

Caracterização do vigor vegetativo, leituras SPAD e índice de vegetação em população de *Coffea canephora*

Characterization of the vegetative vigor, and SPAD readings and vegetation index in a *Coffea canephora* population

Caracterización del vigor vegetativo, lecturas SPAD e índice de vegetación en una población de *Coffea canephora*

Recebido: 01/11/2022 | Revisado: 09/11/2022 | Aceitado: 09/11/2022 | Publicado: 16/11/2022

Josimar Aleixo da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6921-6043>
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil
E-mail: josimaraleixo_@hotmail.com

João Felipe de Brites Senra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7915-2821>
Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: joaofelipeagronomo@gmail.com

Marlon Dutra Degli Esposti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0033-6105>
Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: mesposti@incaper.es.gov.br

Idalina Sturião Milheiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9449-2138>
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil
E-mail: idalinasturiao@gmail.com

Uliana Ribeiro Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1161-5038>
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil
E-mail: ulianars@gmail.com

Amanda Oliveira da Conceição

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2668-7659>
Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, Brasil
E-mail: amandadeoliveira1@hotmail.com

Alex Justino Zacarias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4434-218X>
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil
E-mail: alexjustino12@gmail.com

Resumo

Atualmente a maioria das cultivares de *Coffea canephora*, desenvolvidas e recomendadas pela pesquisa, são propagadas vegetativamente, sendo conhecidas popularmente como variedades e/ou cultivares clonais. Contudo, aquelas propagadas por sementes apresentam base genética mais ampla com maior variabilidade das plantas nas lavouras. Assim, objetivou-se caracterizar uma população (genótipos) da cultivar de *C. canephora* 'ES8152', de propagação seminal, a partir das características agrônômicas vigor vegetativo e altura da copa, leituras SPAD e índice de vegetação por diferença normalizada, após a primeira colheita em 2022. O plantio foi realizado em 2019, no delineamento de blocos aumentados com três repetições, 240 genótipos e quatro testemunhas clonais (A1, LB1, V8 e V12), sendo possível avaliar 199 genótipos, incluindo as testemunhas. Os dados foram analisados pela máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada, análise de agrupamento e redes de correlação genética. A população de cafeeiros conilon apresentou ampla variabilidade genética. A caracterização permitiu a identificação daqueles promissores, como os genótipos 16, 25, 82 e 173. As correlações genéticas foram positivas, significativas e maiores entre os pares vigor vegetativo x altura da copa e leituras SPAD x índice de vegetação. A maioria dos genótipos avaliados apresentaram vigor vegetativo intermediário, aliado a um baixo estresse vegetativo. Assim, as estratégias adotadas foram eficientes na caracterização dos genótipos, podendo auxiliar nas tomadas de decisões no processo de melhoramento de café conilon.

Palavras-chave: Pool gênico; Parâmetros genéticos; Melhoramento genético.

Abstract

Currently the most of the *Coffea canephora* cultivars, developed and recommended by the research, are propagated vegetatively, being popularly known as clonal varieties and/or cultivars. However, those propagated by seeds present

a wide genetic base with greater variability of the plants in the crops. Thus, the objective was to characterize a population (genotypes) from *C. canephora* cultivar 'ES8152', of seminal propagation, from agronomic characteristics vegetative vigor and canopy height, SPAD readings and vegetation index, after the first harvest in 2022. The planting was carried out in 2019, in an augmented block design with three replications, 240 genotypes and four clonal witnesses (A1, LB1, V8 and V12), being possible to evaluate 199 genotypes, including the witnesses. Data were analyzed by the method of restricted maximum likelihood and best linear unbiased prediction, cluster analysis and genetic correlation networks. The conilon coffee population showed wide genetic variability. The characterization allowed the identification of promising ones, such as genotypes 16, 25, 82 and 173. The genetic correlations were positive, significant and higher between the pairs vegetative vigor x canopy height and SPAD readings x vegetation index. Most of the genotypes evaluated showed intermediate vegetative vigor, combined with low vegetative stress. Thus, the adopted strategies were efficient in the characterization of the genotypes, being able to assist in the taking of decisions in the process of breeding of conilon coffee.

Keywords: Gene pool; Genetic parameters; Breeding.

Resumen

Actualmente la mayoría de los cultivares de *Coffea canephora*, desarrollada y recomendados por la investigación, se propagan vegetativamente, siendo popularmente conocidos como variedades y/o cultivares clonales. Sin embargo, los propagados por semillas tienen una base genética más amplia con mayor variabilidad de plantas en los cultivos. Así, el objetivo fue caracterizar genotipos del cultivar de *C. canephora* 'ES8152', de propagación seminal, a partir de las características agronómicas vigor vegetativo y altura de la copa, lecturas SPAD e índice de vegetación, luego de la primera cosecha en 2022. La siembra se realizó en 2019, en un diseño de bloques aumentados con tres repeticiones, 240 genotipos y cuatro testigos clonales (A1, LB1, V8 and V12), lo que permitió evaluar 199, genotipos, incluidos los testigos. Los datos se analizaron mediante el método de máxima verosimilitud restringida y la mejor predicción lineal imparcial, análisis de conglomerados y redes de correlación genética. La población de café conilón presentó una amplia variabilidad genética. La caracterización permitió la identificación de promisorios, como los genotipos 16, 25, 82 y 173. Las correlaciones genéticas fueron positivas, significativas y mayores entre los pares vigor vegetativo x altura de la copa e lecturas SPAD x índice de vegetación. La mayoría de los genotipos evaluados presentaron vigor vegetativo intermedio, combinado con estrés vegetativo bajo. Así, las estrategias adoptadas fueron eficientes en la caracterización de los genotipos, pudiendo auxiliar en la toma de decisiones en el proceso de mejoramiento del café conilón.

Palabras clave: Pool genético; Parámetros genéticos; Mejoramiento genético.

1. Introdução

A cafeicultura é uma das atividades agrícolas que mais tem contribuído para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro. A produção brasileira de cafés, arábica (*Coffea arabica*) e conilon (*C. canephora*), é de aproximadamente 50,38 milhões de sacas beneficiadas, que representa cerca de 30% da produção mundial do produto, especificamente o café conilon brasileiro com produção estimada para 2022 de 17,97 milhões de sacas beneficiadas, sendo que o estado do Espírito Santo contribui com aproximadamente 70% desse quantitativo (ICO, 2021; CONAB, 2022). Uma das principais instituições brasileiras de pesquisas com café conilon é o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), o qual leva em consideração toda a diversidade de ambientes de cultivos, topografia, perfil dos produtores, além de aspectos culturais, sociais, econômicos e tecnológicos do estado do Espírito Santo (Ferrão et al., 2019a; Ferrão et al., 2019b).

