos mistos, crescimento, seleção.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma - Agronomia

Introdução

A agricultura desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e sustentável de diversas regiões do mundo, sendo fundamental na oferta de alimentos, geração de emprego e renda. Entre as diversas culturas de interesse na agroindústria, a acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) se destaca por sua alta concentração de ácido ascórbico (Vitamina C), superior a muitas outras frutas conhecidas (Belwal et al. 2018; Chang et al., 2019; Mariano-Nasser et al., 2017).

O Brasil é o principal produtor, consumidor e exportador de acerola no mundo, com áreas de cultivo comercial distribuídas por praticamente todas as regiões do país (Ferreira et al., 2021). A produção está concentrada na região Nordeste, uma região favorecida pelas condições climáticas, características do solo e pela adaptação da aceroleira, o que facilita sua produção em larga escala (Santos; Lima, 2020; Ferreira et al., 2021). Dentro dessa região, destaca-se o Vale do São Francisco (VSF) em Petrolina - PE, que é o maior produtor de acerola no Brasil, respondendo por mais de 25% da produção nacional (Belwal et al., 2018; IBGE, 2017), seguido pelo Ceará com 14,32%, e São Paulo com 11,40% (Petinari Tarsitano, 2002; Prakash & Baskaran, 2018).

Embora a produção no Nordeste se destaque, outras regiões do país também contribuem para a produção nacional. O estado do Espírito Santo produziu 915 toneladas de acerola no ano de 2017 (IBGE, 2017). Apesar de representar uma fração menor do total nacional, essa produção é significativa para a economia local. Grande parte desse resultado, provém de propriedades de base familiar que cultivam algumas variedades, produzindo matéria-prima para as indústrias parceiras, promovendo a qualidade de vida para os produtores da região (Esposti et al., 2010).

No Sul do Espírito Santo 40 hectares de aceroleira das variedades "Sertaneja" e "Okinawa" foram recomendadas e introduzidas na região em 2007, formando um polo de produção de acerola. Essas variedades foram distribuídas nos municípios de Piúma, Iconha, Rio Novo do Sul, Anchieta, Vargem Alta, Itapemirim e Marataízes. A implantação foi apoiada pela Cooperativa de Valorização, Incentivo e de Desenvolvimento Agropecuário Sustentável do Vale do Orobó (Coopervidas), em parceria com a empresa PULP FRUIT, com apoio do Governo do Estado, por meio da Secretaria da Agricultura,

Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag) e Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), após técnicos constatarem que as condições endofaclimáticas da região eram propícias para o cultivo (Esposti et al., 2010).

A produção da aceroleira pode ser destinada para a indústria de processamento, onde é utilizada na extração de ácido ascórbico, que encontra aplicação tanto na indústria farmacêutica quanto em produtos industrializados e também é comercializada para o consumo *in natura* (Ferreira et al., 2022; Vilvert et al., 2024). Embora existam variedades recomendadas para o Brasil, não há variedades específicas para as condições de cultivo no Espírito Santo. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar os parâmetros genéticos de doze cultivares de aceroleira para formar um banco de dados que auxiliará o desenvolvimento de uma cultivar específica para o estado do Espírito Santo.

Metodologia

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Bananal do Norte (FEBN), pertencente ao Centro de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação Sul do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), localizada em Cachoeiro de Itapemirim-ES. A FEBN localiza-se na 20°45 'S e 41°17' W, no sul do estado do Espírito Santo, a 140 metros de altitude. O local apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, clima Cwa com verão chuvoso e inverno seco de acordo com a classificação de Köppen, precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura média anual de 23 °C e topografia ondulante.

O experimento foi implantado no delineamento em blocos casualizados, com três repetições e três plantas por parcela, totalizando 108 plantas na área experimental. Foram avaliados doze genótipos cedidos pela Embrapa Semiárido Petrolina, algumas fazendo parte do Ensaio Nacional de Cultivares. O espaçamento é de 4,5 m entre linhas e 4,5 m entre plantas. O manejo da cultura seguiu as recomendações de (Esposti, 2012), controle fitossanitário e irrigação por microaspersão (Calgaro; Braga, 2012) e a adubação mineral seguiu o manual de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo (Prezoti et al., 2007).

