



**COMPORTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS GRÃOS
ENTRE CULTIVARES DE ROBUSTAS AMAZÔNICOS EM AMBIENTE IRRIGADO
E NÃO IRRIGADO DE RONDÔNIA**

*BEHAVIOR OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GRAINS BETWEEN
AMAZONIAN ROBUSTA CULTIVARS IN IRRIGATED AND NON-IRRIGATED
ENVIRONMENTS IN RONDÔNIA*

Hilton Lopes Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5664-118X>
E-mail: hilton.junior@ifro.edu.br

Jaques Eler Antunes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-7222-5596>
E-mail: jaques.eler@estudante.ifro.edu.br

Bruno Frankli Nunes Campos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9841-917X>
E-mail: b.frankli@estudante.ifro.edu.br

Maria Beatriz Moutim Gama

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-1033-7880>
E-mail: moutim.b@estudante.ifro.edu.br

Enrique Anastácio Alves

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Rondônia), Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9120-6749>
E-mail: enrique.alves@embrapa.br

Rodrigo Barros Rocha

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Café), Brasil
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER)
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5275-5315>
E-mail: rodrigo.rocha@embrapa.br

Submetido: 8 out. 2025

Aprovado: 8 maio 2026

Publicado: 29 maio 2026

E-mail para correspondência:

hilton.junior@ifro.edu.br



Resumo: O entendimento do comportamento do cafeeiro quanto as características físicas dos grãos quando submetidos a estresses abiótico é de grande importância. Este estudo teve como objetivo verificar as características físicas dos grãos de híbridos intervariantais cultivados em Rondônia em dois ambientes, não irrigado (E1) e irrigado (E2). Os caracteres foram avaliados por meio de classificação física de dimensionalidade, massa e propriedades de engenharia dos grãos. A associação entre características foi interpretada considerando estimativas de correlação e a significância interpretada pelo teste F da análise de variância individual e conjunta. A análise de variância conjunta identificou que há interação entre genótipo x ambiente e análise individual demonstrou diferença significativa entre as cultivares em ambos os ambientes. No E1, 40% das cultivares apresentaram comprimento superior de grãos, enquanto 20% no E2. Quanto a massa dos grãos, 70% apresentaram valor superior no E1 e 10% no E2. Já as propriedades de engenharia, respectivamente, 30%, 50% e 50% apresentaram diferença significativa entre os ambientes para a esfericidade, volume e densidade da partícula. A diferença no comportamento das cultivares entre os ambientes é notável, sendo que algumas tendem a apresentar suas melhores características em ambiente irrigado e outras mantem seu desempenho em estresse hídrico.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Dimensionalidade dos grãos. Propriedades de engenharia dos grãos. Estresse hídrico.

Abstract:

Understanding the behavior of coffee plants regarding the physical characteristics of their beans when subjected to abiotic stresses is of great importance. This study aimed to verify the physical characteristics of beans from intervariant hybrids grown in Rondônia in two environments: non-irrigated (E1) and irrigated (E2). The traits were evaluated through physical classification of bean dimensionality, mass, and engineering properties. The association between traits was interpreted considering correlation estimates, and significance was interpreted by the F test of the individual and joint analysis of variance. The joint analysis of variance identified an interaction between genotype x environment, and individual analysis demonstrated a significant difference between cultivars in both environments. In E1, 40% of the cultivars had greater bean length, while 20% in E2. Regarding bean mass, 70% had a higher value in E1 and 10% in E2. The engineering properties, respectively, 30%, 50% and 50% showed significant differences between the environments for particle sphericity, volume and density. The difference in the behavior of cultivars between environments is notable, with some tending to present their best characteristics in an irrigated environment and others maintaining their performance under water stress.

Keywords: *Coffea canephora*. Dimensionality of grains. Engineering properties of grains. Hydrical stress.



Introdução

O café é uma cultura perene de produção anual, apresentando alta sensibilidade a fatores edafoclimáticos, necessitando de clima favorável e condições adequadas de plantio e manejo, para favorecimento da produtividade ⁽¹⁾. A deficiência hídrica reduz o metabolismo do cafeeiro, havendo redução da taxa de evapotranspiração, afetando o fluxo de massa e trocas gasosas ⁽²⁾. Além da diminuição da expansão foliar e do alongamento das raízes, a redução da área fotossintetizante, havendo menor crescimento dos ramos e conseqüentemente afetando sua produtividade ^(3,4).

Os efeitos do déficit hídrico sobre o cafeeiro são mais graves durante a reprodução, principalmente durante as fases de floração e formação dos frutos, quando a água é essencial ⁽⁵⁾, podendo causar abortamento das flores e/ou prejuízos no crescimento dos frutos, pois aceleram o crescimento e amadurecimento, levando a perda da qualidade, ocasionando menor enchimento dos grãos ⁽⁶⁾.

Através do melhoramento genético e processos de hibridizações controladas, os melhoristas tendem a procurar materiais genéticos que se adaptem bem ao ambiente, a fim de identificar materiais genéticos com adaptabilidades amplas ou específicas ⁽⁷⁾, onde as mudanças tendem a afetar minimamente nas características de interesse comercial desta importante cultura, como a produtividade, qualidade dos grãos e da bebida.

A região de cultivo do café na Amazônia Ocidental está nos tipos climáticos Am e Aw, caracterizados como climas tropicais típicos, quentes e úmidos, com baixa amplitude térmica anual e expressiva amplitude térmica diária de maio a setembro ⁽⁸⁾. A produção de café para fins comerciais nesta região, e quase exclusivamente da espécie *Coffea Canephora*, sendo estes híbridos intervarietais de Conilon e Robusta, que expressam as melhores características destas variedades botânicas em ambiente amazônico. A Embrapa Rondônia desenvolveu dez cultivares com alto potencial produtivo, com boas características agronômicas, apresentando respostas positivas aos estresses bióticos e com boa qualidade de bebida ⁽⁹⁾.

Estudo sobre a produtividades em déficit hídrico destas cultivares é mencionado na literatura, sendo que 50% deste material genético foi tolerante ao estresse abiótico, destacando as cultivares BRS1216, 3137, 3193, 3210 e 3213 com produtividade acima da média do grupo, enquanto as cultivares BRS2299, 2314, 2357, 2336 e 3220 foram às menos produtivas em ambiente desfavorável ⁽¹⁰⁾. Trabalhando como estes mesmos materiais



genéticos em ambiente irrigado e não irrigado verificou que há diferença significativa entre o índice de rendimento através da interação genótipo x ambiente, onde a BRS1216 apresentou maior proximidade de uma referência ideal de máximo desempenho de rendimento nos ambientes estudados ⁽⁷⁾.

