



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
BIOTECNOLOGIA – REDE BIONORTE

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CAFEEIROS *Coffea*
***canephora* CULTIVADOS NA AMAZONIA OCIDENTAL**

MARCOS SANTANA MORAES

Porto Velho-RO

2022

MARCOS SANTANA MORAES

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CAFEEIROS *Coffea*
canephora CULTIVADOS NA AMAZONIA OCIDENTAL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Rondônia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador: Dr. Rodrigo Barros Rocha

Porto Velho-RO

2022

Catalogação da Publicação na Fonte
Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

M828a Moraes, Marcos Santana.
Adaptabilidade e estabilidade de cafeeiros *Coffea canephora* cultivados na Amazônia
Occidental / Marcos Santana Moraes. - Porto Velho, 2022.

74 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Barros Rocha.

Tese (Doutorado), Departamento de Biologia, Núcleo de Ciências Exatas e da Terra,
Fundação Universidade Federal de Rondônia.

1. Produtividade. 2. Interação GxA. 3. Robustas amazônicas. I. Rocha, Rodrigo Barros.
II. Título.

Biblioteca Central

CDU 663.93(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCOS SANTANA MORAES

ADAPTABILIDADE ESTABILIDADE E ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL DO CAFEEIRO *Coffea canephora* CULTIVADO NA AMAZONIA OCIDENTAL.

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Rondônia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovado em 05/09/2022

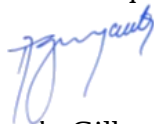
Banca examinadora



Prof. Dr. Rodrigo Barros Rocha
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Presidente)



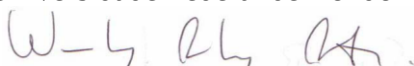
Prof. Dr. Alexsandro Lara Teixeira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Prof. Dr. Ângelo Gilberto Manzatto
Universidade Federal de Rondônia



Prof. Dra. Marcela Campanharo
Universidade Federal de Rondônia



Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos
Universidade Federal de Rondônia

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Rondônia – UNIR e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA pela oportunidade de cursar o doutorado, por meio do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - PPG BIONORTE.

Aos pesquisadores do núcleo de produção cafeeira da Embrapa Rondônia, especialmente os doutores Rodrigo Barros Rocha, Marcelo Curitiba Espíndula, Enrique Anastácio Alves, André Rostand Ramalho e Alexsandro Lara Teixeira, pela confiança, dedicação e ensinamentos repassados.

Aos funcionários terceirizados, assistentes de campo, técnicos, analistas e bolsistas dos campos experimentais da Embrapa dos municípios de Porto Velho-RO, Ouro Preto do Oeste-RO e Rio Branco-AC, pelo esforço e dedicação na coleta de dados do projeto.

Aos amigos João Maria Diocleciano, Rodrigo Silva, Josemar Davilla, Victor Mouzinho, Carolina Souza, Darlan Sanches, Rodrigo Depolo, Taynara Rodrigues, Rodrigo Rodrigues e Priscila Campos pela parceria, conselhos e pelos momentos de ajuda durante a pós-graduação.

Ao CNPq, CAPES, FAPERO e Consórcio Pesquisa Café pelo fomento na execução do projeto.

A minha esposa Géssica.

Aos meus irmãos, Melânia, Karla, Lucas.

Aos meus pais Luiz Carlos e Raimunda e toda minha Família.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para a concretização desse trabalho.

MORAES, Marcos Santana. **Adaptabilidade e estabilidade de cafeeiros *Coffea canephora* cultivados na Amazônia Ocidental**. 2022. 82 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2022.

RESUMO

Na Amazônia Ocidental as lavouras cafeeiras são compostas por uma diversidade de genótipos de *Coffea canephora*, denominados Robustas Amazônicos. Trata-se de plantas que apresentam maior adaptabilidade e estabilidade de produção nas condições edafoclimáticas do bioma amazônico. Os recursos genéticos cultivados apresentam características híbridas entre as variedades botânicas conilon e robusta, conferindo às plantas efeito heterotico, caracterizados pela boa qualidade de bebida, resistência ao ataque de pragas e doenças, tolerância a estresses abióticos e, principalmente, pela elevada produtividade de lavouras clonais cultivadas na região. A produtividade dos genótipos de *C. canephora* é uma variável dependente de diversos fatores, como os genótipos cultivados, o ambiente, e o nível de tecnologia aplicada na lavoura. De maneira conjunta ou estratificada o maior número de fatores deve ser considerado nos sistemas de produção do cafeeiro. Nos programas de melhoramento genético de cafeeiro *C. canephora* avaliações em diferentes locais e sob diferentes condições de manejo são utilizadas para inferir quanto a fatores genotípicos e ambientais que impactam a produção de diferentes clones. Avaliações de clones de *C. canephora* durante três safras em seis ambientes da Amazônia foram realizados com os objetivos de: Caracterizar a adaptabilidade e estabilidade e avaliar o desempenho de clones de *C. canephora* em diferentes estratos ambientais na Amazônia Ocidental (Capítulos I e II). Para avaliação da produtividade do *C. canephora* foram considerados seis ensaios de competição clonal instalados em diferentes municípios dos estados de Rondônia e Acre. Cada ensaio foi composto por 20 clones, avaliados, nos ambientes de Ouro Preto do Oeste/RO (A1), Porto Velho, RO (A2), Ariquemes (A3) Rio Branco, AC irrigado (A4), Rio Branco, AC não irrigado (A5), Alta Floresta D'Oeste, RO (A6). No estudo da produtividade mensurada em sacas por hectare, os ambientes Ariquemes e Porto Velho foram menos favoráveis para o cultivo do *C. canephora*. Os genótipos Híbrido 18, Clone 636, BRS Ouro Preto 120, Clone 453 e Clone 657 foram identificados como de baixa adaptabilidade. Foram identificados seis genótipos de adaptabilidade específica a condições favoráveis ou desfavoráveis (Híbrido 10, Híbrido 9, BRS Ouro Preto 125, Híbrido 15, BRS Ouro Preto 199 e Clone 193), os genótipos Híbrido 16 e Híbrido 13 apresentaram ampla adaptabilidade. Clone 16 mostrou boa adaptabilidade geral, e os clones 10 e 199 mostraram adaptabilidade específica a condições favoráveis e ambientes desfavoráveis, respectivamente. Por sua vez, o estudo da

estratificação ambiental possibilitou a redução na dimensionalidade dos dados, estimada a partir de características climáticas e de solo, indicou que os ambientes de Porto Velho – RO, Rio Branco – AC e Ariquemes - RO são mais similares do que os ambientes de Ouro Preto do Oeste – RO e Alta Floresta – RO, que se diferenciam pela maior fertilidade natural do solo e maior altitude.

Palavras-chave: Produtividade; Interação GxA; Robustas Amazônicos.

MORAES, Marcos Santana. **Adaptability and stability of *Coffea canephora* coffee trees cultivated in the Western Amazon**. 2022. 82 f. Thesis (PhD in Biodiversity and Biotechnology) – Federal University of Rondônia, Porto Velho, 2022.

ABSTRACT

In the Western Amazon, coffee crops are composed of a diversity of genotypes of *Coffea canephora*, called Robustas Amazônicos, the largest being plants that show adaptability and production stability in the soil and climate conditions of the Amazon biome. The cultivated genetic resources present hybrid characteristics between the botanical varieties conilon and robusta, giving the plants a heterotic effect, characterized by good quality of drink, resistance to pests and diseases, tolerance to abiotic stresses and mainly by the high productivity of clonal crops cultivated in region. The productivity of *C. canephora* genotypes is a variable dependent on several factors, such as the genotypes cultivated, the environment, and the level of technology applied to the crop. In a joint or stratified manner, the greatest number of factors must be considered in coffee production systems. In *C. canephora* coffee breeding programs, evaluations in different locations and under different management conditions are used to infer about genotypic and environmental factors that impact the production of different clones. Evaluations of *C. canephora* clones during three seasons in six Amazonian environments were carried out with the objective of: characterizing the adaptability and stability and evaluating the environmental stratification and performance of *C. canephora* clones cultivated in the Western Amazon (Chapters I and II). To evaluate the productivity of *C. canephora*, six clonal competition assays installed in different municipalities in the states of Rondônia and Acre were considered. Each trial consisted of 20 clones, evaluated in the environments of Ouro Preto do Oeste, RO (A1), Porto Velho, RO (A2), Ariquemes (A3) Rio Branco, AC irrigated (A4), Rio Branco, AC non-irrigated (A5), Alta Floresta D'Oeste, RO (A6). The study of productivity measured in bags per hectare, indicated that the environments of Ariquemes and Porto Velho were less favorable for the cultivation of *C. canephora*. The genotypes hybrid 18, Clone 636, BRS Ouro Preto 120, Clone 453 and Clone 657 were identified as having low adaptability. Six genotypes of specific adaptability to favorable or unfavorable conditions were identified (hybrid 10, hybrid 9, BRS Ouro Preto 125, hybrid 15, BRS Ouro Preto 199 and Clone 193), the genotypes hybrid 16 and hybrid 13 showed wide adaptability. The study of productivity measured in bags per hectare, indicated that the environments of Ariquemes and Porto Velho were less favorable for the cultivation of *C. canephora*. The genotypes hybrid 18, Clone 636, BRS Ouro Preto 120, Clone 453 and Clone 657 were identified as having low adaptability. Six genotypes of specific adaptability to favorable or unfavorable conditions were identified