No melhoramento genético de café conilon, para obtenção de uma cultivar, são adotadas metodologias de propagação assexuada por estaquia (clonal) e sementes (sexuada). Atualmente, a maioria das cultivares de *C. canephora* são clonais, contudo, as cultivares propagadas por sementes apresentam ampla base genética com maior variabilidade natural das plantas nas lavouras, são mais rústicas, exibindo maior estabilidade de produção e são recomendadas para cultivos em ambientes sujeitos a estresses bióticos e abióticos (Ferrão et al., 2019a; Ferrão et al., 2019c; Souza et al., 2021; Senra et al., 2022). Na atualidade, a principal cultivar, propagada por sementes, recomendada para o estado do Espírito Santo é a 'ES8152', também conhecida como 'Conquista', lançada pelo Incaper em 2019, a qual tem grande aceitação pelos produtores, principalmente os de base familiar.

Assim a caracterização de genótipos em populações de melhoramento, provenientes de uma cultivar de propagação seminal traz informações importantes para os produtores do seu padrão fenotípico, além de ser uma etapa essencial para

auxiliar na definição das estratégias de programas de melhoramento. A identificação e exploração da variabilidade genética de materiais de propagação seminal, como os genótipos da cultivar ‘ES8152’, são de grande importância para manutenção da sustentabilidade do melhoramento genético do café conilon. Portanto, a avaliação de caracteres de interesse agrônomo, como vigor vegetativo dos materiais é indispensável, como relatado por diversos pesquisadores (Carias et al., 2016; Carvalho et al., 2019; Alkimim et al., 2021; Akperter et al., 2022; Moura et al., 2022)

Além disso, a utilização de técnicas de fenotipagem relacionadas com a fisiologia das plantas, por meio de dados obtidos com o medidor portátil de clorofila SPAD-502 (SPAD - Soil Plant Analysis Development) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), aliados ao vigor vegetativo, com estimativas de parâmetros genéticos suficientes para discriminação de genótipos tornam-se de grande importância na economia de tempo e otimização de recursos (físicos e humanos) nos programas de melhoramento, permitindo a concentração de esforços em genótipos mais promissores. Na cultura do cafeeiro existem alguns trabalhos com o uso do medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Torres Netto et al., 2005; Reis et al., 2009; Widjaja Putra e Soni, 2018; Bernado et al., 2022) e com índice de vegetação por diferença normalizada (Nogueira et al., 2018; Maciel et al., 2018; Mota et al., 2020; Martins et al., 2021; Silva et al., 2021). Especificamente no melhoramento de café conilon, são poucas as pesquisas encontradas que utilizam essas técnicas para a fenotipagem em larga escala, como no trabalho de Senra et al. (2022), para estimação de diversidade genética.

Neste contexto, objetivou-se caracterizar genótipos da cultivar de café conilon ‘ES8152’, a partir das características agrônomicas vigor vegetativo e altura da copa, leituras SPAD e o índice vegetação por diferença normalizada, após a primeira colheita significativa, ou seja, aos três anos após o plantio.

2. Metodologia

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental de 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, na latitude 20°45 'S e longitude 41°17' W. A instalação do experimento foi em novembro de 2019, os tratamentos foram 240 genótipos da cultivar ‘ES8152’, além de quatro testemunhas clonais, as quais foram os clones comerciais A1 (da cultivar ‘Diamante ES8112’), LB1 (da cultivar ‘ES8122’), V8 e V12 (da cultivar ‘Vitória Incaper 8142’).

O pool gênico avaliado foi proveniente da cultivar de propagação seminal ‘ES8152’, a qual é mantida pelo Incaper na FEBN. O delineamento utilizado foi o de blocos aumentados de Federer (Federer, 1956) com três repetições, 240 tratamentos regulares (genótipos) e quatro tratamentos comuns (testemunhas clonais). O plantio foi realizado no espaçamento de três metros entre linhas e um metro entre plantas (3 x 1 m). As adubações de plantio, formação e produção seguiram o manual de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo (Prezotti et al., 2007) e os tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com a exigência da cultura, seguindo as recomendações para o café conilon (Ferrão et al., 2019b).

Em 2022, após primeira colheita significativa do experimento, foi possível avaliar 199 genótipos da população, incluindo as testemunhas clonais, para as características:

- Vigor vegetativo: característica agrônômica avaliada na ocasião da colheita, atribuindo-se notas numa escala de 1 a 9 em função do desenvolvimento vegetativo das plantas, sendo a nota 1 atribuída às plantas pouco vigorosas e 9 àquelas com ótimo desenvolvimento vegetativo.

- Altura da copa: determinada com auxílio de uma trena, obtida pela distância entre o início da copa do cafeeiro e a sua extremidade final (cm).

- Leituras SPAD: foi obtido com auxílio do medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co Ltd, 1989), medindo-se na folha do terceiro ou quarto par dos ramos plagiotrópicos localizados no terço médio da planta. Foram realizadas

duas medições por folha (lado direito e esquerdo do mesófilo foliar na superfície adaxial);

-Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI): foi obtido com auxílio do sensor portátil PlantPen NDVI-300 (PSI Corporation, Czech Republic), avaliando-se as mesmas folhas selecionadas para as leituras SPAD. Foram realizadas duas medições por folha (lado direito e esquerdo do mesófilo foliar na superfície adaxial).

Todas as características foram avaliadas logo após a desrama dos cafeeiros, exceto o vigor vegetativo. A desrama compreende um dos tratos culturais de grande importância da cafeicultura de conilon, a qual é realizada logo após a colheita eliminando-se os ramos plagiotrópicos que produziram frutos em 70% ou mais de sua extensão. Assim, a altura da copa remanescente pode ser considerada um importante fator aliado ao reestabelecimento do vigor dos cafeeiros pós-colheita.

Os dados foram analisados pelo método de máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada (REML/BLUP), utilizando o software Selegen (Resende, 2016), modelo 74 (Equação 1).