Cinco meses após o plantio, foram conduzidas avaliações de crescimento dos genótipos (Tabela 1), sendo analisada a altura da planta, avaliada pela distância da copa da planta ao solo (cm).

Tabela 1 - Calendário da avaliação de crescimento.

Mês de coleta	Janeiro	Fevereiro	Abril	Maio	Julho
Data	20/01/2024	20/02/2024	03/04/2024 22/04/2024	20/05/2024	25/07/2024

Fonte: o autor.

Os dados de crescimento foram analisados através do software Selegen (Resende, 2016), modelo 29, aplicado a um delineamento em blocos completos com avaliação em um só local e em várias medições.

Para estimar os parâmetros genéticos e o valor genético dos genótipos foi utilizado o método da máxima verossimilhança restrita e a melhor predição linear não viesada (*maximum likelihood method and best unbiased linear prediction* – REML/BLUP) (Equação 1):

$$y = X_m + Z_g + W_p + e \quad (1)$$

onde y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (fixos) somados a média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (aleatórios), p é o vetor dos efeitos de ambiente permanente da parcela (aleatório), e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência.

Os componentes de variância dos parâmetros genéticos estimados foram: variância genética (σ_g^2), variância de ambiente permanente (σ_{perm}^2), variância residual (σ_e^2), variância fenotípica individual (σ_{fen}^2), herdabilidade no sentido amplo (h^2), repetibilidade ao nível de parcela (r), coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente (c_{perm}^2), herdabilidade média (h_{med}^2), acurácia ($\hat{r}_{gg}$) e média geral (m).

A significância dos efeitos aleatórios do modelo foi testada pelo método da análise de deviance utilizando o teste de razão de verossimilhança (*likelihood ratio test* – LRT) (Equação 2):

$$LRT = -2(\text{Log}_L - \text{Log}_{L_R}) \quad (2)$$

onde Log_L é o logaritmo do máximo (L) da função de verossimilhança restrita do modelo completo, e Log_{L_R} o logaritmo do máximo (L_R) da função de verossimilhança restrita do modelo reduzido (sem o efeito ser testado). O LRT foi analisado considerando o teste qui-quadrado com um grau de liberdade de 1, 5 e 10% de significância.

Resultados

Os componentes de variância dos parâmetros genéticos da acerola relacionados à altura da planta são apresentados na Tabela 2. A variância genética foi estimada em 9.6271, enquanto a variância do ambiente permanente ficou em 5.0525. Já a variância ambiental alcançou 10.3466, resultando em uma variância fenotípica total de 25.0264. A herdabilidade no sentido amplo foi calculada em 0.3846. A repetibilidade foi avaliada em 0.5865 e o coeficiente de determinação dos efeitos do ambiente permanente foi de 0.2018. Por fim, a herdabilidade média, a acurácia e a média geral apresentaram valores de 0.7908, 0.8892 e 62.0115, respectivamente.

Tabela 2- Estimativas de componentes de variância de parâmetros genéticos da acerola para altura da planta.

Componentes					
Variável	σ_g^2	σ_{perm}^2	σ_e^2	σ_{fen}^2	h^2
	9.6271	5.0525	10.3466	25.0264	0.3846
Altura da planta	r	c_{perm}^2	h_{med}^2	$\hat{r}_{gg}$	m
	0.5865	0.2018	0.7908	0.8892	62.0115

σ_g^2 : variância genética; σ_{perm}^2 : variância de ambiente permanente; σ_e^2 : variância residual; σ_{fen}^2 : variância fenotípica individual; h^2 : herdabilidade no sentido amplo; r : repetibilidade ao nível de parcela; c_{perm}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente; h_{med}^2 : herdabilidade média; $\hat{r}_{gg}$: acurácia; m : média geral.