(hybrid 10, hybrid 9, BRS Ouro Preto 125, hybrid 15, BRS Ouro Preto 199 and Clone 193), the hybrid 16 genotypes showed good general adaptability, and the clones hybrid 10 and 199 showed specific adaptability to favorable conditions and unfavorable environments, respectively. In turn, the study of environmental stratification made it possible to reduce the dimensionality of the data, estimated from climatic and soil characteristics, indicating that the environments of Porto Velho - RO, Rio Branco - AC and Ariquemes - RO are more similar than the environments of Ouro Preto do Oeste – RO and Alta Floresta – RO, which are distinguished by greater natural soil fertility and higher altitude.

Key-words: Productivity; G×E interaction; Robustas Amazônicos.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Dois primeiros componentes principais da produtividade média de café beneficiado dos genótipos de *C. canephora*, em 5 locais da amazônia ocidental. **26**
- Figura 2-** Dispersão no plano entre o primeiro componente principal estimado a partir de variáveis de solo (64%) e do primeiro componente principal estimado a partir de variáveis climáticas (81%) de cinco ambientes da amazônia ocidental. **41**
- Figura 3-** Dispersão no plano estimada utilizando o método AMMI para avaliação do desempenho produtivo de 20 genótipos cultivados em seis ambientes da Amazônia Ocidental, no período de 2014 a 2019. **42**
- Figura 4-** Dispersão obtida a partir do primeiro e do segundo componentes principais estimados utilizando o método ammi para avaliação do desempenho produtivo de 20 genótipos cultivados em seis ambientes da amazônia ocidental, no período de 2014 a 2019. **43**
- Figura 5-** Dendrograma representando a dissimilaridade dos ambientes estimado utilizando o algoritmo do upgma a partir da matriz contendo a parte complexa da interação g x a. **44**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Progenies híbridas obtidas a partir da hibridação entre matrizes das variedades botânicas conilon e robusta. ouro preto do oeste, ro, 2004. **17**
- Tabela 2 –** Relação dos clones avaliados em ensaios de competição instalados em cinco locais da amazônia ocidental. **19**
- Tabela 3-** Principais estimativas dos experimentos instalados em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, avaliados no período de 2015 a 2017. **22**
- Tabela 4-** Resumo da análise de variância da produtividade média de café beneficiado de três colheitas avaliada em cinco locais da Amazônia Ocidental. **23**
- Tabela 5-** Parâmetros genéticos e ambientais da produtividade de café, média de três anos, avaliados em 5 locais da Amazônia Ocidental. **24**
- Tabela 6-** Produtividade média de três anos em sacas de café beneficiado por hectare de ensaios de valor de cultivo e uso avaliados em 5 ambientes da Amazônia Ocidental, associados ao ordenamento obtido pelo método de lin e binns (1988). **25**
- Tabela 7-** Estimativas de progresso genético com a seleção dos clones de alta adaptabilidade (i), adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (ii) e adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis realçados em negrito. **27**
- Tabela 8-** Relação dos clones avaliados em ensaios de competição clonal conduzidos em seis ambientes da Amazônia Ocidental no período de 2014 a 2019. **36**
- Tabela 9-** Resumo das análises individuais e conjunta de seis ensaios de competição clonal avaliados em cinco ambientes da Amazônia Ocidental no período de 2014 a 2019. **40**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 ORIGEM DO <i>COFFEA</i>	13
2.2 CAFÉ NO BRASIL	13
2.3 CAFÉ NA AMAZÔNIA	13
2.4 INTERAÇÃO G X A NA PRODUTIVIDADE DE <i>Coffea canephora</i>	14
Capítulo I.....	15
3. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE <i>Coffea canephora</i> NA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	15
RESUMO.....	15
ABSTRACT	15
3.1. INTRODUÇÃO.....	16
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.2.1 Material genético	17
3.2.2 Ensaios de competição clonal.....	18
3.2.3 Experimentação	19
3.2.4 Quantificação da interação genótipos x ambientes	20
3.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	22
3.4 CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS.....	28
Capítulo II.....	31
4 ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E DESEMPENHO DE CLONES DE <i>Coffea</i> <i>canephora</i> CULTIVADOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT	32
4.1 INTRODUÇÃO.....	33
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.2.1 Ensaios de campo.....	34
4.2.2 Análises estatísticas individuais e índice ambiental.....	37
4.2.3 Agrupamento dos ambientes: características climáticas e de solo.....	38
4.2.4 Análise conjunta e efeito da interação genótipos x ambientes.....	38
4.2.5 Agrupamento dos genótipos e ambientes.	38
4.2.5 Parte complexa da interação genótipo x ambientes	39
4.3 RESULTADOS	39
4.4 DISCUSSÃO	44
4.5 CONCLUSÕES	47

REFERÊNCIAS	47
5. CONCLUSÃO GERAL	51
REFERÊNCIAS	52
ANEXOS.....	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

No processo de seleção de genótipos de *Coffea canephora*, avaliados em uma rede de ambientes, existe uma complexidade das interações, em função dos diferentes fatores climáticos e de solo, com isso faz-se necessário a aplicação de estudos de adaptabilidade e estabilidade e de estratificação ambiental. A identificação de ambientes semelhantes com nula ou baixa interação Genótipo x Ambiente (G x A) permite a seleção de genótipos superiores, considerando o efeito genético e desconsiderando os efeitos do ambiente e dos resíduos da análise (MORAES *et al.*, 2021).

Para a seleção de plantas, diferentes estratégias podem ser utilizadas para quantificar a estabilidade e a adaptabilidade dos genótipos. Diversos métodos são utilizados na avaliação simultânea de grande número de genótipos, caracterizando o desempenho diferencial dos genótipos em diferentes ambientes (TEN CATEN *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2017). Metodologias que consideram autovetores para quantificar a similaridade entre os ambientes, reduzindo a dimensionalidade dos dados a partir de características climáticas e de solo tem sido utilizada na estimativa de valores genéticos, facilitando a seleção de genótipos nas fases finais do programa de melhoramento do cafeeiro *C. canephora* (VERMA e SINGH, 2021; CORRÊA, 2011; MORAES *et al.*, 2021).

O método Lin e Binns (1988) utilizado para análise de interação genótipo ambiente consiste em ponderar os desvios de comportamento das cultivares nos ambientes associados à resposta relativa de cada genótipo, com a finalidade a identificação de genótipos com desempenho superior nos ambientes, por meio de estatística, denominada de Pi. As vantagens do método se referem à maior facilidade na interpretação e especificidade de recomendação dos cultivares a grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis (CARGNIN *et al.*, 2008; PELUZIO *et al.*, 2008).

Neste contexto, o presente estudo teve como hipótese central: subsidiar a seleção de novos genótipos de *C. canephora* de maior adaptabilidade e estabilidade para ambientes da Amazônia Ocidental. Este documento foi organizado de forma a apresentar as etapas realizadas do projeto de pesquisa e os resultados obtidos. O primeiro capítulo apresenta a avaliação da adaptabilidade e estabilidade da produção e do progresso genético para produtividade de café de genótipos híbridos, que fazem parte do programa de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em seis ambientes da Amazônia Ocidental.

No segundo capítulo é estudada a interação genótipo x ambiente, avaliada a estratificação ambiental e o desempenho de 20 genótipos de *C. canephora* cultivados em seis

ambientes na Amazônia Ocidental, visando subsidiar a recomendação para cultivo dos recursos genéticos que apresentam a maior produtividade de café beneficiado na região.