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}_m + \mathbf{Z}_g + \mathbf{W}_b + \mathbf{T}_p + \mathbf{e} \dots \text{Equação 1}$$

Em que \mathbf{y} é o vetor de dados, \mathbf{m} é o vetor dos efeitos assumidos como fixo (medições), \mathbf{g} é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), \mathbf{b} é o vetor dos efeitos ambientais de blocos (assumidos como aleatórios), \mathbf{p} é o vetor dos efeitos de ambientes permanentes (assumidos como aleatórios), \mathbf{e} é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A significância dos efeitos aleatórios do modelo estatístico foi testada pela análise de deviance usando o teste de razão de verossimilhança (LRT) de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{LRT} = -2(\text{LogL} - \text{LogL}_R) \dots \text{Equação 2}$$

Em que LogL é o logaritmo do máximo (L) da função de verossimilhança restrita do modelo completo; e LogL_R é o logaritmo do máximo (L_R) da função de verossimilhança restrita do modelo reduzido (sem o efeito ser testado). A LRT foi analisada considerando o teste de qui-quadrado com um grau de liberdade a 1%, 5% e 10% de significância.

Além disso, foram realizados os procedimentos estatísticos: agrupamento de Tocher para cada característica conforme Resende (2007), rede de correlações (a partir das correlações genéticas), para detecção de padrões de agrupamentos e as associações entre caracteres, respectivamente.

Todas as análises foram realizadas com auxílio dos softwares Selegen (Resende, 2016), R (R Core Team, 2022) e Rbio (Behring, 2017).

3. Resultados e Discussão

A estimação dos parâmetros genéticos, para os genótipos de café conilon em estudo, possibilitou a identificação da variabilidade genética existente entre eles, especificamente para o vigor vegetativo e leituras SPAD, os quais foram significativos pela análise de deviance e teste da razão de verossimilhança (Tabela 1). Não houve efeito significativo de blocos, exceto para o NDVI a 10%. As medidas de variância genética de vigor vegetativo, altura da copa, leituras SPAD e NDVI foram 0,7943, 232,3973, 65,3407 e 0,00004, respectivamente. A herdabilidade média estimada foi de 0,8072 para vigor vegetativo, 0,5965 para altura da copa, 0,8125 para leituras SPAD e 0,0357 para o NDVI. Os valores de acurácia para o vigor vegetativo, altura da copa, leituras SPAD e NDVI foram 0,8984, 0,7724, 0,9014 e 0,1889, respectivamente.

A herdabilidade e a acurácia são parâmetros genéticos importantes, a serem considerados na caracterização de cafeeiros conilon, pois auxiliam na definição da melhor estratégia de melhoramento genético de populações de *C. canephora* (Alkimim et al., 2021), além de permitir a identificação dos genótipos promissores. Os valores de herdabilidade para este trabalho são classificados como baixo para NDVI e alto para as demais características, conforme Resende e Alves (2020) valores maiores que 50% são considerados altos, entre 15 e 50% moderados e menores que 15% baixos. A acurácia estimada foi baixa para NDVI, alta para altura da copa e muito alta para vigor vegetativo e leituras SPAD, conforme classificação de

Resende e Duarte (2007). A acurácia representa a correlação entre os valores genotípicos verdadeiros e os preditos e desta forma, é um parâmetro importante para programas de melhoramento de plantas (Resende e Alves, 2020).

Especificamente para o vigor vegetativo de *C. canephora*, os parâmetros genéticos estimados neste estudo foram da ordem de 44% maior que o valor médio das populações avaliadas por Alkimim et al. (2021) e 90% maior que o valor dos genótipos avaliados por Carias et al. (2016). Os resultados obtidos demonstram o grande potencial dessa população na contribuição para o programa de melhoramento genético da espécie.

Tabela 1 - Parâmetros genéticos e análise de deviance para vigor vegetativo, altura da copa, leituras SPAD e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de genótipos da cultivar de ‘ES8152’ e clones comerciais de café conilon. Fazenda Experimental de Bananal do Norte – Incaper.

Parâmetros genéticos	Vigor vegetativo	Altura da copa (cm)	leituras SPAD	NDVI
Variância genotípica	0,7943**	232,3973	65,3407*	4,00-E5
Variância ambiental entre blocos	0,0029	0,0046	0,9603	4,00-E5°
Variância residual	0,1869	157,1851	14,1153	0,0011
Variância fenotípica individual	0,9841	389,58691	80,4163	0,0011
Herdabilidade média (h ²)	0,8100	0,5965	0,8125	0,0357
Coefficiente de determinação dos efeitos de bloco	0,0029	1,00-E5	0,0119	0,0390
Acurácia de seleção	0,9000	0,7724	0,9014	0,1889
Média Geral	5,1507	82,2786	68,1365	0,6078
Deviance modelo completo (DMC)	198,43	1435,99	1104,10	-1191,91
Deviance efeito de genótipo (DEG)	207,92	1437,78	1109,79	-1191,92
Deviance efeito de bloco (DEB)	198,48	1435,99	1104,73	-1188,87
LTR genótipo (DEG – DMC)	9,49	1,79	5,69	-0,01
LTR bloco (DEB – DMC)	0,05	0,00	0,63	3,04

°, *, ** Níveis de significância de 10%, 5% e 1% para Qui – quadrado tabelado: 2,71, 3,84 e 6,63, respectivamente. LRT: teste da razão de verossimilhança. Fonte: Autores.

Na Tabela 2 são apresentados os ordenamentos dos genótipos que obtiveram os maiores e menores valores genotípicos preditos. Para o vigor vegetativo os genótipos 82, 89, 112, 152 e 157 ocuparam as primeiras posições. Os maiores valores genéticos para altura da copa foram dos genótipos 16, 19, 33, 30 e 141. Em relação a leitura SPAD, as primeiras posições foram ocupadas pelos genótipos 173, 20, 186, 4 e 90. Para o índice de vegetação os genótipos 25, 103, 106, 84 e 214 apresentaram os maiores valores genotípicos, ocupando as primeiras posições no ordenamento.

Nos ordenamentos dos genótipos pode-se observar que, para todas as características, os clones não foram destacados entre as primeiras posições, dando a entender que, nesta população de melhoramento, poderão ser selecionados genótipos tão bons quanto aos clones elites do Incaper utilizados como testemunhas, ou até mesmo melhor. Assim, a caracterização de genótipos cafeeiros provenientes de propagação seminal, aliada a identificação daqueles promissores, representa uma ferramenta importante para o melhorista na tomada de decisão para definição das estratégias de melhoramento, tanto pela propagação assexuada como sexuada, para obtenção de novas cultivares.