Em estudo com o estresse abiótico do cafeeiro conilon no Estado do Espírito Santo, autores verificaram que a disponibilidade de água no solo através da irrigação influenciou positivamente no tamanho dos grãos, obtendo maior retenção em peneira média/alta ⁽¹¹⁾. Grãos de café retidos em peneiras superiores a 13, tendem a apresentar boa qualidade do café para fins comerciais ⁽¹²⁾.

O conhecimento das relações entre o déficit hídrico no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento da planta é de extrema importância para o entendimento das respostas das culturas ao estresse hídrico ⁽⁴⁾. Estudos sobre o comportamento dos grãos de café em diferentes ambientes na Amazônia Ocidental não são referenciados na literatura, surgindo assim a necessidade de compreender este comportamento.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo verificar as características físicas de grãos de híbridos intervarietais cultivados em Rondônia em ambiente irrigado e não irrigado, por meio de classificação física de dimensionalidade dos eixos ortogonais, massa e propriedades de engenharia dos grãos.

Metodologia

Teste de campo

Em dezembro de 2018 e janeiro de 2019, foram realizados dois ensaios de competição clonal em diferentes condições no município de Ouro Preto do Oeste, RO. Foram conduzidos em condições de sequeiro (E1) e irrigado (E2) no campo experimental da Embrapa a 10°43'55,3" S e 62°15'23,2" W a 245 m acima do nível do mar. A parcela experimental foi composta por cinco plantas cultivadas com espaçamento de 3×1 m. O clima do município é do tipo "Aw" pela classificação de Köppen, definido como tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 26°C, com valores mais altas ocorrendo no mês de julho e agosto ⁽⁸⁾. O manejo agrônomo foi conduzido conforme as recomendações técnicas metodologia padrão ⁽¹³⁾, contemplando os critérios para seleção e preparo da área experimental, implantação da lavoura, definição de espaçamento, coveamento e plantio, de



acordo com as condições edafoclimáticas recomendadas para o estado de Rondônia. As práticas de calagem e adubação foram realizadas com base nas exigências nutricionais da cultura e nos resultados das análises de solo, incluindo adubação de formação e produção, bem como o monitoramento do estado nutricional das plantas. Adicionalmente, o manejo fitotécnico incluiu o controle de plantas daninhas, manutenção da cobertura do solo e adoção de sistemas de condução do cafeeiro, com práticas de desbrota e poda voltadas à manutenção do equilíbrio vegetativo e produtivo das plantas.

Durante o período de floração, formação do grão e maturação do fruto, os dados climáticos foram registrados em estações meteorológicas inteligentes Ambient Weather WS2902. Os dados referentes a precipitação acumulada, temperaturas máximas, médias e mínimas de janeiro de 2021 a julho de 2022 e as propriedades químicas nas camadas de profundidade 0–10 e 20–40 no ambiente de Ouro Preto do Oeste se encontra descrito em outro local ⁽⁷⁾.

Design experimental

Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial com seis repetições, possibilitando adequada casualização dos tratamentos e maior precisão na avaliação das características físicas dos grãos. Isto devido à homogeneidade da área experimental, caracterizada pela uniformidade das condições edafoclimáticas, manejo agrônomo, idade das plantas e condução da lavoura. Ainda, as áreas irrigada e não irrigada apresentaram condições previamente padronizadas quanto ao espaçamento, fertilidade do solo e tratos culturais, reduzindo a ocorrência de gradientes ambientais significativos entre as unidades experimentais. Neste estudo foram avaliadas dez cultivares desenvolvidas pela Embrapa, selecionadas para cultivo em regiões da Amazônia Ocidental (Tabela 1) na safra 2021-2022. As cultivares, identificadas pelo prefixo BRS, estão agrupadas em três grupos de compatibilidade diferentes e apresentam diferentes ciclos de maturação (precoce, médio e tardio) ^(14,15).

Os genótipos foram colhidos quando 80% dos frutos estavam no estágio vermelhocereja, de acordo com o ciclo de maturação de cada genótipo: precoce, médio ou tardio. Amostras de cada clone foram coletadas separadamente, secas naturalmente em leitões elevados por um tempo que variou de 10 a 15 dias, até atingir teor de umidade próximo



a 12%, avaliado em medidor de umidade de grãos Gehaka (G600), e corrigida para 12%, que é o teor de umidade no qual os grãos de café são comercializados

Tabela 1 - Listagem dos clones avaliados em ensaios de competição de clones avaliados em dois ambientes da Amazônia Ocidental: E1 – Sequeiro de Ouro Preto do Oeste, E2 – Sequeiro de Ouro Preto do Oeste irrigado.

| Clone | Ciclo de maturação | Grupo de compatibilidade | Genealogia |
|---------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| BRS1216 | Médio | I | EMCAPA03 × IAC1675 |
| BRS2299 | Médio | II | Polinização aberta |
| BRS2314 | Tarde | II | EMCAPA03×IAC640 |
| BRS2336 | Tarde | II | Polinização aberta |
| BRS2357 | Tarde | II | Polinização aberta |
| BRS3137 | Cedo | III | Polinização aberta |
| BRS3193 | Cedo | III | Polinização aberta |
| BRS3210 | Médio | III | EMCAPA03 × IAC2258 |
| BRS3213 | Médio | III | EMCAPA03 × IAC2258 |
| BRS3220 | Médio | III | EMCAPA03 × IAC1675 |

Os genótipos BRS foram registrados no MAPA/RNC (2019). IAC: Instituto Agrônomo de Campinas, EMCAPA: Empresa Capixaba de Pesquisa Agrícola.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).

Após a secagem, os frutos foram descascados manualmente, separando as cascas dos grãos, para medir as seguintes características dos grãos de café verde: peso de 100 grãos, medido em gramas (100Mg), comprimento dos grãos (Cg), largura dos grãos (Lg) e espessura do grão (Eg), medida em milímetros.