1.1 OBJETIVO GERAL

Subsidiar a seleção de novos genótipos de *C. canephora* de maior adaptabilidade e estabilidade na região da Amazônia Ocidental.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Quantificar a interação genótipo x ambientes de 20 genótipos de *C. canephora* em seis diferentes ambientes da Amazônia Ocidental e fornecer subsídios para registro e proteção de novos genótipos de *C. canephora* junto a Sistema Nacional de Cultivares (Brasil. Ministério Da Agricultura, 2017) com recomendação para plantio na Amazônia ocidental.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM DO *COFFEA*

Originário do continente africano o café é uma das bebidas mais consumidas e popularizadas em todos os continentes. Dentro do gênero *Coffea* existem mais de 120 espécies identificadas no mundo (DAVIS *et al.*, 2021), entretanto, somente duas são amplamente cultivadas, sendo elas, *Coffea arábica* e *Coffea canephora*. Apesar de ambas serem do mesmo gênero as características dessas espécies apresentam diferenças distintas.

O *Coffea arábica* possui como características o sistema reprodutivo de autogamia, o grão apresenta menores teores de cafeína e de sólidos solúveis, sua bebida é mais aromática e ácida e também menos encorpada, quando comparada a *C. canephora*.

O cafeeiro *C. canephora* é uma espécie alógama, autoincompatível (MORAES *et al.*, 2018) e com centro de origem na região equatorial de baixa altitude da bacia do Rio Congo (FERRÃO *et al.*, 2007). Essa espécie possui distribuição geográfica na faixa tropical e subtropical da República do Guiné, Libéria, Sudão e Uganda no continente africano (FERRÃO *et al.*, 2007; FAZUOLI *et al.*, 1986).

2.2 CAFÉ NO BRASIL

O Brasil projeta-se como o maior produtor e exportador dessa commodity, responsável pela produção de aproximadamente 62 milhões de sacas beneficiadas de café por ano, montante correspondente a um terço da produção mundial (SOARES *et al.*, 2021; CONAB, 2021). A espécie *C. arábica* possui maior volume de produção e extensão de área cultivada, corresponde por 70% do café produzido no país (CONAB, 2021).

O *C. arábica* apresenta faixa temperatura ideal para cultivo entre 18 a 22°C, com plantio recomendado para regiões de maiores altitudes, neste sentido sua maior produção é concentrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná (FORNAZIER *et al.*, 2021; PARTELLI e PEREIRA, 2021). No Brasil o *C. canephora* é cultivado predominante em regiões de altitudes inferiores 800 metros em relação ao nível do mar, com destaque de produção para os estados do Espírito Santo, Rondônia e Bahia (PARTELLI e PEREIRA, 2021).

2.3 CAFÉ NA AMAZÔNIA

Rondônia e Acre apresentam clima equatorial úmido com baixas altitudes e elevadas temperaturas diurnas e noturnas, e configura-se como principais produtores de café na região amazônica. Lavouras comerciais de *C. canephora* tem mostrado boa adaptação a região amazônica, entretanto nessa região são escassas as avaliações de interação genotipo x ambiente e de adaptabilidade e estabilidade, dessa espécie (TEIXEIRA *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2018).

2.4 INTERAÇÃO G X A NA PRODUTIVIDADE DE *Coffea canephora*

A produtividade *C. canephora* é influenciada pela interação entre genótipos e ambientes (GxE), ou seja, pelo comportamento diferenciado de genótipos cultivados em diferentes locais, isso ocorre devido a influência de fatores controláveis (adubação, preparo do solo, irrigação...) ou fatores não controláveis (clima, incidência de pragas e doenças) (GENETI, 2019; MORAES *et al.*, 2020). No melhoramento genético do cafeeiro a interação genótipo x ambientes deve ser interpretada de forma a facilitar a identificação e seleção de clones superiores para recomendação de cultivo (TEODORO *et al.*, 2016).

Para manipulação dos efeitos da interação algumas estratégias podem ser adotadas pelos melhoristas, uma delas é identificar materiais com desempenho satisfatório em todos os ambientes (adaptabilidade geral) para recomendação ampla, e outra estratégia é a recomendação regionalizada de clones com adaptação específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, (RAMALHO *et al.*, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2010). O melhor desempenho de genótipos de *C. canephora* a ambientes específicos pode explorado na seleção de plantas, de maneira a capitalizar os efeitos da interação (ROCHA *et al.*, 2015). Em ambientes marginais para o cultivo de café é importante que a seleção de plantas associe uma maior adaptabilidade entendida com desempenho superior, a uma maior estabilidade definida como a capacidade do genótipo de manter seu comportamento em diferentes ambientes (CRUZ *et al.*, 2004).

Capítulo I

O capítulo 1, foi publicado na forma de artigo no periódico *Ciência Rural*, Santa Maria, v.50:1, e20190087, 2020.

3. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE *Coffea canephora* NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

RESUMO

O desenvolvimento de novas cultivares de *Coffea canephora* fundamenta-se na caracterização do comportamento diferenciado dos clones em diferentes locais de cultivo. O objetivo no trabalho foi estudar a interação genótipo x ambientes visando selecionar clones de adaptação ampla e específica à diferentes ambientes da Amazônia Ocidental. Doze clones com características híbridas das variedades botânicas Conilon e Robusta e quatro clones provenientes de polinização aberta tiveram seu desempenho avaliado em comparação com quatro testemunhas. Os métodos utilizados para quantificar a interação genótipo x ambientes foram o estimador não paramétrico de Lin & Binns e a dispersão do método centroide. A análise de variância indicou que os efeitos de genótipos, de ambiente e da interação G x A foram significativos ($p < 0,01$). O índice de qualidade ambiental (Ij) permitiu classificar três ambientes favoráveis em relação a sua contribuição para o desempenho das plantas. Os genótipos híbridos 16, 10, 13, 9 e 14 apresentaram menores índices de Pi, tendo sido ranqueados como mais estáveis, apresentando produtividade média superior ao desempenho das testemunhas. Cinco clones de baixa adaptabilidade, sete clones de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e dois clones de ampla adaptabilidade foram identificados interpretando a dispersão no plano do método centroide.

Palavras-chave: interação G x A; progresso genético; *Coffea* spp.

ABSTRACT

The development of *Coffea canephora* cultivars is based on the characterization of genotype × environment interaction, which is interpreted to quantify the differential behavior of clones at different cultivation sites. The objective of this research was to study the genotype x environment interaction aiming to select clones of broad and specific adaptation to different environments of the Western Amazon. Twelve clones with hybrid

characteristics of the botanical varieties Conilon and Robusta and four open pollinated clones, had their performance evaluated in comparison with four controls. The genotype $\times$ environment interaction was interpreted based on the environmental quality index, the nonparametric estimator of Lin and Binns, 1988 and on the dispersion of the centroid method. Effects of the genotypes, environment, and genotype $\times$ environment interaction were all significant ($p < 0.01$). The environmental quality index (Ij) classified three environments as favorable for coffee production. In terms of the Lin and Binn's estimator (Pi), hybrid genotypes 16, 10, 13, 09 and 14 presented lower Pi indices than others, and were classified as being more stable. Five clones of low adaptability, seven clones of specific adaptability to favorable or unfavorable environments and two clones of broad adaptability to all environments were identified interpreting the dispersion of the centroid method.

Key-words : G $\times$ E interaction; genetic progress; *Coffee*;

3.1. INTRODUÇÃO

A espécie *Coffea canephora* é alógama, autoincompatível, originária de regiões de baixas altitudes do continente africano, que apresenta duas variedades botânicas cultivadas comercialmente (SOUZA *et al.*, 2015). A variedade botânica Conilon se caracteriza por apresentar plantas de menor porte, tolerantes ao déficit hídrico e susceptíveis a ferrugem alaranjada, e a variedade botânica Robusta é caracterizada pelo crescimento ereto, frutos de maior tamanho, maior tolerância à ferrugem alaranjada e menor tolerância ao déficit hídrico. (SOUZA *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2015a).

O vigor do híbrido que se manifesta a partir da hibridação entre matrizes geneticamente divergentes é uma característica dessa espécie (OLIVEIRA *et al.*, 2018; MONTAGNON *et al.* 2008; ROCHA *et al.*, 2014). No ano de 2004 foram realizadas na Embrapa Rondônia hibridações direcionadas entre matrizes da variedade botânica Conilon e da variedade botânica Robusta, visando a obtenção de plantas que associem as melhores características das variedades botânicas à expressão do vigor do híbrido (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A partir desse recurso genético foram selecionados os melhores genótipos para serem avaliados em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental.