Severino et al. (2008) encontraram alta correlação entre vigor vegetativo e produtividade para café arábica, considerando a avaliação do vigor vegetativo como um bom critério de seleção indireta para produtividade. Em *C. canephora*, este caráter tem sido amplamente utilizado, no desenvolvimento de cultivares (Ferrão et al., 2019d), em estudo para definição de melhores estratégias de melhoramento para a espécie (Alkimim et al., 2021), predição de ganhos genéticos (Carias et al., 2016) e seleção de clones com potencial para regiões específicas como a Zona da Mata Mineira (Moura et al., 2022).

Além disso, parâmetros relacionados a fisiologia de plantas, como as leituras SPAD obtida pelo o medidor portátil de clorofila SPAD-502 e o índice NDVI, podem auxiliar na identificação daqueles genótipos com menor estresse vegetativo. Valores NDVI próximos da unidade sinalizam maior quantidade de clorofila e vigor vegetativo das plantas, consequentemente maior potencial produtivo (Galvanin, et al., 2014; Rissini et al., 2015). O uso do medidor portátil de clorofila SPAD-502 tem-se mostrado uma boa ferramenta para diagnóstico a integridade do sistema fotossintético em folhas de café, sendo que leituras SPAD inferiores a 40 indicam danos na maquinaria fotossintética (Torres Netto et al., 2005; Reis et al., 2009), como o genótipo 14 que apresentou leitura SPAD de 39,48 e o menor índice NDVI entre todos os avaliados.

Tabela 2 - Ordenamentos dos dez primeiros e últimos genótipos da cultivar de ‘ES8152’ e clones comerciais de café conilon para vigor vegetativo, leituras SPAD, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e altura da copa. Fazenda Experimental de Bananal do Norte – Incaper.

Ordem	Vigor vegetativo		Altura da copa (cm)		Leituras SPAD		NDVI	
	GEN	VG	GEN	VG	GEN	VG	GEN	VG
1°	82	6,6635	16	121,7810	173	84,5173	25	0,6110
2°	89	6,6635	19	110,4472	20	81,3395	103	0,6103
3°	112	6,6635	33	109,5524	186	81,0635	106	0,6101
4°	152	6,6635	30	106,8680	4	81,0106	84	0,6100
5°	157	6,6635	141	105,9733	90	79,8264	214	0,6099
6°	16	6,6537	18	104,7802	94	79,7441	22	0,6099
7°	73	6,6537	194	104,7800	43	78,5436	96	0,6097
8°	177	6,6260	213	104,7800	82	78,4284	59	0,6097
9°	185	6,6260	189	104,1835	96	78,2639	107	0,6096
10°	190	6,6260	143	102,3941	6	77,8035	21	0,6096
190°	101	3,4254	47	61,5326	41	55,1891	203	0,6055
191°	114	3,4254	114	61,2343	230	53,7618	227	0,6054
192°	139	3,4254	195	61,2341	60	51,8175	49	0,6054
193°	11	3,4156	105	60,9361	153	49,8931	231	0,6054
194°	41	3,4156	58	60,6378	11	48,4459	114	0,6053
195°	56	3,4156	67	60,6378	28	48,1170	230	0,6050
196°	67	3,4156	60	60,0413	55	45,1565	41	0,6050
197°	77	3,4156	77	56,4622	56	41,6205	45	0,6045
198°	200	3,3879	234	56,4620	114	40,2717	56	0,6042
199°	87	1,8064	211	56,1637	14	39,4824	14	0,6034

GEN: genótipos, VG: valor genotípico. Fonte: Autores.

O agrupamento de Tocher sobre uma só variável fornece um teste de médias não-ambíguo (Resende, 2007). Assim, na Tabela 3 e Figura 1 são apresentadas as formações dos grupos de médias dos valores genotípicos preditos considerando os genótipos da cultivar ‘ES8152’, além das testemunhas clonais (A1, LB1, V8 e V12) com base na distância estatística de Mahalanobis.

Tabela 3 - Agrupamentos (Tocher) de genótipos da cultivar ‘ES8152’ e clones de café conilon, com base nos valores genotípicos de vigor vegetativo, altura da copa, leituras SPAD e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Fazenda Experimental de Bananal do Norte – INCAPER.