Após a determinação das dimensões características e massa dos grãos, o volume (V), a esfericidade (E%) e a densidade da partícula (Dp) dos grãos verdes de café foram determinados de acordo com as Equações 1, 2 e 3, respectivamente ⁽¹⁶⁾.

$$V = \frac{\pi abc}{6} \quad (1)$$

$$E = \left[\frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} \right] 100 \quad (2)$$

$$Dp = \frac{m}{V} \quad (3)$$



Análise estatística

Considerando a importância do efeito individual de cada cultivar para as características físicas dos grãos de café em cada ambiente, estes parâmetros foram testados individualmente por análise de variância, de acordo com o modelo estatístico descrito abaixo ⁽¹⁷⁾,

$$Y_{ij} = m + G_i + e_{ij} \quad (4)$$

onde Y_{ij} refere-se à observação do i^{th} genótipo na j^{th} medição, m é a média experimental, G_i é o efeito do i^{th} genótipo e e_{ij} é o erro experimental.

Posteriormente, a homogeneidade das variâncias residuais foi verificada e a análise de variância combinada foi realizada para quantificar o efeito de interação G×A ⁽¹⁷⁾,

$$Y_{ijk} = m + G_i + Y_j + GY_{ij} + e_{ijk} \quad (5)$$

onde Y_{ijk} refere-se à observação do i^{th} genótipo na j^{th} medição, m é a média experimental, G_i é o efeito do i^{th} genótipo, Y_j é o efeito da j^{th} medição, GY_{ij} é o efeito da interação entre o i^{th} genótipo e a j^{th} medição, e e_{ijk} é o erro experimental.

As associações entre as variáveis foram interpretadas usando estimativas de correlação de Pearson ⁽¹⁸⁾. A diversidade genética entre os genótipos foi avaliada por meio de análise de componentes principais (ACP), considerando a distribuição dos dois primeiros componentes principais e utilizando dados padronizados para atender às pressuposições estatísticas. Todas as análises foram realizadas em triplicata e o tratamento dos dados estatísticos foi realizado utilizando o software GENES ⁽¹⁷⁾.

Resultados e Discussão

Na análise de variância conjunta (Tabela 2), considerando as características avaliadas em dois ambientes distintos (E1: sequeiro em Ouro Preto do Oeste e E2: irrigado em Ouro Preto do Oeste), utilizando os dados físicos das dez cultivares de *Coffea canephora* desenvolvidas pela Embrapa Rondônia, observou-se que apenas as variáveis espessura e densidade da partícula não apresentaram efeito significativo para os genótipos. Em relação ao fator ambiente, nenhuma das características avaliadas apresentou significância estatística. Por outro lado, a interação Genótipo × Ambiente (G×A) foi significativa para todas as variáveis analisadas, evidenciando alterações nas características dimensionais e nas propriedades

industriais dos grãos de café verde em função das condições de cultivo.

Estudos envolvendo a interação Genótipo × Ambiente (G×A) avaliam a hipótese de que os genótipos apresentam alterações em seu desempenho quando cultivados sob diferentes condições ambientais. Nesse contexto, a significância da interação G×A indica que os clones devem ser analisados individualmente, uma vez que o ambiente exerce influência direta sobre as características fenotípicas e produtivas dos materiais avaliados.

Tabela 2 - Resumo das análises de variância conjunta das características físicas de grãos verdes de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal (E1 – Sequeiro Ouro Preto do Oeste, E2 – Ouro Preto do Oeste irrigado).

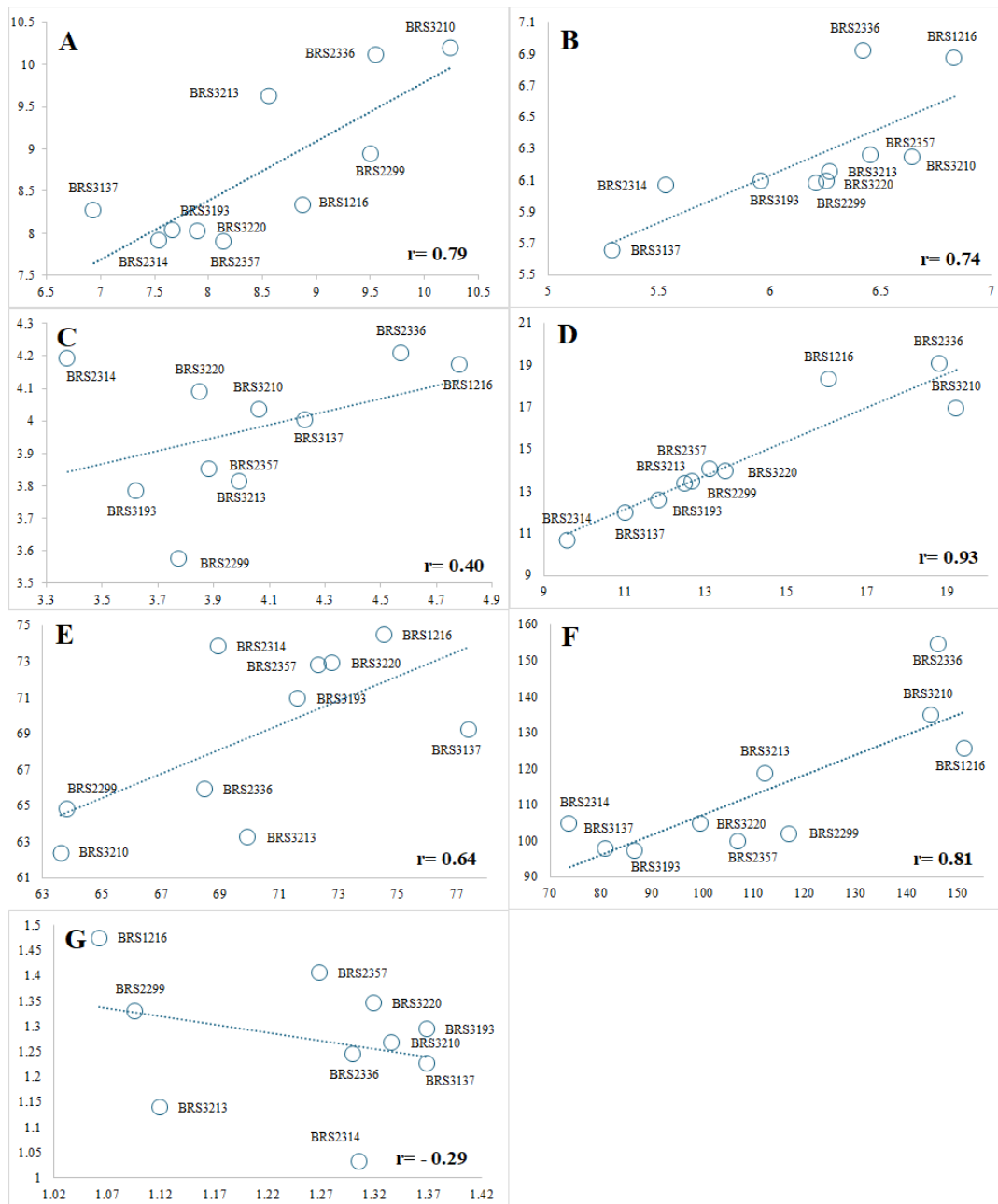
| FV | GL | Cg | Lg | Eg | 100Mg | E | V | Dp |
|-------------|-----|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Genótipos | 9 | 7.02** | 5.51** | 1.76ns | 26.70** | 5.56** | 5.46** | 0.71ns |
| Ambiente | 1 | 1.58ns | 0.13ns | 0.20ns | 2.77ns | 1.85ns | 0.11ns | 0.23ns |
| GxA | 9 | 7.30** | 3.84** | 4.00** | 53.58** | 7.02** | 4.44** | 2.96** |
| Resíduo | 180 | | | | | | | |
| Total | 199 | | | | | | | |
| Média geral | | 8.59 | 6.22 | 3.96 | 14.12 | 69.59 | 112.22 | 1.28 |
| CVe | | 6.19 | 6.49 | 9.62 | 2.44 | 4.11 | 15.99 | 17.15 |