Outros trabalhos relataram à ocorrência de interação genótipos $\times$ ambientes (G $\times$ A) na avaliação de genótipos de *C. canephora*. Interações G $\times$ A significativas foram observadas por Montagnon *et al.* (2000) na avaliação de clones híbridos de *C. canephora* em nove ambientes da Costa do Marfim. Ferrão *et al.* (2008) também observaram efeitos significativos da interação

genótipo x ambiente na avaliação de clones da variedade botânica Conilon em dois municípios do Estado do Espírito Santo. Barbosa *et al.* (2014) verificaram que clones de ciclo precoce e intermediário apresentaram desempenho inferior no Estado do Rio de Janeiro em comparação com avaliações realizadas no estado do Espírito Santo (Bragança *et al.*, 2001).

Na seleção de plantas a identificação de genótipos que apresentem adaptabilidade ampla e específica permite explorar o efeito da interação genótipo x ambientes (DUARTE e VENCOSKY, 1999). Métodos baseados em estatística multivariada têm permitido interpretar a adaptabilidade e estabilidade de um elevado número de genótipos, classificando-os conforme o desempenho nos ambientes (ROCHA *et al.*, 2005). No método centroide os resultados são interpretados em uma dispersão gráfica a partir da comparação com ideótipos, referências ideais de comportamento conhecido que representam desempenhos máximos, mínimos e médios dos genótipos nos ambientes avaliados (ROCHA *et al.*, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2009).

Metodologias não paramétricas como Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992) também tem sido amplamente utilizadas para identificar genótipos de adaptabilidade ampla ou específica. A decomposição do estimador Lin e Binns facilita a interpretação dos resultados e fornece subsídios para a recomendação de genótipos a ambientes favoráveis e desfavoráveis a cultivo (CARNEIRO, 1998).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar a interação genótipos x ambientes na produção de café beneficiado de clones híbridos de *C. canephora* avaliados em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Material genético

Tabela 1- Progenies híbridas obtidas a partir da hibridação entre matrizes das variedades botânicas Conilon e Robusta. Ouro Preto do Oeste, RO, 2004.

Família	Genitores
1	Robusta 640 x Cpafró 199
2	Robusta 640 x Cpafró 194
3	Cpafró 199 x Cpafró 121
4	Encapa 03 x Robusta 640
5	Encapa 03 x Cpafró 121
6	Encapa 03 x Cpafró 194
7	Encapa 03 x Robusta 1675
8	Encapa 03 x Robusta 2258
9	Robusta 1675 x Cpafró 194

3.2.2 Ensaios de competição clonal

Nos meses de dezembro de 2012 e janeiro de 2013 foram instalados cinco ensaios de competição clonal em diferentes locais da Amazônia Ocidental, descritos a seguir:

Ensaio nº1 (Ouro Preto do Oeste – RO). Ensaio conduzido no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, nas coordenadas 10°43'55.3"S e 62°15'23.2"W e 245 metros de altitude. O clima do município é do tipo “Aw” pela classificação Köppen, definido como tropical úmido com período de estiagem durante o inverno e chuvoso durante o verão. A temperatura anual varia de 21,2 °C a 30,3 °C, as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de julho e agosto. A precipitação anual é de 1.939 mm e a umidade relativa média do ar de 81% (SEDAM, 2012).

Ensaio nº2 (Porto Velho – RO). Experimento avaliado no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, com coordenadas 8°48'05.5"S e 63°51'02.7"W, a 88 m de altitude. O clima predominante da região é tropical chuvoso com inverno seco, tipo “Am” (Köppen), com temperatura média de 26,0 °C e precipitação média anual de 2095 mm. O mês de setembro compreende ao mês mais quente do ano (27,1 °C), e maio o mês mais frio (24,9 °C) (SEDAM, 2012).

Ensaio nº3 (Ariquemes – RO). O ensaio foi conduzido no Instituto Federal de Rondônia, Campus Ariquemes. As coordenadas locais são 9°57'09,8"S e 62°56'53,7"W, a 128 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo “Aw” (Köppen), com estação seca bem definida, compreendida entre junho e agosto. A deficiência hídrica varia de 200 a 300 mm ano⁻¹. E a precipitação média anual 2181 mm. A temperatura média ao longo do ano situa-se próximo aos 25,4 °C. Sendo setembro o mês mais quente e julho o mais seco (SEDAM, 2012).

Ensaios nº4 e nº5 (Rio Branco – AC). Foram conduzidos dois ensaios na Embrapa Acre, um ensaio com irrigação e outro não irrigado. As coordenadas locais são 10° 1'30.98"S, 67°42'21.77"O, a 180 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo “Aw” (Köppen), com estação seca bem definida, compreendida entre junho e agosto. A deficiência hídrica varia de 50 a 100 mm.ano⁻¹. E a precipitação média anual 1998 mm. A temperatura média ao longo do ano situa-se próximo aos 24,9 °C. Sendo outubro o mês mais quente e julho o mais seco (INMET, 1992).

As práticas de manejo de solo, nutricionais, culturais e fitossanitárias foram realizadas de acordo com as recomendações do Sistema de Produção para o cultivo de café em Rondônia (MARCOLAN *et al.*, 2009).

3.2.3 Experimentação

Na composição dos ensaios foram utilizados 12 clones híbridos previamente selecionados que apresentaram produtividade média acima de 70 sacas ha⁻¹, resistência a ferrugem alaranjada e maior vigor. Complementarmente foram utilizados 3 clones com características predominantes da variedade botânica Conilon.

Tabela 2 – Relação dos clones avaliados em ensaios de competição instalados em cinco locais da Amazônia Ocidental.

Tratamentos	Genótipos	Origem
1	BRS Ouro Preto- 125	Testemunha
2	BRS Ouro Preto -160	Testemunha
3	BRS Ouro Preto -120	Testemunha
4	BRS Ouro Preto -199	Testemunha
5	Clone 453	Introdução de Germoplasma
6	Clone 657	Introdução de Germoplasma
7	Clone 636	Introdução de Germoplasma
8	Híbrido 193	Introdução de Germoplasma
9	Híbrido 9	Encapa 03 x Robusta 640
10	Híbrido 10	Encapa 03 x Robusta 2258
11	Híbrido 11	Encapa 03 x Cpafo 194
12	Híbrido 12	Encapa 03 x Robusta 2258
13	Híbrido 13	Encapa 03 x Robusta 2258
14	Híbrido 14	Encapa 03 x Robusta 640
15	Híbrido 15	Encapa 03 x Robusta 2258
16	Híbrido 16	Encapa03 x Robusta 1675
17	Híbrido 17	Encapa 03 x Robusta 1675
18	Híbrido 18	Robusta 640 x Cpafo 194
19	Híbrido 19	Robusta 1675 x Cpafo 194
20	Híbrido 20	Encapa 03 x Robusta 1675

Como testemunhas foram utilizados 4 clones que compõem a cultivar adaptada as condições tropicais e de baixa altitude, Conilon cv. BRS Ouro Preto (Tabela 2). De forma que os 20 tratamentos foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, em três repetições com quatro plantas, em espaçamento de 3 x 1,5 metros.

Para se estimar a produtividade de grãos em sacas de café beneficiado por hectare durante as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17, cada parcela foi colhida e pesada em balança analítica. Posteriormente, foram coletadas amostras de três quilogramas, que foram secas em terreiro de cimento tipo barcaça até atingirem 13% de umidade, obtendo-se assim o quociente entre o café da roça e o café beneficiado. A produtividade café beneficiado em sacas de 60 kg por hectare foi estimada da seguinte forma: eq.(5)

$$PROD = \frac{\left(\frac{cr}{qp} \right)}{60} * 2.222 * rend \quad (5)$$

Em que: *PROD* é a produtividade de café em sacas por hectare; *cr* é produção de café da roça por parcela; *qp* é o número de plantas da parcela; 2.222 refere-se ao número de plantas por hectare; *rend* é a relação entre o café beneficiado e o café da roça expresso em decimal; 60 corresponde ao peso em quilogramas de uma saca de café beneficiado.