Vigor Vegetativo	
G1	2, 4, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 69, 74, 80, A1, LB1, V12, V8, 81, 83, 84, 85, 86, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 153, 155, 156, 158, 159, 160, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175, 178, 180, 181, 183, 186, 188, 189, 193, 195, 196, 197, 201, 202, 203, 207, 208, 209, 211, 212, 213, 214, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 234, 235, 236, 239, 240.
G2	11, 41, 56, 67, 77, 88, 101, 114, 139, 200.
G3	16, 73, 82, 89, 112, 152, 157, 177, 185, 190, 191, 192, 194, 198, 206.
G4	87.
Altura da copa	
G1	2, 4, 7, 10, 13, 14, 15, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 49, 51, 52, 61, 62, 63, 64, 66, 69, 73, A1, LB1, V12, V8, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 101, 103, 108, 110, 111, 112, 115, 117, 118, 120, 122, 123, 124, 125, 128, 130, 131, 132, 140, 144, 145, 146, 147, 148, 152, 156, 157, 159, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 174, 175, 177, 178, 180, 183, 185, 186, 191, 192, 193, 196, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 206, 207, 214, 221, 222, 224, 225, 226, 227, 229, 230, 235, 240.
G2	6, 8, 11, 34, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 67, 74, 80, 87, 88, 105, 106, 107, 109, 114, 116, 121, 126, 127, 133, 134, 136, 137, 139, 153, 155, 158, 160, 173, 181, 188, 195, 208, 209, 217, 218, 219, 220, 223, 228, 231, 232, 236, 239.
G3	18, 19, 27, 29, 30, 33, 98, 100, 102, 141, 143, 189, 190, 194, 212, 213, 216.
G4	77, 211, 234.
G5	16.
Leituras SPAD	
G1	2, 6, 7, 8, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 59, 61, 62, 63, 64, 66, 69, 73, 74, A1, LB1, V8, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 93, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 121, 122, 123, 125, 126, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 139, 140, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 155, 156, 157, 159, 160, 162, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 174, 175, 177, 178, 180, 181, 183, 185, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 206, 207, 208, 209, 212, 213, 214, 216, 217, 218, 220, 221, 223, 224, 225, 228, 232, 234, 235, 239.
G2	40, 41, 58, 60, 67, 77, 80, V12, 120, 124, 127, 141, 152, 158, 163, 195, 211, 219, 222, 226, 227, 229, 230, 231, 236, 240.
G3	4, 20, 43, 82, 90, 94, 96, 173, 186.
G4	11, 14, 28, 55, 56, 114, 153.
Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	
G1	2, 4, 15, 16, 18, 19, 28, 29, 30, 36, 39, 43, 46, 51, 54, 58, 61, 62, 63, A1, LB1, V12, V8, 81, 82, 85, 86, 89, 99, 101, 105, 108, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 139, 143, 145, 146, 148, 152, 158, 159, 160, 162, 163, 166, 170, 177, 178, 180, 181, 183, 188, 189, 193, 194, 198, 202, 206, 209, 212, 217, 219, 221, 223, 224, 226, 234, 236.
G2	6, 7, 8, 10, 13, 17, 20, 24, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 37, 42, 44, 48, 50, 52, 66, 69, 74, 80, 83, 87, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 109, 110, 128, 136, 140, 144, 147, 156, 157, 164, 167, 168, 169, 171, 173, 174, 175, 185, 186, 190, 191, 192, 195, 196, 197, 200, 201, 208, 216, 218, 222, 225, 239.
G3	11, 23, 38, 40, 49, 55, 60, 67, 73, 77, 88, 102, 114, 120, 121, 141, 153, 155, 203, 207, 213, 220, 227, 228, 231, 232, 235, 240.
G4	21, 22, 59, 84, 96, 103, 106, 107, 214.
G5	41, 45, 56, 230.
G6	47, 64, 211, 229.
G7	14.
G8	25.

Fonte: Autores.

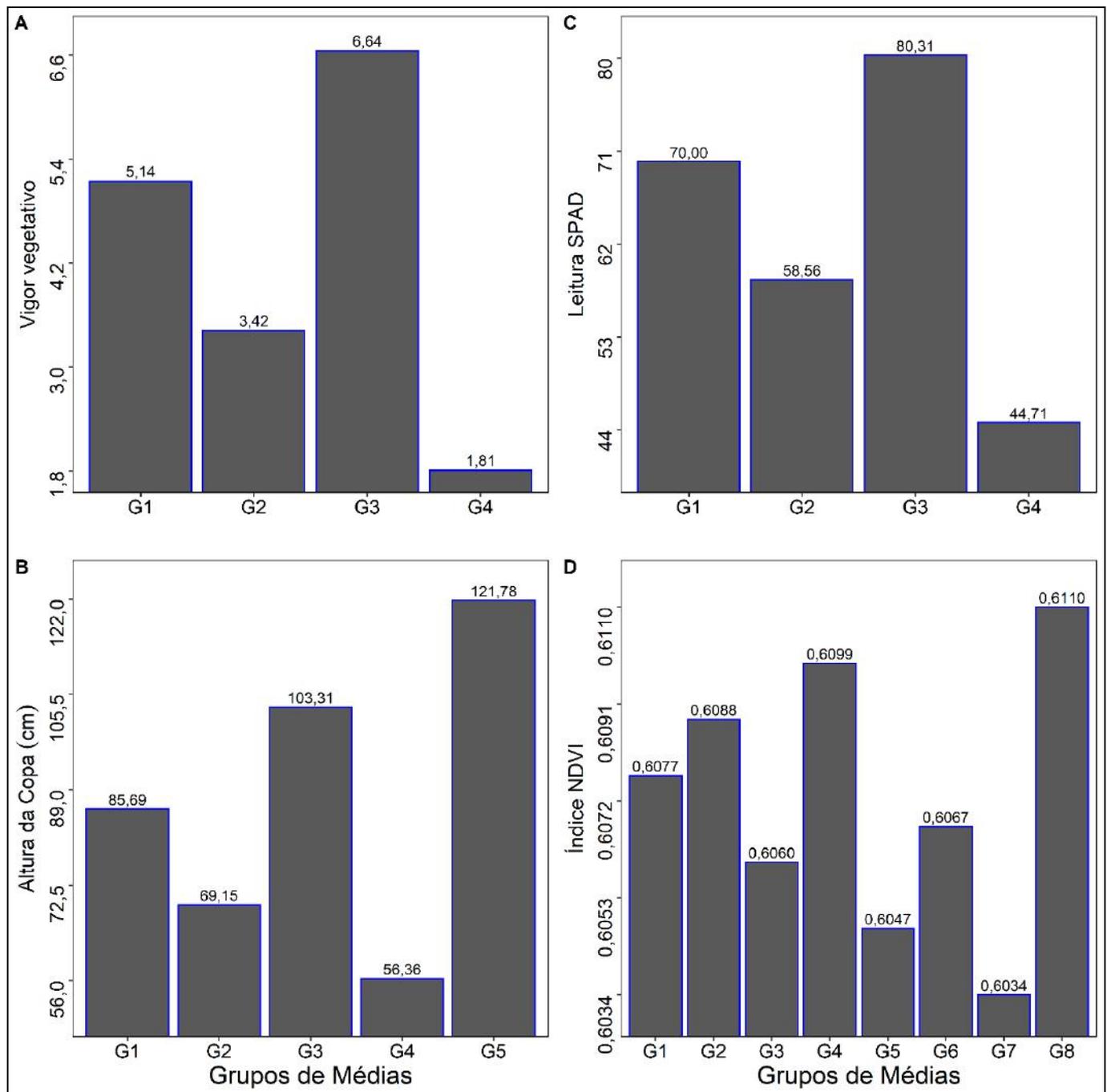
O vigor vegetativo permitiu a formação de quatro grupos (Figura 1 A). O grupo com a média superior foi o G3, com valor genotípico médio de 6,64, que reuniu os genótipos 16, 73, 82, 89, 112, 152, 157, 177, 185, 190, 191, 192, 194, 198 e 206. O grupo G1 reuniu a maioria dos genótipos, cerca de 87%, inclusive todas as testemunhas clonais (A1, LB1, V8 e V12). O grupo G4, com valor genotípico médio inferior, reuniu apenas o genótipo 87.