* significativo a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade. F.V.: fonte de variação, G.L.: graus de liberdade, CVe: coeficiente de variação experimental. Cg: comprimentos dos grãos, Lg: largura dos grãos, Eg: espessura dos grãos, 100Mg: massa de 100 grãos, E: esfericidade, V: volume, Dp: densidade da partícula.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).

A interação GxA é responsável por avaliar como as mudanças ambientais influenciam o desempenho dos genótipos. Quando esse efeito apresenta significância, como observado no presente estudo, torna-se necessário investigar o tipo de interação resultante. A interação do tipo simples ocorre quando os genótipos tendem a manter comportamento semelhante nos diferentes ambientes, sem promover alterações na classificação dos materiais. Por outro lado, a interação do tipo complexa é caracterizada por mudanças expressivas no desempenho e na classificação dos genótipos em função da variação ambiental ⁽¹⁸⁾.

Figura 1 - Análise de medidas repetidas entre as características físicas de grãos verdes de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal (E1 – Sequieiro Ouro Preto do Oeste, E2 – Ouro Preto do Oeste irrigado).



(A): comprimentos dos grãos, (B): largura dos grãos, (C): espessura dos grãos, (D): massa de 100 grãos, (E): esfericidade, (F): volume, (G): densidade da partícula.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).



Embora todas as características físicas avaliadas tenham apresentado efeito significativo para a interação G×A (Tabela 2), a análise de medidas repetidas (Figura 1) demonstrou que a maioria das variáveis apresentou apenas pequenas alterações no desempenho e na classificação dos genótipos entre os ambientes avaliados, mantendo comportamento relativamente estável. Entretanto, a propriedade densidade da partícula apresentou interação do tipo complexa, indicando que fatores associados tanto ao ambiente quanto ao genótipo exercem influência direta sobre essa característica, promovendo maiores alterações na classificação das cultivares.

As alterações no desempenho dos genótipos observadas neste estudo são relevantes para programas de seleção de plantas, especialmente na identificação de materiais com adaptabilidade ampla ou específica a diferentes condições ambientais. Considerando o gráfico de dispersão, a linha de tendência e os valores de correlação entre os ambientes apresentados na Figura 1, verificou-se que as cultivares BRS2314 e BRS3220 apresentaram maior estabilidade entre os ambientes para as características comprimento do grão (Cg) e massa de 100 grãos (100Mg). A cultivar BRS3137 destacou-se pela estabilidade para largura do grão (Lg), espessura do grão (Eg) e volume, enquanto a BRS3193 apresentou maior estabilidade para Lg, 100Mg, esfericidade e densidade da partícula. Já a cultivar BRS1216 apresentou maior estabilidade para Eg, as cultivares BRS2299 e BRS3213 para 100Mg e volume, a BRS2357 para 100Mg e a BRS3210 para volume e densidade da partícula.

Com relação à análise de variância individual, observou-se diferença significativa entre os genótipos em ambos os ambientes avaliados, verificando-se que a variância genotípica prevaleceu em relação à variância ambiental para a maioria das características físicas dos grãos de café. As exceções foram observadas para a espessura do grão em ambiente não irrigado e para a densidade da partícula em ambiente irrigado (Tabela 3). A predominância da variância genotípica evidencia maior contribuição dos fatores genéticos na expressão das características físicas dos grãos em ambos os ensaios de competição clonal.

No ambiente não irrigado (E1), os valores de herdabilidade variaram entre 86,70 e 99,93%, enquanto no ambiente irrigado (E2) a variação foi de 84,70 a 99,78%, destacando-se a massa de grãos por apresentar os maiores valores em ambos os ambientes. Esses resultados são considerados elevados e satisfatórios, indicando maior contribuição da variabilidade genética em relação à variação experimental. Além disso, tanto no ambiente E1

quanto no E2, observou-se elevada precisão experimental, evidenciada pelos baixos coeficientes de variação (CV%), todos inferiores a 10% (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise de variância individual para as características físicas de grãos verdes de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal.

| E1 - Sequeiro Ouro Preto do Oeste | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|--------|--------|--------|---------|----------|-----------|---------|
| FV | GL | Cg | Lg | Eg | 100Mg | E | V | Dp |
| Genótipos | 9 | 5.08** | 0.87** | 0.26** | 46.11** | 126.89** | 2200.96** | 0.097** |
| Resíduo | 50 | 0.14 | 0,09 | 0.06 | 0.12 | 5.2 | 113.0 | 0.01 |
| Total | 59 | | | | | | | |

| E2 - Ouro Preto do Oeste irrigado | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|--------|--------|--------|---------|----------|-----------|---------|
| FV | GL | Cg | Lg | Eg | 100Mg | E | V | Dp |
| Genótipos | 9 | 6.55** | 1.36** | 1.07** | 61.63** | 115.13** | 4708.02** | 0.081** |
| Resíduo | 50 | 0.14 | 0,10 | 0,07 | 0.13 | 4.93 | 90.54 | 0,01 |
| Total | 59 | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|----------|--|-------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|
| Média E1 | | 8.73a | 6.24a | 3.97a | 14.42a | 69.03a | 113.86a | 1.27a |
| Média E2 | | 8.49a | 6.18a | 4.01a | 13.83a | 70.35a | 111.98a | 1.25a |
| CVe E1 | | 4.29 | 5.04 | 6.52 | 2.41 | 3.30 | 9.33 | 9.82 |
| CVe E2 | | 4.46 | 5.07 | 6.89 | 2.62 | 3.15 | 8.49 | 8.89 |