3.2.4 Quantificação da interação genótipos x ambientes

A significância do efeito de clones em cada ambiente na produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹) foi testada de individualmente nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17, de acordo com o modelo descrito por CRUZ, 2004: eq.(6)

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_j + E_{ijk} \quad (6)$$

Em que: Y_{ijk} refere-se à observação do i-ésimo genótipo, no j-ésimo bloco e na k-ésima repetição; m é a média experimental; G_i é o efeito do i-ésimo genótipo (clone); B_j é o efeito do j-ésimo bloco e E_{ijk} é o erro experimental que incide sobre todas as observações do experimento.

Verificada homogeneidade das variâncias residuais, foi realizada análise de variância conjunta para quantificação do efeito da interação G x A, conforme modelo descrito por CRUZ, 2004: eq.(7)

$$Y_{ijk} = m + G_i + B / A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk} \quad (7)$$

Em que Y_{ijk} refere-se à observação do i-ésimo genótipo, no k-ésimo bloco, no j-ésimo ambiente; m é a média experimental; G_i é o efeito do i-ésimo genótipo (clone); B / A_{jk} é o efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente; A_j é o efeito do j-ésimo ambiente; GA_{ij} é o efeito da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo ambiente e E_{ijk} é o erro experimental. O efeito de genótipos foi considerado de natureza aleatória e o efeito de ambientes de natureza fixa.

Para quantificar a contribuição dos ambientes no desempenho dos genótipos foi interpretado índice de qualidade ambiental (I_j), estimado a partir da expressão (EBERHART e RUSSEL, 1966): eq.(8)

$$I_j = \bar{y}_j - \bar{y} \quad (8)$$

Em que I_j é o índice de classificação ambiental; $\bar{y}_j$ é a média geral dos genótipos no j-ésimo ambiente, e $\bar{y}$ é a média geral dos genótipos em todos os ambientes. Esse índice classifica os ambientes que apresentam I_j igual ou superior à zero em favoráveis, e ambientes com I_j negativo em desfavoráveis.

Para quantificação da adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado foi interpretado o estimador proposto por LIN e BINNS (1988): eq.(9)

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n} \quad (9)$$

Sendo P_i = estimativa da estabilidade e adaptabilidade do i-ésimo genótipo; X_{ij} = produtividade do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente; M_j = resposta máxima observada entre todos os genótipos no j-ésimo ambiente; n = número de ambientes. Esse estimador foi interpretado considerando a decomposição de P_i em ambientes favoráveis e desfavoráveis, como proposto por Carneiro (1998).

As estimativas de estabilidade e adaptabilidade do método centróide foram obtidas considerando vetores de dados contendo desempenhos máximos e mínimos dos genótipos em cada ambiente. A partir desses vetores foram obtidas referenciais ideais denominadas de centróides, utilizando dos desempenhos mínimos, médios e máximos dos genótipos nos ambientes favoráveis e desfavoráveis (NASCIMENTO *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2005). Os clones em avaliação foram classificados considerando a distância euclidiana de cada genótipo em relação às referências de comportamento conhecido (centróides), conforme o modelo: eq.(11)

$$D_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - C_{ijk})^2} \quad (11)$$

Em que: D_{ik} é a distância do i-ésimo genótipo ao k-ésimo centróide ($k = 1, 2, \dots, n$), descritos a seguir: I: Adaptabilidade geral alta (de desempenho máximo em todos os ambientes); II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (de desempenho máximo em ambientes favoráveis e mínimo em desfavoráveis); III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (de desempenho mínimo em ambientes favoráveis e máximo em desfavoráveis); IV: Pouco adaptado (desempenho mínimo em todos os ambientes); V: Alta estabilidade, baixa adaptabilidade (desempenho médio em todos os ambientes); VI: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (de desempenho máximo em ambientes favoráveis e médio em

desfavoráveis); VII: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (de desempenho médio em ambientes favoráveis e máximo em desfavoráveis).

A dispersão no plano foi obtida utilizando a técnica de componentes principais a partir de matriz de médias de produção de café beneficiado nos diferentes ambientes, com dimensão igual ao número de genótipos avaliados, mais sete linhas adicionais correspondentes aos pontos referenciais (HAIR *et al.*, 2009).

3.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

As análises de variância individuais foram interpretadas para quantificar a precisão experimental e a qualidade da condução dos experimentos. As estimativas de herdabilidade (h^2) e do coeficiente de variação experimental (CV_e) indicaram boa condução experimental em todos os ambientes avaliados (Tabela 3).

Tabela 3- Principais estimativas dos experimentos instalados em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, avaliados no período de 2015 a 2017.

Ambientes	I_j	QMtrat	QMerro	Prod. (sacas ha^{-1})	h^2	$CV_e(\%)$
Ouro Preto do Oeste – RO	I_{j+}	1029,12**	154,28	50,54	0,85	24,58
Porto Velho – RO	I_{j-}	1354,88**	78,46	44,82	0,94	19,76
Ariquemes – RO	I_{j-}	299,34**	35,84	21,33	0,88	28,07
Rio Branco (irrigado) - AC	I_{j+}	736,29**	48,6	54,4	0,93	12,81
Rio Branco (não irrigado) - AC	I_{j+}	723,12**	37,4	54,41	0,94	11,23

(1) Identificação dos Ambientes, do período de avaliação, do índice de qualidade ambiental (I_j), dos quadrados médios dos tratamentos (QMtrat) e do erro (QMerro), da produtividade média (Prod), da herdabilidade (h^2) e do coeficiente de variação ambiental (CV_e). ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A relação entre a maior e a menor variância observada nos municípios de Ouro Preto do Oeste - RO e Ariquemes – RO foi de 4,3, indicando homogeneidade entre as variâncias de acordo com o teste de Bartlett (CRUZ, 2004).

O índice de qualidade ambiental (I_j) foi interpretado visando classificar os ambientes em relação a sua contribuição no desempenho das plantas (SCHMILDT *et al.*, 2011). Os ambientes de Ouro Preto do Oeste e Rio Branco apresentaram média de produtividade superior a 50 sacas ha^{-1} e foram classificados como favoráveis para produção de café (Tabela 3). Os ambientes de Ariquemes e Porto Velho, que apresentaram produtividades médias de 21,33 e 44,82 sacas ha^{-1} , foram classificados como desfavoráveis (I_j negativo). A maior acidez efetiva com baixa saturação por bases, associada a não utilização de irrigação suplementar nesses ambientes, contribuíram para uma menor produtividade. Segundo o zoneamento de solo e clima

para o Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2002), os municípios de Ariquemes e Porto Velho apresentam condições edafoclimáticas marginais para produção de café, fazendo-se necessário o emprego de irrigação suplementar no período de estiagem da região (MENDES & MARCOLAN, 2015; ESPINDULA *et al.*, 2017).

A análise de variância conjunta indicou que o efeito de genótipos (clones), de ambiente e da interação G x A foram significativos, de acordo com o teste F ($p < 0,01$) (Tabela 4). O efeito significativo da interação G x A indica que os clones apresentaram desempenho diferenciado nos ambientes avaliados, ou seja, os clones não mantiveram seu desempenho relativo nas condições de solo e clima dos ambientes avaliados.

Tabela 4- Resumo da análise de variância da produtividade média de café beneficiado de três colheitas avaliada em cinco locais da Amazônia Ocidental.

FV	GL	SQ	QM	F
Blocos/Ambientes	10	2805,83	280,58	
Clones	19	59617,1	3137,74	12,48**
Ambientes	4	46088,6	11522,1	21,8**
Clones x Ambientes	76	19095,1	251,25	3,54**
Resíduo	190	13473,8	70,91	
Total	299	141080		
Média	45,1			
CVe(%)	18,67			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: Soma de quadrados, QM: quadrado médio, F: teste F da análise de variância, CVe(%): coeficiente de variação experimental.

Segundo Montagnon *et al.*, 2000 em solos ácidos, o grau de saturação por bases foi um dos fatores que mais influenciaram no desempenho dos clones cultivados em diferentes ambientes da Costa do Marfim. (MONTAGNON *et al.*, 2000). Significância para os efeitos de interação genótipos x ambientes também foram observados por Ferrão *et al.* (2008) na avaliação de 40 genótipos de café Conilon em ambientes de baixa altitude da região Sudeste do Brasil. Linhagens da espécie *Coffea arabica* também apresentaram mudanças em seu desempenho relativo em diferentes ambientes do continente africano (DEMISSIE *et al.*, 2011; BEKSISA *et al.*, 2018).