A altura da copa separou os genótipos em cinco grupos (Figura 1 B). O maior valor genotípico médio de 121,78 cm foi do grupo G5, apenas com o genótipo 16. A maioria dos genótipos, cerca de 61%, foram agrupados no grupo G1, inclusive todas as testemunhas clonais. O grupo G4, com menor valor genotípico médio, reuniu os genótipos 77, 211 e 234.

As leituras SPAD agrupou os genótipos em quatro grupos (Figura 1 C). O grupo com média superior foi o G3, com valor genotípico médio de 80,31, reuniu os genótipos 4, 20, 43, 82, 90, 94, 96, 173 e 186. A maioria dos genótipos, cerca de 80 %, foram agrupados no grupo G1, incluindo as testemunhas clonais A1, LB1 e V8. O grupo com média inferior reuniu os genótipos 11, 14, 28, 55, 56, 114 e 153.

O NDVI separou os genótipos em oito grupos (Figura 1 D). O maior valor genotípico médio de 0,6110 foi do grupo G8, apenas com o genótipo 25. A maioria dos genótipos, aproximadamente 43%, foram agrupados no grupo G1, inclusive todas as testemunhas clonais. O grupo G7, com menor valor genotípico médio, reuniu apenas o genótipo 14.

Figura 1 - Médias dos valores genotípicos preditos, dos agrupamentos (Tocher), de genótipos da cultivar ‘ES8152’ e clones de café conilon. A) Vigor vegetativo. B) Altura da copa. C) leituras SPAD. D) Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).



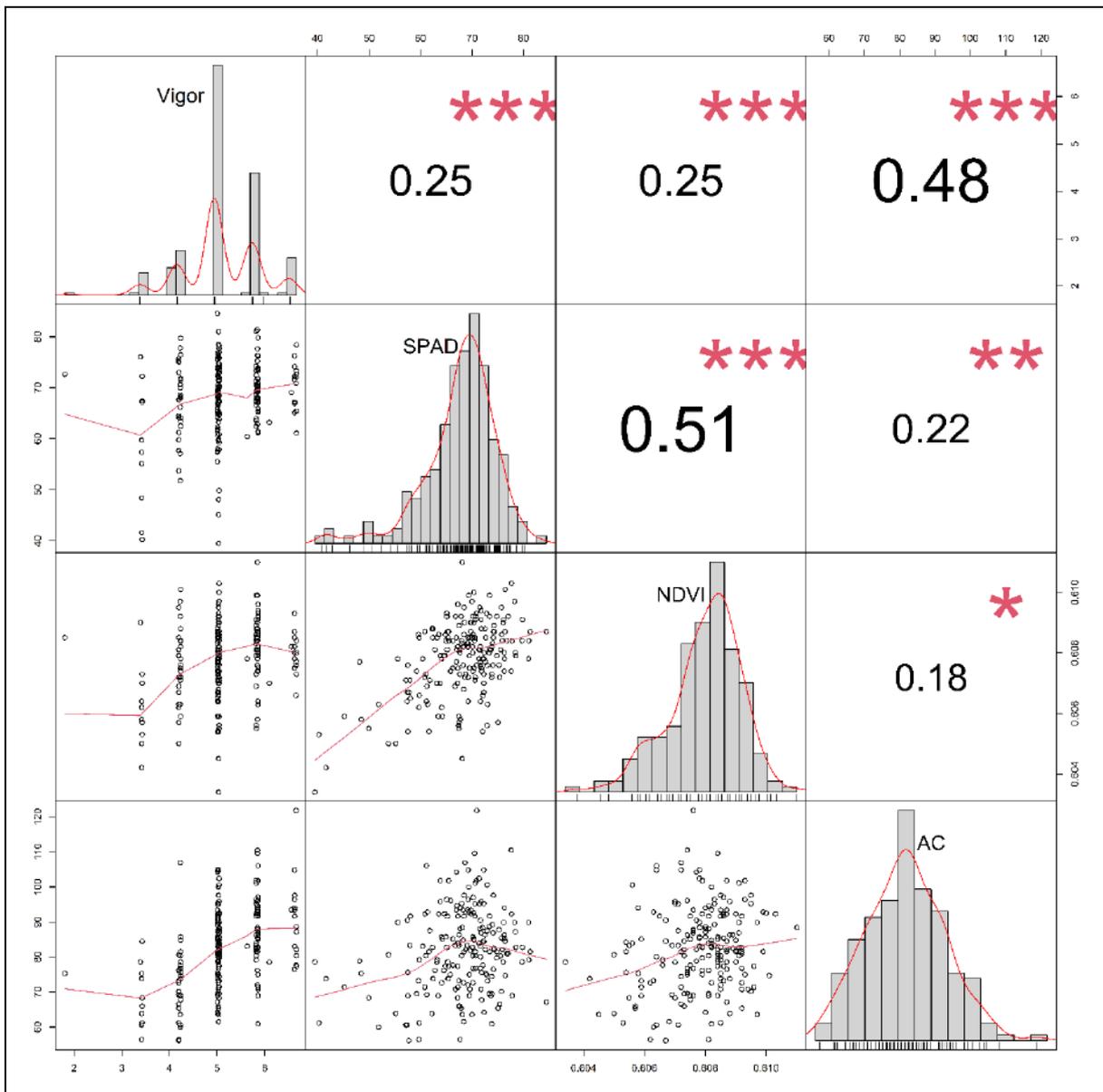
Fonte: Autores.

A maioria dos genótipos em estudo, para todas as características avaliadas, foram agrupados juntos com as testemunhas clonais, reforçando a importância de estudos dessa natureza, em especial com genótipos da cultivar ‘ES8152’, para o melhoramento genético de *C. canephora*, além de certificar que as sementes distribuídas aos agricultores irão gerar indivíduos com bom potencial produtivo conforme descrito por Ferrão et al. (2019a) e Senra et al. (2022). Além disso, o padrão fenótipo dessa população de cafeeiros conilon indica que os genótipos apresentaram vigor vegetativo intermediário, numa escala de 1 a 9, e pouco afetada por estresse vegetativo, pois as leituras SPAD e NDVI apresentaram valores típicos de

vegetações consideradas saudáveis, com exceção do genótipo 14.