Fonte: o autor.

A Tabela 3 apresenta a análise de deviance e o teste de razão de verossimilhança (LRT) para a altura da planta. O teste de razão de verossimilhança (LRT) revelou valores de 9,69 para o efeito de genótipo e 12,95 para o efeito de parcela, ambos altamente significativos ($p < 0,01$). Esses resultados indicam que tanto o genótipo quanto a parcela contribuem significativamente para a variação observada na altura da planta.

Tabela 3 - Análise de Deviance e o teste de razão de verossimilhança (LRT) para altura da planta.

Variável	Deviance		
	Genótipo	Parcela	Modelo Completo
Altura da Planta	532.9	536.16	523.21
	LRT		
	Genótipo	Parcela	
	9.69**	12.95**	

ns, °, * e **: não significativo, significativo a 10%, significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, com base no teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade. Fonte: o autor.

Também foram estimados os valores genéticos e ganho de seleção dos genótipos. A Tabela 4 apresenta a classificação dos genótipos com base no valor genético estimado (g) e na soma da média geral da característica (u) com o valor genético (u + g). Entre os genótipos avaliados, o 5 se destacou,

apresentando o maior valor genético ($g = 3,7583$), seguido pelos genótipos 10 e 12. Por outro lado, os genótipos 11 e 6 apresentaram os menores valores genéticos ($g = -5,7537$ e $g = -2,6123$, respectivamente), demonstrando menor potencial para a altura da planta dentro das condições avaliadas.

Tabela 4 - Classificação dos genótipos com base no ganho de seleção para a característica altura da planta.

Altura da planta					
Ranking	Genótipo	g	u + g	Ganho	Nova Média
1	5	3,7583	65,7698	3,7583	65,7698
2	10	2,9894	65,001	3,3738	65,3854
3	12	2,616	64,6275	3,1212	65,1328
4	1	1,2979	63,3095	2,6654	64,677
5	9	1,254	63,2656	2,3831	64,3947
6	2	0,9904	63,0019	2,151	64,1626
7	3	0,0458	62,0573	1,8502	63,8618
8	7	-0,1959	61,8157	1,5945	63,606
9	8	-2,173	59,8386	1,1759	63,1874
10	4	-2,2169	59,7947	0,8366	62,8482
11	11	-2,6123	59,3993	0,5231	62,5346
12	6	-5,7537	56,2579	0	62,0116

Fonte: o autor.

Discussão

A variância genética indicou uma contribuição significativa dos fatores genéticos para a variabilidade observada na altura das plantas, o que significa que há diferença estrutural entre os genótipos. O valor da variância ambiental permanente reflete a variação que se observa de forma consistente ao longo do tempo, devido a fatores ambientais que permanecem estáveis, exercendo uma influência significativa. A variância residual obteve um valor que representa a variabilidade não explicada por fatores genéticos ou ambientais permanentes. A variância fenotípica individual resultou em 25.0264, representando a soma das variâncias genética, ambiental permanente e residual. A herdabilidade no sentido amplo foi estimada em 0.3846, sugerindo que aproximadamente 38,47% da variação fenotípica na altura da planta pode ser atribuída a fatores genéticos. Segundo Resende e Alves (2020), esse valor é moderado e esse nível de herdabilidade implica na seleção, devendo ser realizada com cuidado, considerando as influências ambientais que também afetam a expressão da altura.

A repetibilidade ao nível de parcela foi de 0.5865, evidenciando uma moderada consistência nas medições ao longo do tempo. O coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente foi estimado em 0.2018, demonstrando a contribuição desses efeitos na variação total observada. A acurácia (0,8892) foi alta de acordo com Resende (2020), indicando que as estimativas dos valores genéticos são confiáveis e que a seleção com base nesses valores tem uma alta probabilidade de resultar em ganhos genéticos reais.