A interação GxA limita a recomendação de clones de ampla adaptabilidade, uma vez que a interação se caracteriza pela mudança relativa no desempenho dos genótipos em diferentes ambientes (CRUZ, 2004). De forma que na seleção de plantas, considera-se a identificação de clones de adaptabilidade ampla e de adaptabilidade específica, que associados a características previsíveis do ambiente permitem maximizar os ganhos a serem obtidos com a seleção de plantas (CRUZ *et al.*, 2012; RESENDE, 2002).

O componente de variância genotípico apresentou maior contribuição para a variância total do experimento em comparação com o componente de variância da interação GxA e com a variância residual (Tabela 5).

Tabela 5- Parâmetros genéticos e ambientais da produtividade de café, média de três anos, avaliados em 5 locais da Amazônia Ocidental.

Parâmetros genéticos	Produção de café beneficiado (sacas ha⁻¹)
Componente da variância genotípica	192,43
Componente da variância G x A	60,11
Variância residual	70,91
Herdabilidade	0,92
Correlação intraclasse	59,5
Coeficiente de variação genético (%)	30,76
Razão CVg/CVe	1,65

CVg: coeficiente de variação genético, CVe: Coeficiente de variação experimental.

A magnitude da razão, entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação experimental (CVg/CVe) foi de 1,65, caracterizando condição favorável para obtenção de ganhos com a seleção de genótipos (MISTRO, 2013). Na avaliação de genótipos de *C. canephora*, de diferentes ciclos de maturação, Rodrigues *et al.* (2012) observaram estimativas de CVg/CVe variando 0,79 a 1,31. Razões de CVg/CVe, análogos foram verificados por Ramalho *et al.*, (2016) e Silva *et al.*, (2018) em avaliações de genótipos de *C. canephora* no estado de Rondônia, com magnitude de 1,72 e 1,5, respectivamente.

Estimativas de herdabilidade (h^2) superiores a 0,80 indicam predominância do componente genotípico na expressão da produção de café beneficiado (RAMALHO *et al.*, 2012; FERRÃO *et al.*, 2008) (Tabela 5). Essas estimativas dependem além dos materiais genéticos, das condições experimentais, do efeito do ambiente e da característica estudada (FALCONER, 1960). Estimativas de herdabilidade variando entre 0,83 e 0,93 foram observadas por Rodrigues *et al.* (2012) na avaliação da produção de café beneficiado em genótipos de *C. canephora* de maturação precoce, intermediário e tardio no Espírito Santo. No mesmo estado, Ferrão *et al.* (2008) também relataram estimativas superiores 0,8. Ramalho *et al.* (2016), Silva *et al.* (2018) e Teixeira *et al.* (2017) observaram magnitudes de 0,94, 0,84 e 0,79, respectivamente, em experimentos conduzidos no estado de Rondônia.

Os genótipos híbridos 16, 10, 13, 9 e 14 apresentaram menores índices de Pi respectivamente (Tabela 6). Estes clones apresentaram produtividade média de 61,5 sacas ha⁻¹ em todos os ambientes, superando o desempenho dos clones testemunhas. Teixeira *et al.* (2017) ao estudar as progênes híbridas em que foram selecionados esses clones observaram

produtividades médias variando de 58,7 e 97,71 sacas ha⁻¹, na média de seis safras.

Tabela 6- Produtividade média de três anos em sacas de café beneficiado por hectare de ensaios de valor de cultivo e uso avaliados em 5 ambientes da Amazônia Ocidental, associados ao ordenamento obtido pelo método de Lin e Binns (1988).

Clones	Genótipos	Med _{clon}	Pi _{geral}	Pi (+)	Pi (-)
1	BRS Ouro Preto- 125	49,86	11	10	12
2	BRS Ouro Preto -160	38,16	14	13	15
3	BRS Ouro Preto -120	27,46	16	18	16
4	BRS Ouro Preto -199	52,87	7	11	3
5	Clone 453	28,26	17	17	17
6	Clone 657	28,69	18	16	19
7	Clone 636	20,21	20	19	20
8	Híbrido 193	44,18	12	12	11
9	Híbrido 09	57,40	4	5	5
10	Híbrido 10	63,59	2	2	4
11	Híbrido 11	40,85	13	14	10
12	Híbrido 12	49,32	10	6	14
13	Híbrido 13	63,06	3	3	2
14	Híbrido 14	54,02	5	7	6
15	Híbrido 15	54,64	6	4	8
16	Híbrido 16	69,45	1	1	1
17	Híbrido 17	37,91	15	15	13
18	Híbrido 18	20,16	19	20	18
19	Híbrido 19	50,57	9	8	9
20	Híbrido 20	51,37	8	9	7

Pi geral: quadrado médio da distância entre a produtividade do clone e a resposta máxima do ambiente, Pi(+); quadrado médio da distância entre a produtividade do clone e a resposta máxima em ambientes favoráveis, Pi(-); quadrado médio da distância entre a produtividade do clone e a resposta máxima em ambientes desfavoráveis.

O clone híbrido 16 apresenta baixas oscilações bienais e alto desempenho produtivo. Atingiu produtividades de 92 e 106,5 sacas ha⁻¹ na terceira safra, no Ouro Preto do Oeste e Porto Velho, e 113,4 e 106,1 sacas ha⁻¹ na segunda safra, em Rio Branco, com e sem a utilização de irrigação, respectivamente. No ensaio não irrigado conduzido no Ariquemes suas produtividades foram de 23,4, 44,2 e 55,5, no primeiro, segundo e terceiro ano de produção, respectivamente. Apesar da menor produtividade do experimento, limitada pela ausência de irrigação e pela acidez do solo, a produtividade média nesse ambiente (41,1 sacas ha⁻¹) foi superior à média experimental e ao desempenho das testemunhas.

As produtividades dos clones foram comparáveis às encontradas por Ramalho *et al.* (2016). Ao estimar o progresso genético com a seleção de quinze genótipos da variedade botânica Conilon, esses autores relataram produtividades variando de 27,7 a 121,4 sacas ha⁻¹

em ensaio preliminar de competição clonal, e de 16,6 a 133,1 sacas ha^{-1} em ensaio final de competição de clones. Clones selecionados pelos próprios produtores apresentaram produtividade média de três safras variando de 76 a 101 sacas de café beneficiado por hectare no município de Nova Brasilândia (ESPINDULA *et al.*, 2017).

Para representação dos genótipos de adaptabilidade geral e de indivíduos de maior adaptabilidade a ambientes favoráveis ou a ambientes desfavoráveis, foi utilizado o método centroide (ROCHA *et al.*, 2005), em que os pontos numerados com algarismos romanos representam referenciais que representam os desempenhos máximos, mínimos e médios nos ambientes classificados como favoráveis ou desfavoráveis (Figura 1).

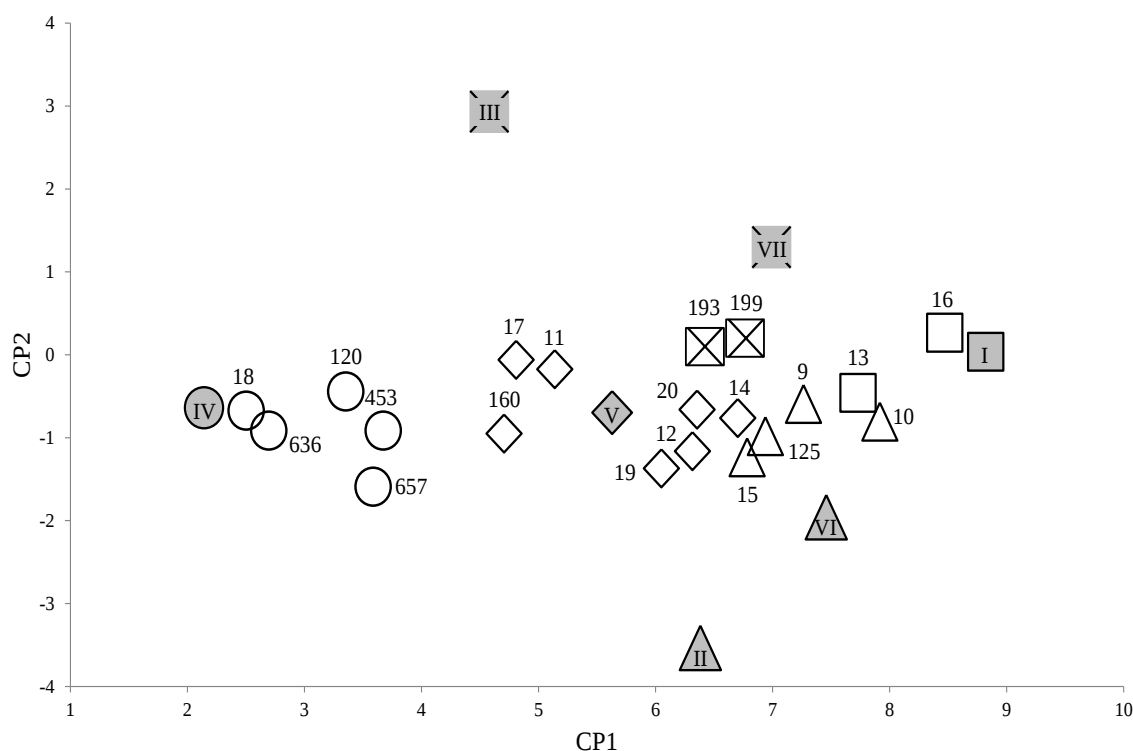


Figura 1- Dois primeiros componentes principais da produtividade média de café beneficiado dos genótipos de *C. canephora*, em 5 locais da Amazônia ocidental. I: Adaptabilidade geral alta; II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV: Pouco adaptado; V: Alta estabilidade, baixa adaptabilidade; VI: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