* significativo a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade. F.V.: fonte de variação, G.L.: graus de liberdade, CVe: coeficiente de variação experimental. Cg: comprimentos dos grãos, Lg: largura dos grãos, Eg: espessura dos grãos, 100Mg: massa de 100 grãos, E: esfericidade, V: volume, Dp: densidade da partícula. Os valores médios dos ambientes seguidos das mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).

A dimensionalidade dos grãos de café é determinada a partir das medidas de seus eixos ortogonais, sendo os grãos beneficiados caracterizados como estruturas semi-elipsoides compostas por três dimensões: maior, intermediária e menor ⁽¹⁹⁾. Dentre essas características, o maior eixo apresenta elevada importância para a qualidade física dos grãos, estando diretamente relacionado à agregação de valor comercial do produto.

Em estudo conduzido com essas mesmas cultivares no período de 2011 a 2018, os

autores observaram variação entre 14 e 16 para a classificação por peneira média, destacando-se as cultivares BRS2336 e BRS3210 por apresentarem grãos de maiores dimensões ⁽⁹⁾. Essa característica encontra-se diretamente associada à produtividade média desses materiais, uma vez que ambas as cultivares apresentaram produtividade superior a 79 sc ha⁻¹ ⁽²⁰⁾. Além disso, esses genótipos também foram selecionados com base em estimativas de progresso genético obtidas por índices de seleção, devido à presença de características físicas favoráveis dos grãos ⁽²¹⁾.

No presente estudo, essas duas cultivares apresentaram os maiores valores de comprimento dos grãos, com médias superiores a 10,1 mm no ambiente não irrigado (E1) e 9,55 mm no ambiente irrigado (E2) (Tabela 4). Além disso, ambos os genótipos apresentaram valores de largura e espessura acima da média do grupo avaliado, com destaque para a cultivar BRS2336, que no ambiente E1 apresentou os maiores valores para todas as características de dimensionalidade dos grãos.

Ao comparar a dimensionalidade dos grãos entre os diferentes ambientes, observou-se que 40% das cultivares apresentaram maior comprimento dos grãos no ambiente não irrigado (E1), enquanto 20% apresentaram maiores valores no ambiente irrigado (E2), e 40% não diferiram significativamente entre os ambientes. Para as características largura e espessura, verificou-se significância entre E1 e E2 em 20% e 50% das cultivares, respectivamente.

Tabela 4 - Dimensionalidade e massa de grão de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal (E1 – Sequeiro Ouro Preto do Oeste, E2 – Ouro Preto do Oeste irrigado).

| Cultivares | Cg | | Lg | | Eg | | 100Mg | |
|------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 |
| BRS1216 | 8.3dB | 8.8cA | 6.8aA | 6.8aA | 4.1aB | 4.7aA | 18.3bA | 16.0bB |
| BRS2299 | 8.9cB | 9.5bA | 6.0bA | 6.2bA | 3.5bB | 3.7cA | 13.4eA | 12.6dB |
| BRS2314 | 7.9dA | 7.5fB | 6.0bA | 5.5dA | 4.1aA | 3.3dB | 10.6hA | 9.5gB |
| BRS2336 | 10.1aA | 9.5bA | 6.9aA | 6.4bA | 4.2aA | 4.5aA | 19.0aA | 18.8aA |
| BRS2357 | 7.9dA | 8.1eA | 6.2bA | 6.4bA | 3.8bA | 3.8cA | 13.9dA | 13.5cA |
| BRS3137 | 8.2dA | 6.9gB | 5.6cA | 5.2dB | 4.0aA | 4.2bA | 11.9gA | 11.0fB |
| BRS3193 | 8.0dA | 7.6fB | 6.0bA | 5.9cA | 3.7bA | 3.6dB | 12.5fA | 11.8eB |
| BRS3210 | 10.2aA | 10.2aA | 6.2bB | 6.6aA | 4.0aA | 4.0cA | 16.9cB | 19.2aA |
| BRS3213 | 9.6bA | 8.5dB | 6.1bA | 6.2bA | 3.8bA | 3.9cA | 13.3eA | 12.4dB |
| BRS3220 | 8.0dA | 7.9eA | 6.09bA | 6.2bA | 4.0aA | 3.8cB | 14.0dA | 13.1cB |



Cg: comprimentos dos grãos, Lg: largura dos grãos, Eg: espessura dos grãos, 100Mg: massa de 100 grãos. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).

A massa dos grãos de café beneficiado constitui um importante indicador de rendimento, uma vez que genótipos capazes de produzir grãos com maior massa tendem a proporcionar maior lucratividade ao cafeicultor. Em estudo realizado com essas mesmas cultivares nos mesmos ambientes de cultivo, verificou-se que o genótipo BRS1216 apresentou os maiores índices de rendimento (IR), com valores superiores a 27,4% no ambiente não irrigado (E1) e 28,4% no ambiente irrigado (E2) (7).