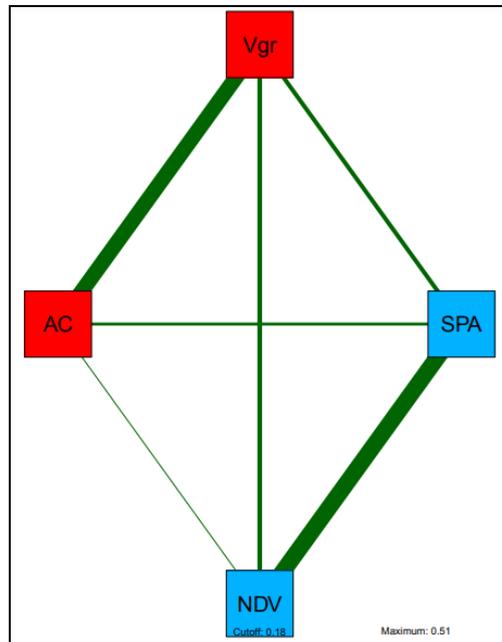
Todas as correlações genéticas, entre as características em estudo, foram positivas e significativas com seus coeficientes variando de 0,18 (NDVI x Altura da copa) a 0,51 (SPAD x NDVI) (Figura 2). Na Figura 3, pode-se observar a rede de correlações entre as características, sendo que a espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. Assim, as maiores correlações podem ser observadas para os pares leituras SPAD x NDVI e vigor vegetativo x altura da copa, sendo visualmente perceptível maior associação positiva entre os caracteres agrônômicos e, entre os caracteres relacionados a fisiologia das plantas. Além disso, a associação positiva e significativa das leituras SPAD e NDVI com o vigor vegetativo dos cafeeiros indica a possibilidade de sucesso com a seleção indireta. Portanto, a avaliação do vigor vegetativo das plantas, por meio da fenotipagem com as leituras SPAD e NDVI, pode ser considerada um importante parâmetro no programa de melhoramento do café conilon, possibilitando ganhos com a seleção indireta.

Figura 2 - Correlações genéticas entre Vigor vegetativo (Vigor), Altura da copa (AC, cm), Leituras SPAD e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de genótipos de café conilon. *, **, *** significativo a 5, 1 e 0,1%, respectivamente pelo teste de t.



Fonte: Autores.

Figura 3 - Rede de correlações genéticas entre caracteres agronômicos (em vermelho) Vigor vegetativo (Vgr) e Altura da copa (AC) e, caracteres relacionados a fisiologia de plantas (em azul) leituras SPAD e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de genótipos de café conilon. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação.



Fonte: Autores.

A rede de correlações representa uma importante ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisões em programas de melhoramento. A aplicação desta metodologia pode elevar a eficácia da seleção no melhoramento do café conilon, uma vez que, permite com rapidez identificar pares de características com correlações de maior magnitude e determinar grupos de caracteres mais importantes para o programa de melhoramento. Além de tudo, o conhecimento prévio das associações entre caracteres possibilita a seleção indireta de características de difícil mensuração com base em caracteres mais facilmente avaliados, como as leituras SPAD e NDVI utilizados neste estudo, desconsiderando características redundantes e efetuar seleção precoce para obtenção de resultados mais rápidos, com menor custo e maior eficiência. No geral, a caracterização de populações de melhoramento de café conilon por meio de abordagem de modelos mistos, agrupamentos e rede de correlações, compreende uma estratégia importante para orientar os melhoristas nas tomadas de decisões.

4. Conclusão

1. A população de genótipos de cafeeiros conilon da cultivar 'ES8152' apresentou ampla variabilidade genética.
2. A caracterização dos genótipos, permitiu a identificação daqueles promissores para cada característica, como os genótipos 16, 25, 82 e 173.
3. As correlações genéticas foram positivas e maiores entre os pares leituras SPAD x NDVI e vigor vegetativo x altura da copa.
4. A maioria dos genótipos avaliados, além das testemunhas clonais, apresentaram vigor vegetativo intermediário, aliado a um baixo estresse vegetativo.
5. A caracterização evidencia a possibilidade de seleção indireta entre as características avaliadas e, portanto, faz-se necessário ampliar o estudo a outros parâmetros importantes para o melhoramento do *Coffea canephora*, o que será possível em pesquisas futuras.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao consórcio de pesquisas cafeeiras (Concafé), a Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Espírito Santo (FAPES) e o Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) pela concessão de bolsas e suporte financeiro.