Na dispersão, os genótipos híbridos 16 e 13 se aproximaram do ideótipo I, que representa a planta ideal de produção máxima em todos os ambientes. Os genótipos híbridos 10, 9, 15 e a testemunha BRS Ouro Preto 125 apresentaram adaptabilidade específica a ambientes favoráveis com classificação semelhante aos ideótipos II e VI, e se caracterizam pelo desempenho máximo nos ambientes favoráveis e desempenho mínimo ou médio nos ambientes desfavoráveis. O genótipo híbrido 193 e o testemunha BRS Ouro Preto 199, apresentaram

adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, enquanto os genótipos híbridos 14, 20, 12 e 19 apresentaram classificação semelhante ao ideótipo V, de desempenho médio em todos os ambientes.

O genótipo 16 apresenta boa adaptabilidade geral com produtividade média em três anos de 69,5 sacas ha⁻¹ em todos os ambientes, de 72,6 em ambientes favoráveis e de 64,8 em ambientes desfavoráveis, que corresponde a um ganho de seleção (GS%) de 53,9, 36,6 e 96,1 %, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7- Estimativas de progresso genético com a seleção dos clones de alta adaptabilidade (I), adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (II) e adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis realizados em negrito.

Parcelas	Clones	VG ₁	VG ₂	VG ₃	GS% ₁	GS% ₂	GS% ₃
1	BRS Ouro Preto 125	49,86	61,02	33,12	10,54	14,87	0,13
2	BRS Ouro Preto 160	38,16	46,70	25,37	-15,39	-12,10	-23,30
3	BRS Ouro Preto 120	27,46	31,77	20,99	-39,12	-40,20	-36,55
4	BRS Ouro Preto 199	52,87	57,70	45,63	17,22	8,62	37,95
5	453	28,26	37,45	14,47	-37,35	-29,50	-56,25
6	657	28,69	41,57	9,38	-36,38	-21,75	-71,64
7	636	20,21	28,28	8,11	-55,18	-46,76	-75,47
8	Híbrido 193	44,18	49,32	36,48	-2,04	-7,16	10,29
9	Híbrido 09	57,40	66,39	43,92	27,27	24,97	32,79
10	Híbrido 10	63,59	74,30	47,51	40,99	39,87	43,65
11	Híbrido 11	40,85	44,91	34,77	-9,43	-15,45	5,12
12	Híbrido 12	49,32	62,07	30,20	9,35	16,84	-8,69
13	Híbrido 13 ^I	63,06	70,54	51,84	39,82	32,79	56,73
14	Híbrido 14	54,03	62,60	41,16	19,79	17,85	24,45
15	Híbrido 15	54,64	66,32	37,13	21,15	24,84	12,25
16	Híbrido 16	69,45	72,56	64,84	53,99	36,58	96,05
17	Híbrido 17	37,91	42,12	31,58	-15,96	-20,71	-4,51
18	Híbrido 18	20,16	25,94	11,49	-55,31	-51,18	-65,26
19	Híbrido 19	50,57	61,78	33,75	12,12	16,30	2,05
20	Híbrido 20	51,38	59,12	39,75	13,91	11,29	20,20
Média		45,10	53,12	33,07			

VG₁: valor genotípico da produtividade de café beneficiado em todos os ambientes, **VG₂**: valor genotípico da produtividade de café beneficiado em ambientes favoráveis, **VG₃**: valor genotípico da produtividade de café beneficiado em ambientes desfavoráveis, **GS%₁**: ganho de seleção em todos os ambientes, **GS%₂**: ganho de seleção em ambientes favoráveis, **GS%₃**: ganho de seleção em ambientes desfavoráveis.

A produtividade média do genótipo 10 que apresenta boa adaptabilidade à ambientes favoráveis foi de 63,6 sacas ha⁻¹ em todos os ambientes, de 74,3 nos ambientes favoráveis e 47,5 em ambientes desfavoráveis, com GS% de 41,0, 40,0 e 43,7%, respectivamente. O genótipo 199 de boa adaptabilidade aos ambientes desfavoráveis apresentou produtividade

média de 52,9 sacas ha⁻¹, em todos os ambientes, 57,7 em ambientes favoráveis e 45,6 em ambientes desfavoráveis, correspondendo a GS% de 17,2, 8,6 e 37,9 respectivamente (Tabela 7). Os demais genótipos se assemelham aos ideótipos V e IV, que obtiveram classificação distante dos ideótipos de adaptabilidade geral e específica, de acordo com o método do centroide e de Linn e Binns (Tabela 7).

Mistro (2013) na seleção de dez genótipos de café Robusta relataram ganho de seleção de 30,32% na avaliação de quatro safras. Ganhos relevantes com a seleção de genótipos superiores de *C. canephora* no estado de Rondônia foram apontados por Ramalho *et al.* (2016), que verificaram ganho médio de 25 sacas ha⁻¹, com seleção de clones da variedade botânica Conilon, e por Silva *et al.* (2018) que aplicando uma intensidade de seleção de 10% em 130 genótipos das variedades botânicas Conilon, Robusta e em híbridos naturais, constatou um progresso genético de 49,88%, resultando em um incremento de 21,23 sacas ha⁻¹ na média de três anos na população de melhoramento.

3.4 CONCLUSÕES

Foi verificada a ocorrência da interação genótipo x ambientes na expressão da característica produção de café beneficiado entre clones de *C. canephora* avaliados em cinco ambientes da Amazônia Ocidental. Foram identificados 5 clones de baixa adaptabilidade, 7 clones de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e 2 clones de ampla adaptação a todos os ambientes avaliados. O clone 16 apresentou boa adaptabilidade geral e os clones 10 e 199 apresentaram adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente. Os métodos Centroide e de Lin e Binns permitiram estimar a adaptabilidade e estabilidade dos clones nos ambientes avaliados.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, D, *et al.* Adaptability and stability of conilon coffee in areas of high altitude, **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v, 13, n, 3, p, 7879-7888, 2014.
- BEKSISA, L, *et al.* Genotype environment interaction and yield stability of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes, **African Journal of Agricultural Research**, v, 13, n, 4, p, 210-219, 2018.
- BRAGANÇA, S, M, *et al.* Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 36, n, 5, p, 765-770, 2001.
- CONAB, **Indicadores agropecuários**: MAPA 2016.
- _____, **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, v, 4– Safra 2017, n,4-Quarto levantamento: 1-84 p. cc, 2018.
- CRUZ, C, D, *et al.* **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. 2004. 480p.