Tabela 5 - Correlação entre as características físicas, propriedades de engenharia e índice de rendimento de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal.

| E1 – Não irrigado | | | | | | | | |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|----|
| | Cg | Lg | Eg | 100Mg | E | V | Dp | IR |
| Cg | 1 | | | | | | | |
| Lg | 0.37 | 1 | | | | | | |
| Eg | 0.03 | 0.43 | 1 | | | | | |
| 100Mg | 0.59 | 0.87 | 0.39 | 1 | | | | |
| E | -0.87 | 0.04 | 0.37 | -0.21 | 1 | | | |
| V | 0.81 | 0.77 | 0.50 | 0.85 | -0.43 | 1 | | |
| Dp | -0.18 | 0.38 | -0.13 | 0.51 | 0.26 | -0.005 | 1 | |
| IR | -0.03 | 0.40 | 0.34 | 0.59 | 0.25 | 0.23 | 0.73 | 1 |
| E2 – Irrigado | | | | | | | | |
| | Cg | Lg | Eg | 100Mg | E | V | Dp | IR |
| Cg | 1 | | | | | | | |
| Lg | 0.75 | 1 | | | | | | |
| Eg | 0.36 | 0.50 | 1 | | | | | |
| 100Mg | 0.82 | 0.76 | 0.66 | 1 | | | | |
| E | -0.76 | -0.31 | 0.27 | -0.37 | 1 | | | |
| V | 0.86 | 0.87 | 0.75 | 0.91 | -0.35 | 1 | | |
| Dp | -0.38 | -0.48 | -0.32 | -0.06 | 0.15 | -0.45 | 1 | |
| IR | -0.004 | 0.23 | 0.65 | 0.24 | 0.48 | 0.34 | -0.19 | 1 |



Cg: comprimentos dos grãos, Lg: largura dos grãos, Eg: espessura dos grãos, 100Mg: massa de 100 grãos, E: esfericidade, V: volume, Dp: densidade da partícula.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, essa cultivar apresentou massa de grãos acima da média em ambos os ambientes. Entretanto, os maiores valores de massa de grãos foram observados nas cultivares BRS2336 e BRS3210, sendo a primeira superior nos dois ambientes avaliados e a segunda destacando-se apenas no ambiente E2. Apesar disso, a correlação entre índice de rendimento (IR) e massa de 100 grãos (100Mg) foi considerada baixa, apresentando valores inferiores a $r = 0,60$, conforme observado na Tabela 5.

Com relação aos ambientes avaliados, observou-se que 70% das cultivares apresentaram maiores valores de massa de 100 grãos (100Mg) no ambiente não irrigado (E1), enquanto apenas 10% apresentaram maiores médias no ambiente irrigado (E2), e 20% não diferiram significativamente entre os ambientes. Dessa forma, a massa dos grãos foi a característica física que apresentou maior influência das condições de cultivo entre os ambientes irrigado e não irrigado.

Conforme relatado anteriormente, o ambiente irrigado apresentou maiores índices de rendimento (IR) em comparação ao ambiente não irrigado. Entretanto, os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que a irrigação não promoveu aumento na massa dos grãos nem nas características de dimensionalidade dos materiais avaliados.

Dentre as características físicas avaliadas, a massa dos grãos apresentou elevada variação entre os ambientes para algumas cultivares. Nesse contexto, a cultivar BRS3210 apresentou a maior diferença entre os ambientes, com variação de 2,31 g entre E2 e E1, evidenciando tendência de produção de grãos com maior massa no ambiente irrigado. Em contrapartida, a cultivar BRS1216 apresentou comportamento oposto, com maior massa de grãos no ambiente não irrigado, registrando diferença de 2,23 g entre E1 e E2.

Ao estudar o comportamento de clones de café conilon no estado do Espírito Santo, autores observaram que 72,5% dos grãos retidos em peneiras 13 e superiores foram provenientes de plantas cultivadas sob irrigação, enquanto plantas conduzidas em condições sem irrigação apresentaram apenas 33,1% de retenção nessas peneiras. Esse comportamento ocorre porque, à medida que aumenta a porcentagem de grãos de fundo, há



redução no percentual de grãos do tipo moca, características diretamente relacionadas às condições climáticas de cultivo ⁽¹¹⁾.

A partir das características de dimensionalidade e massa dos grãos é possível determinar propriedades de engenharia, também denominadas propriedades industriais, como esfericidade, volume e densidade da partícula (Tabela 6).

Tabela 6 - Propriedades de engenharia dos grãos verdes de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal (E1 – Sequeiro Ouro Preto do Oeste, E2 – Ouro Preto do Oeste irrigado).

| Cultivares | E | | V | | Dp | |
|------------|--------|--------|---------|---------|-------|-------|
| | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 |
| BRS1216 | 74.4aA | 74.5bA | 125.3bB | 151.3aA | 1.4aA | 1.0bB |
| BRS2299 | 64.7cA | 63.8dA | 101.7dB | 116.9bA | 1.3bA | 1.0bB |
| BRS2314 | 73.8aA | 68.9cB | 104.5dA | 73.8dB | 1.0cB | 1.3aA |
| BRS2336 | 65.8cA | 68.4cA | 154.3aA | 146.2aA | 1.2bA | 1.2aA |
| BRS2357 | 72.8aA | 72.3bA | 99.6dA | 106.9cA | 1.4aA | 1.2aB |
| BRS3137 | 69.1bB | 77.4aA | 97.6dA | 81.0dB | 1.2bB | 1.3aA |
| BRS3193 | 70.9bA | 71.6bA | 97.0dA | 86.6dB | 1.2bA | 1.3aA |
| BRS3210 | 62.3dA | 63.6dA | 134.8bA | 144.8aA | 1.2bA | 1.3aA |
| BRS3213 | 63.2dB | 69.9cA | 118.6cA | 112.3bA | 1.1cA | 1.1bA |
| BRS3220 | 72.8aA | 72.8bA | 104.7dA | 99.6cA | 1.3bA | 1.3aA |

E: esfericidade, V: volume, Dp: densidade da partícula. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).

A esfericidade está diretamente relacionada à taxa de escoamento do café, de modo que grãos com formato mais próximo ao esférico tendem a apresentar melhor fluidez do material ⁽²²⁾. Entre as cultivares avaliadas, as cultivares BRS1216, BRS2314, BRS2357 e BRS3220 apresentaram os maiores valores de esfericidade no ambiente não irrigado (E1). Por outro lado, no ambiente irrigado (E2), a cultivar BRS3137 destacou-se por apresentar os maiores valores para essa característica. Trabalhando com materiais genéticos cultivados no município de Porto Velho, em campo experimental da Embrapa, RO, o mesmo encontrou valor máximos de esfericidade próximo a este estudo, com valor superior a 78%, para os clones LB20 e LB60 ⁽²⁷⁾.