Referências

- Akperter, A., Anim-Kwapong, E., Adu-Gyamfi, P. K. K., & Ofori, A. (2022). Genetic variability for vigor and yield of robusta coffee (*Coffea canephora*) clones in Ghana. *Heliyon*, 8(8), e10192. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10192>.
- Alkimim, E. R., Caixeta, E. T., Sousa, T. V., Gois, I. B., Silva, F. L., Sakiyama, N. S., Zambolim, L., Alves, R. S., & Resende, M. D. V. (2021). Designing the best breeding strategy for *Coffea canephora*: Genetic evaluation of pure and hybrid individuals aiming to select for productivity and disease resistance traits. *PLoS One*, 16, e0260997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260997>.
- Bernado, W. P., Baroni, D. F., Ruas, K. F., Santos, A. R., Souza, S. B., Passos, L. C., Façanha, A. R., Ramalho, J. C., Campostrini, E., Rakocevic, M., Rodrigues, W. P. (2022). Ultraviolet radiation underlies metabolic energy reprogramming in *Coffea arabica* and *Coffea canephora* genotypes. *Scientia Horticulturae*, 295, 110881. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110881>.
- Bhering, L. L. (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 187-190. [10.1590/1984-70332017v17n2s29](https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29).
- Carias, C. M. O. M., Gravina, G. A., Ferrão, M. A. G., Fonseca, A. F. A., Ferrão, R. G., Vivas, M., & Viana, A. P. (2016). Predição de ganhos genéticos via modelos mistos em Progenies de café conilon. *Coffee Science*, 11, 39-45.
- Carvalho, H. F., Silva, F. F., Resende, M. D. V., & Bhering, L. L. Selection and genetic parameters for interpopulation hybrids between kouilou and robusta coffee. (2019). *Bragantia*; 78(1), 52-59. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018124.20>.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2022). *Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2022, terceiro levantamento*, 9(3), 1-65. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 03 de Out. de 2022.
- Federer, W. T. Augmented (or hoonuiaku) designs. 1956. *Hawaiian Planters' Record*, 55(2):191-208.
- Ferrão, R. G., Ferrão, M. A. G., Fonseca, A. F. A., Volpi, P. S., Verdin Filho, A. C., Pacova, B. E. V., & Ferrão, L. F. V. (2019d). *Coffea canephora* Breeding. In Ferrão R. G., Fonseca A. F. A., Ferrão, M. A. G., DeMuner L.H. (eds). *Conilon coffee*. Incaper, Vitória, 145-201.
- Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., & Demuner, L.H. (2019b). *Conilon Coffee*. 3rd ed. Vitória, Incaper, 973.
- Ferrão, R. G., Ferrão, M. A. G., Volpi, P. S., Verdin, A. C., Fonseca, A. F. A., Senra, J. F. B., Comério, M., Mendonça, R. F., & Ferrão, L. M. V. (2019a). 'ES8152 – Conquista': Cultivar de café conilon propagada por sementes para os produtores de base familiar e sua utilização no melhoramento genético para o estado do Espírito Santo. *Multi-Science Research*, 2(2):1-18.
- Ferrão, R. G., Ferrão, M. A. G., Fonseca, A. F. A., Volpi, P. S., Verdin, A. C., Tóffano, J. L., Tragino, P. H., & Bragança, S. M. (2019c). Cultivars of Conilon Coffee. In Ferrão R. G.; Fonseca A. F. A.; Ferrão, M.A.G.; DeMuner L. H. (eds) *Conilon coffee*. Incaper, Vitória, 255-287.
- Galvanin, E. A. S., Neves, S. M. A. S., Cruz, C. B. M., Neves, R. J., Jesus, P. H. H., & Kreitlow, J. P. (2014). Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do Pantanal de Cáceres/MT. *Ciência Florestal*, 24 (3), 707-715.
- International Coffee Organization (ICO). (2020). *Produção total de 2020*. <www.ico.org/trade_statistics.asp>.
- Maciel, D. A., Silva, V. A., Alves, H. M. R., Volpato, M. M. L., Barbosa, J. P. R. A., Souza, V. C. A., Santos, M. O., Silveira, H. R. O., Dantas, M. F., Freitas, A. F., Carvalho, G. R., & Santos, J. O. (2020). Leaf water potential of coffee estimated by landsat-8 images. *PLoS One*, 15(3), e0230013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230013>.
- Martins, R. N., Pinto, F. A. C., Queiroz, D. M., Valente, D. S. M., & Rosas, J. T. F. A Novel Vegetation Index for Coffee Ripeness Monitoring Using Aerial Imagery. (2021). *Remote Sensing*, 263 (13). <https://doi.org/10.3390/rs13020263>.
- Mota, F. M., Partelli, F. L., Santos, A. R., Ferrari, J. L., & Peluzio, J. B. E. (2020). Relação entre variáveis meteorológicas e Índices de Vegetação (IV's) em lavouras cafeeiras. *Braz. J. Anim. Environ. Res.*, 3(4), 4287-4209. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-125>.
- Moura, W. M., Pedrosa, A. W., Oliveira, R. L., Cecon, P. R., Ferrão, R. G., Ferrão, M. A. G., & Verdin, A. C. (2022). Selection of Conilon coffee clones for the Zona da Mata region of Minas Gerais, Brazil. *Coffee Science*, 17, e171995. <https://doi.org/10.25186/v17i.1995>.
- Nogueira, S. M. C., Moreira, M. A., & Volpato, M. M. L. (2018). Relationship between coffee crop productivity and vegetation indexes derived from Oli / Landsat-8 sensor data with and without topographic correction. *Engenharia Agrícola*, 38, 387-394. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n3p387-394/2018>.
- Prezotti, L. C., Oliveira, J. A., Gomes, J. A., & Dadalto, G. G. (2007). Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. *Vitória: SEEA/Incaper/CEDAGRO*, 305.
- Putra, B. T. W., & Soni, P. (2018). Enhanced broadband greenness in assessing Chlorophyll a and b, Carotenoid, and Nitrogen in Robusta coffee plantations using a digital camera. *Precision Agric*, 19, 238-256. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9513-x>

- R CORE TEAM - R: a language and environment for statistical computing. (2022). *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Áustria.
- 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, 1512-1528. <https://doi.org/10.1080/00103620902820373>.
- Resende, M. D. V., & Alves, R. S. (2020). Linear, Generalized, Hierarchical, Bayesian and Random Regression Mixed Models in Genetics/Genomics in Plant Breeding. *Functional Plant Breeding Journal*, 2, 1–31. <https://doi.org/http%3A//dx.doi.org/10.35418/2526-4117/v2n2a1>.
- Resende, M. D. V. (2007). Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. *Colombo: Embrapa Florestas*, 359.
- Resende, M. D. V. (2016). Software SELEGEN-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16, 330-339. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>.
- Resende, M. D. V.; Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37, 182-194.
- Rissini, A. L. L., Kawakami, J., & Genú, A. M. (2015). Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1), 1703-1713. 10.1590/01000683rbc20140686.
- Senra, J. F. B., Silva, J. A., Ferrão, M. A. G., Esposti, M. D. D., Milheiros, I. S., & Fassarella, K. M. (2022). Genetic variability of conilon coffee population from cultivar 'ES8152' based on morphoagronomic variables. *Coffee Science*, e171986. <https://doi.org/10.25186/v17i.1986>.
- Severino, L. S., Sakiyama, N. S., Pereira, A. A., Miranda, G. V., Zambolim, L., & Barros, U. V. (2008). Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 24, 1467-1471. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2405>.
- Silva, J. A., Senra, J. F. B., Esposti, M. D. D., Mendonça, R. F., Silva, F. G., & Milheiros, I. S. (2021). Índice de vegetação por diferença normalizada em genótipos de cafeeiros cultivados em ambientes contrastantes de altitude. In: *XXV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica*. Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 1-6.
- Souza, L. C., Ferrão, M. A. G., Carvalho, R. D., Ferrão, R. G., Fonseca, A. F. A., Pinheiro, P. F., & Soares, T. C. B. (2021). Molecular characterization of parents and hybrid progenies of conilon coffee. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 93, e20201649. 10.1590/0001-3765202120201649
- Torres Netto, A.; Oliveira, E. C. J. G., & Bressan-Smith, R. E. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104(2), 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013>.