Sobre os valores genéticos e o ganho de seleção, o genótipo 5 demonstrou maior potencial de crescimento, com valor expressivo de ganho genético, seguido pelo genótipo 10 e 12, também com desempenho relevante. A partir desse resultado, é possível selecionar materiais com um porte superior e com portes intermediários.

Conclusão

O presente estudo revelou que há variabilidade genética entre os genótipos de aceroleira analisados. O genótipo 5 se destacou, apresentando o maior porte para altura da planta, ao contrário do genótipo 6, ficando na última posição, tendo o menor porte.

Referências

BELWAL, Tarun et al. Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends in Food Science & Technology**, Science Direct, v. 74, p. 99-106, 2018. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.01.014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417306805?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jul. 2024.

CALGARO, M.; BRAGA, M.B. **A cultura da acerola**. 3. ed. rev. Embrapa: Embrapa, 2012. 144 p. ISBN 978-85-7035-130-2. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/952709>. Acesso em: 15 jul. 2024.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects - A comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, p. 1580-1604, 2019. DOI: 10.1080/10408398.2017.1422111. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2017.1422111>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ESPOSTI, M. D. D. **Acerola 'Tem época para podar a aceroleira?'**. Revista Procampo, Linhares/ES, p. 36-37, 01 ago. 2012.

ESPOSTI, M. D. D. et al. **Polo de Acerola da Região Sul do Estado do Espírito Santo**. Memória Técnica do Incaper: Incaper, 2010. 6 p. ISBN 1519-2059. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/196>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FERREIRA, I. C. et al. Brazilian varieties of acerola (*Malpighia emarginata* DC) produced under tropical semi-arid conditions: bioactive phenolic compounds, sugars, organic acids, and antioxidant capacity. **Journal of Food Biochemistry**, v. 45, n. 8, e13829, 2021. DOI: 10.1111/jfbc.13829. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfbc.13829>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FERREIRA, M. A. R. et al. Multivariate selection index of acerola genotypes for fresh consumption based on fruit physicochemical attributes. **Euphytica**, v. 218, p. 25, 2022. DOI: 10.1007/s10681-022-02978-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-022-02978-1>. Acesso em: 15 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de acerola no Brasil. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acerola/br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de acerola no Espírito Santo. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acerola/br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

MARIANO-NASSER, F. A. de C. et al. Bioactive compounds in different acerola fruit cultivares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4 Supl.1, p. 2505-2514, 2017. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2505. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/27112>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PETINARI, R. A.; TARSITANO, M. A. A. Análise econômica da produção de acerola para mesa, em Jales-SP: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 411-415, 2002. DOI:

10.1590/S0100-29452002000200026.

Disponível

em:

<https://www.scielo.br/j/rbf/a/CvJQLcCBhf79jMtT8rwnFf/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 3373–3384, 2018. DOI: 10.1007/s13197-018-3309-5. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6098779/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do espírito santo: 5ª aproximação**. Incaper, Vitória, p. 305, 2007.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 330–339, 2016. DOI: 10.1590/1984-70332016v16n4a49. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/rzZBnWZ4HnvmsvL9qCPZ5C/#>. Acesso em: 15 jul. 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, p. 1–31, 2020. DOI: 10.35418/2526-4117/v2n2a1. Disponível em: <http://fpbjournal.com/fpbj/index.php/fpbj/article/view/76>. Acesso em: 28 ago. 2024.

SANTOS, T. da S. R. dos; LIMA, R. A. Cultivo de *Malpighia emarginata* L. no Brasil: uma revisão integrativa. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 333–338, 2020. DOI: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n4.santos. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/9418>. Acesso em: 30 jul. 2024.

VILVERT, J. C. *et al.* Phenolic compounds in acerola fruit and by-products: an overview on identification, quantification, influencing factors, and biological properties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 18, n. 1, p. 216–239, 2024. DOI: 10.1007/s11694-023-02175-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-023-02175-1>. Acesso em: 15 jul. 2024

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) e da Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (SEAG).