O volume dos grãos influencia diretamente operações de secagem, aeração e armazenamento do café (23,24), sendo que grãos com maior volume e menor massa apresentam maior suscetibilidade a alterações estruturais durante o armazenamento inadequado. Entre as cultivares avaliadas, a BRS2336 apresentou os maiores valores de volume em ambos os ambientes, enquanto as cultivares BRS1216 e BRS3210 se destacaram no ambiente irrigado (E2). Além disso, a BRS2336 e a BRS3210 também apresentaram maiores valores de comprimento e massa dos grãos, evidenciando relação positiva entre volume, dimensionalidade e rendimento físico dos grãos. A cultivar BRS2336 apresentou volume superior a 154 mm^3 no ambiente não irrigado, e a associação entre características dimensionais e propriedades de engenharia também é relatada na literatura (27).

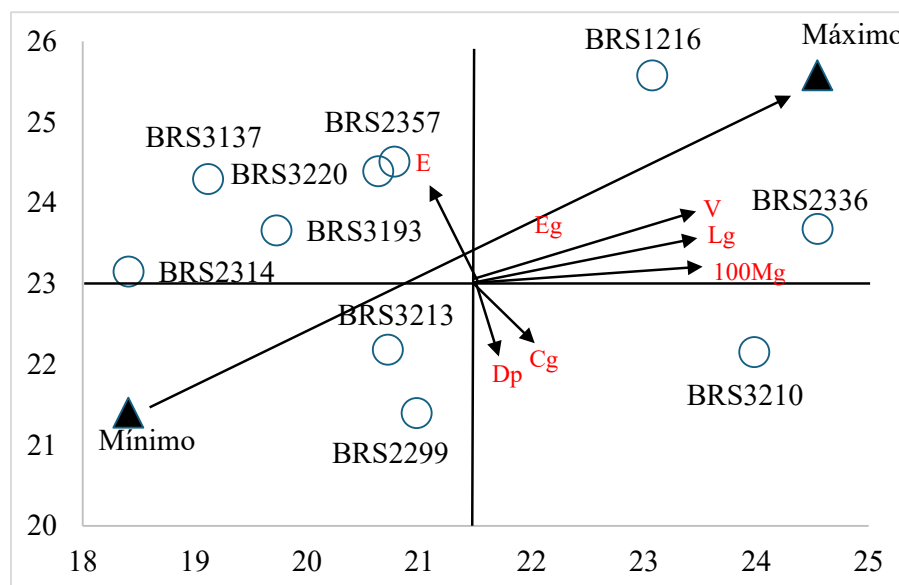
A densidade da partícula corresponde à relação entre massa e volume, constituindo um importante parâmetro para as etapas de processamento, armazenamento, transporte e torrefação do café (25). Além disso, grãos com densidades semelhantes tendem a proporcionar maior uniformidade de torra, característica diretamente associada à qualidade visual e sensorial da bebida (26). No presente estudo, a densidade da partícula variou entre 1,0 e 1,4 g mL^{-1} no ambiente não irrigado (E1) e entre 1,0 e 1,3 g mL^{-1} no ambiente irrigado (E2), sendo observadas respostas distintas entre os ambientes para 50% das cultivares avaliadas, evidenciando elevada heterogeneidade dessa característica. No ambiente não irrigado, a densidade da partícula apresentou correlação positiva com o índice de rendimento ($r = 0,73$). Resultados semelhantes foram relatados para a cultivar BRS2357 em ambiente irrigado de Porto Velho, RO, com densidade superior a $1,36 \text{ g mL}^{-1}$ (27), valor próximo ao observado no presente estudo para o ambiente não irrigado.

Considerando que a análise de medidas repetidas demonstrou que a interação entre os ambientes foi classificada como do tipo simples (Figura 1), a análise de componentes principais (PCA) foi realizada utilizando os dados conjuntos dos genótipos avaliados em ambos os ambientes. O gráfico de dispersão dos dois primeiros componentes principais explicou 83,21% da variabilidade total dos dados, com destaque para a massa de 100 grãos (100Mg), responsável por 59,56% da variação no primeiro componente principal (PC1), e para a espessura (E), que contribuiu com 23,65% no segundo componente principal (PC2). Entre as cultivares avaliadas, BRS1216, BRS2336 e BRS3210 apresentaram maior proximidade com o máximo desempenho para o conjunto das características analisadas, enquanto a cultivar BRS2314 apresentou desempenho inferior.

De modo geral, através deste estudo foi observado que as cultivares BRS1216, BRS2336 e BRS3210 apresentaram massa de 100 grãos superior a 18 g, dependendo do ambiente de cultivo. A BRS3137 apresentou esfericidade superior às demais, alcançando valores de até 77%. O volume dos grãos da BRS2336 foi superior a 146 mm³, chegando a 154 mm³ no ambiente não irrigado, enquanto a BRS2357 destacou-se entre as cultivares avaliadas por apresentar elevada densidade de partícula dos grãos.

Esses resultados complementam as características agrônômicas e tecnológicas já descritas para essas cultivares. A BRS2314 destaca-se pela elevada qualidade da bebida, enquanto a BRS2357 apresenta características típicas da variedade botânica Conilon. Já a BRS3210 é reconhecida pelas boas características agrônômicas e elevada uniformidade de maturação, enquanto que a BRS1216 se caracteriza pelo alto rendimento e estabilidade produtiva em diferentes ambientes de cultivo e qualidade de bebida superior ^(9,14, 28).

Figura 2 - Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais (PCA) das características físicas conjuntas dos grãos verdes de dez Genótipos de *C. canephora*, avaliados na safra 2021-2022 no campo experimental da Embrapa, RO, no município de Ouro Preto do Oeste em dois ensaios de competição clonal (E1 – Sequeiro Ouro Preto do Oeste, E2 – Ouro Preto do Oeste irrigado).



Cg: comprimentos dos grãos, Lg: largura dos grãos, Eg: espessura dos grãos, 100Mg: massa de 100 grãos, E: esfericidade, V: volume, Dp: densidade da partícula.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2026).



Por fim, a diferença entre as cultivares dependendo do ambiente é notável, sendo que algumas tendem a apresentar suas melhores características em ambiente irrigado, e outras mantem seu desempenho em ambiente com estresse hídrico. Dentre as cultivares, a BRS2336 foi a única que se manteve estável quanto suas características físicas, independente do ambiente.

Considerações Finais

As cultivares de *Coffea canephora* desenvolvidas pela Embrapa Rondônia apresentaram variabilidade para as características morfológicas e propriedades de engenharia dos grãos, evidenciando influência das condições ambientais sobre a expressão desses caracteres. Entretanto, a maioria dos genótipos apresentou comportamento estável entre os ambientes avaliados, com manutenção ou até superioridade das características físicas dos grãos em condição não irrigada. Destacaram-se as cultivares BRS2336, BRS3210 e BRS1216, que apresentaram desempenho superior para características relacionadas à dimensionalidade, massa e propriedades industriais dos grãos.

Os resultados obtidos contribuem para a compreensão das relações entre ambiente e qualidade física dos grãos de café Robusta Amazônico, fornecendo informações relevantes para programas de melhoramento genético e para a seleção de cultivares mais adaptadas às condições de cultivo da Amazônia Ocidental.



Referências

- 1 Ferrão RG, et al. Melhoramento genético para obtenção da cultivar Marilândia ES 8143, variedade clonal de café conilon tolerante a seca. *Multi-Science Research*. 2018;v. 1, n. 1, p. 1-18.
- 2 Aparecido LEO, et al. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*. 2015; v. 9, n. 2, p. 160-167.
- 3 Covre AM, et al. Crescimento vegetativo de plantas de café Conilon sob dois regimes hídricos, na região Atlântica da Bahia, Brasil. *Acta Sci Agron*. 2016;38(4):535–45. doi: 10.4025/actasciagron.v38i4.30627
- 4 Rodrigues WP, et al. Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global change biology*. 2016; v. 22, n. 1, p. 415-431. DOI: 10.1111/gcb.13088
- 5 Magiero M, et al. Vegetative growth in Conilon coffee under fertigation with different installments and doses of nitrogen and potassium. *Revista Agro@ambiente*. 2017; 11(1), 31-39.
- 6 Galeano, E. A. V., Maso, L. J., Santana, A. D. Estimativa de perdas na produção agrícola capixaba em 2015. *Incaper em Revista, Vitória*. 2016; v. 6, n. 4, p. 26-41.
- 7 Lourenço JLR, et al. Genotype × Environment Interaction in the Coffee Outturn Index of Amazonian Robusta Cultivars. *Agronomy*. 2022;12(11). doi: 10.3390/agronomy12112874
- 8 Alvares CA, et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 2013;22(6):711–28. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- 9 Teixeira AL, et al. Amazonian Robustas-new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2020;20(3):815–800. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3c53>
- 10 Espindula MC, et al. Novas cultivares de cafeeiros *Coffea canephora* para a Amazônia Ocidental Brasileira – Principais características. 2019; Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia. Comunicado técnico, 413, 2019.
- 11 Pereira, LR, et al. Tamanho de grãos do cafeeiro conilon irrigado e não irrigado durante quatro safras. *IRRIGA*,. 2021; v. 1, n. 3, p. 506-516, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v1n3p506-516
- 12 Ferreira AD, et al. Desempenho agrônomo de seleções de café bourbon vermelho e bourbon amarelo de diferentes origens. *Pesqui Agropecu Bras*. 2013;48(4):388–94. doi:



10.1590/S0100-204X2013000400006

13 Marcolan AL, et al. Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia Sistemas de Produção 33. 2009; Available from: www.cpafro.embrapa.br

14 Rocha, R. B., Teixeira, A. L., Ramalho, A. R., Espindula, M. C., Lunz, A. M. P., Souza, F. D. F. Coffea canephora breeding: estimated and achieved gains from selection in the Western Amazon, Brazil. *Ciência Rural*. 2021; v. 51, p. e20200713. DOI: 10.1590/0103-8478cr20200713

15 Moraes MS, et al. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of Coffea canephora. *Genetics and Molecular Research*. 2018;17(1). doi: 10.4238/gmr16039876

16 Mohsenin, NN. Propriedades físicas de materiais vegetais e animais: v. 1: características físicas e propriedades mecânicas. Routledge. 2020.

17 Cruz CD. GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. *Acta Sci Agron*. 2013;35(3):271–6. doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251

18 Cruz CD, Carneiro PCS, Bhering LL. Biometry in plant breeding ARTICLE. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2021;21(S):380621–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332021v21Sa18>

19 Agrawal, KK, Clary, BL, Schroeder, EW. Mathematical models of peanut pod geometry. *Transactions of the ASAE*. 1973; v. 16, n. 2, p. 315-0319.

20 Lopes Junior, H., et al. Robustas Amazônicas: qualidade do café de Rondônia. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*. 2023; v. 14, n. 2, p. 466-481, 2023. DOI: 10.31072/rcf.v14i2.1375

21 Lopes Junior H, et al. Fruit and bean traits of the Coffea canephora genotypes most grown in western Amazon. *Pesq agropec bras*. 2024;59:2024. Available from: www.scielo.br/pab

22 Moysey, EB, Lambert, EW, Wang, Z. Flow rates of grains and oilseeds through orifices. St. Joseph: MI, Technical note. 1985; 85.3530, 1-22.

23 Botelho, FM, et al. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante secagem: determinação e modelagem. *Coffea Science*. 2016; v.11(1).

24 Silva, FSD, et al. Ângulo de repouso, atrito interno e efetivo dos grãos de café com pergaminho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 2006; v. 8, n. 1, p. 17-23, 2006.. DOI: 10.15871/1517-8595/rbpa.v8n1p17-23

Santana AA, et al. Microencapsulation of pequi pulp by spray drying: Use of modified starches as encapsulating agent. *Engenharia Agrícola*. 2014; v. 34, p. 980-991.



25 Cheng B, et al. Influence of genotype and environment on coffee quality. Vol. 57, Trends in Food Science and Technology. Elsevier Ltd; 2016. p. 20–30. doi: 10.1016/j.tifs.2016.09.003

26 Lopes Junior H, et al. Propriedades de engenharia de grãos dos genótipos de Coffea canephora mais cultivados na Amazônia Ocidental. DELOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE. 2024;17(51):01–18. doi: 10.55905/rdelosv17.n51-001

27 Lopes Junior H, et al. Sensory profiling and genetic variability of Coffea canephora genotypes cultivated in the Western Amazon. Coffee Science. 2026; 21: p. e212411-e212411. doi: <https://doi.org/10.25186/v21i.2411>



10.31072/rcf.v17i1.1535

Este é um trabalho de acesso aberto e distribuído sob os Termos da *Creative Commons Attribution License*. A licença permite o uso, a distribuição e a reprodução irrestrita, em qualquer meio, desde que creditado as fontes originais.



BY

Open Access