- CRUZ, C, D, et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, v.4, Viçosa: Editora UFV, 2012.
- DEMISSIE, M et al. Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis of Coffee Germplasms from Southern Ethiopia, **SINET: Ethiopian Journal of Science**, v, 34, n, 1, p, 63-70, 2011.
- EBERHART, S, A, & RUSSEL, W, A, Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 01, n. 01, p. 36-40, 1966.
- ESPINDULA, M, C, et al. Café em Rondônia, In: PARTELLI, F, L; GONTIJO, I, (Ed.), **CAFÉ CONILON: Gestão e Manejo com Sustentabilidade**, Alegre, ES: CAUFES, 2017.
- FALCONER, Douglas Scott. **Introduction to quantitative genetics**, Oliver And Boyd; Edinburgh; London, 1960.
- FERRÃO, R, G, et al. Melhoramento genético do *Coffea canephora*, In: FERRÃO, R, G,; FONSECA, A, F, A,; BRAGANÇA, S, M,; FERRÃO, M, A, G,; MUNER, L, H, (Eds.), **Café Conilon**, 2 ed, atual, e ampl, 2a reimpressão - Vitória, ES : Incaper, 2017, 784p.
- FERRÃO, R, G, et al. Parâmetros genéticos em café Conilon, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 43, n, 1, p, 61-69, 2008.
- HAIR, J, R, et al. Análise multivariada de dados. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.
- INMET. **Normais Climatológicas 1961 a 1990**, METEOROLOGIA,, I, N, D, Brasília: INMET 1992.
- LIN, C, S,; BINNS, M, R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p.193-198, 1988.
- MENDES, A, M,; MARCOLAN, A, L. Solos e zoneamento pedoclimático, In: MARCOLAN, A, L, e ESPINDULA, M, C, (Ed.), **Café na Amazonia**, Brasília, DF: Embrapa, 2015.
- MISTRO, J, C. Estimativas de parâmetros genéticos visando o melhoramento do café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A, Froehner), 2013.
- MONTAGNON, C, et al. Genotype-location interactions for *Coffea canephora* yield in the Ivory Coast, **Agronomie**, v, 20, n, 1, p, 101-109, 2000.
- MONTAGNON, C, et al. Heterozygous genotypes are efficient testers for assessing between-population combining ability in the reciprocal recurrent selection of *Coffea canephora*. **Euphytica**, v. 160, n. 1, p. 101-110, 2008.
- NASCIMENTO, M, et al. Adaptability and stability based on nonparametric regression in coffee genotypes, **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v, 45, n, 1, p, 41-48, 2010.
- NASCIMENTO, Moyses et al . Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília , v. 44, n. 3, p. 263-269, Mar. 2009.
- OLIVEIRA, S, J, D, M; ARAUJO, L, V, D. Aspectos econômicos da cafeicultura, In: MARCOLAN, A, L; ESPINDULA, M, C, (Ed.), **Café na Amazônia**, Brasília, DF: Embrapa, 2015.
- OLIVEIRA, L, N, L, de et al. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties Conilon and Robusta for the production of intervarietal hybrids. **Ciência Rural**, v. 48, n. 4, 2018.
- RAMALHO, A, R, et al. Progresso genético da produtividade de café beneficiado com a seleção de clones de cafeeiro 'Conilon', **Revista Ciência Agronômica**, v, 47, n, 3, p, 516-523, 2016.

- RAMALHO, A, R, et al. **Conilon 'BRS Ouro Preto'**, Patente: Cultivar Protegida, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P, E, A, S, Brasil, 21806,000058 2012.
- RAMALHO, M, A, et al. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**, Lavras: UFLA, 2005, 322.
- RAMALHO, M, A, P, et al. **Genética na agropecuária**, 5 edn, Lavras: UFLA, 2012, 565.
- RESENDE, M, D, V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, 975.
- ROCHA, R, B, et al. Utilização do método Centróide para estudo de estabilidade e adaptabilidade ao ambiente, **Ciência Florestal**, v, 15, p, 255-266, 2005.
- ROCHA, R, B, et al. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*, **Ciência Rural**, v, 45, n, 9, p, 1531-1537, 2015b.
- ROCHA, R, B, et al. Caracterização e uso da variabilidade genética de banco ativo de germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 478-485, 2014.
- ROCHA, R, B, et al. Melhoramento de *Coffea canephora* - considerações e metodologias, In: MARCOLAN, A, L, e ESPINDULA, M, C, (Ed.), **Café na Amazônia**, Brasília,DF: Embrapa, 2015a.
- RODRIGUES, W, N, et al. Estimativa de parâmetros genéticos em grupos de clones de café Conilon, **Coffee Science**, v, 7, n, 2, p, 177-186, 2012.
- RONDÔNIA (Estado). Secretaria Estadual de Planejamento. **Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia**. Porto Velho: PLANAFLORO, 2002.
- SANTOS, T, R, S, & DA COSTA SILVA, R, G. Cafeicultura em Rondônia: Circuito Espacial de Produção, Modernização e Subordinação, **Geografia (Londrina)**, v, 26, n, 2, p, 145-163, 2017.
- SCHMILDT, E,R, et al. Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho, **Acta Scientiarum, Agronomy**, v, 33, n, 1, 2011.
- SEDAM. **Boletim Climatológico de Rondônia - Ano 2010**, AMBIENTAL, C,-S, C, D, G, S, D, E, D, D, Porto Velho: COGEO - SEDAM, 12, 2010 2012.
- SILVA, D, O, et al. Genetic progress with selection of *Coffea canephora* clones of superior processed coffee yield. **Ciência Rural**, v. 48, n. 3, 2018.
- TEIXEIRA, A, L, et al. Performance of intraspecific hybrids (Kouillou x Robusta) of *Coffea canephora* Pierre, **African Journal of Agricultural Research**, v, 12, n, 35, p, 2675-2680, 2017.

Capítulo II

O capítulo 2, foi publicado na forma de artigo no periódico *Coffee Science*. eISSN: 1984-3909
Coffee Science, e161911, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25186/v16i.1911>.

4 ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E DESEMPENHO DE CLONES DE *Coffea canephora* CULTIVADOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

RESUMO

A mudança no desempenho de clones cultivados em diferentes ambientes é uma questão importante para o melhoramento de *Coffea canephora*. O objetivo neste estudo foi avaliar o desempenho de clones e a estratificação ambiental de *C. canephora* cultivados na Amazônia Ocidental. Para tanto, considerou-se a produtividade média de três safras agrícolas para avaliar o desempenho de 20 genótipos cultivados em 6 ensaios de competição clonal nos ambientes de: E1: Ouro Preto do Oeste-RO, E2: Porto Velho-RO, E3: Ariquemes -RO, E4 e E5: Rio Branco-AC e E6: Alta Floresta do Oeste-RO. Os ensaios foram conduzidos com espaçamento entre plantas de 3 m × 1,5 m em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições de oito plantas por parcela. A análise combinada indicou significância da interação genótipo × ambiente (G×E) e condições favoráveis para obtenção de ganhos com a seleção. A redução na dimensionalidade estimada a partir das características do clima e do solo indicou que os ambientes de Porto Velho-RO, Rio Branco-AC e Ariquemes-RO são mais semelhantes entre si do que os ambientes de Ouro Preto do Oeste-RO e Alta Floresta-RO, que apresentam maior fertilidade natural do solo e maior altitude. O biplot AMMI1 mostra que os genótipos 16, 10 e 13 tiveram os maiores rendimentos médios, juntamente com maior estabilidade. No gráfico de dispersão AMMI2 (IPCA1×IPCA2), os ambientes E4 e E5 foram agrupados em um mesmo setor. O agrupamento baseado na fração complexa da interação G×E coincidiu com o gráfico de dispersão AMMI2 que agrupou os ambientes E4 e E5 em um único megaambiente. Com exceção desses ambientes, todos os demais se agruparam como locais de diferentes condições de estresse biótico e abiótico. Esse resultado mostra a importância de manter avaliações nesses ambientes, que representam as condições dos cafezais da região.

Palavras-chave: AMMI; interação genótipo x ambiente; melhoramento de plantas;

ABSTRACT

Change in the performance of clones grown in different environments is an important question for *Coffea canephora* breeding. The aim of this study was to evaluate environmental stratification and the performance of *C. canephora* clones grown in the Western Amazon. For that purpose, the mean yield of three crop seasons was considered to evaluate the performance of 20 genotypes grown in 6 clonal competition trials in the environments of: E1: Ouro Preto do Oeste-RO, E2: Porto Velho-RO, E3: Ariquemes-RO, E4 and E5: Rio Branco-AC and E6: Alta Floresta do Oeste-RO. The trials were conducted with a plant spacing of 3 m × 1.5 m in a complete block experimental design, with three replications of eight plants per plot. Combined analysis indicated significance of the genotype × environment (G×E) interaction and favorable conditions to obtain gains from selection. Reduction in the dimensionality estimated from climate and soil characteristics indicated that the environments of Porto Velho-RO, Rio Branco-AC and Ariquemes-RO are more similar to each other than the environments of Ouro Preto do Oeste-RO and Alta Floresta-RO of greater natural soil fertility and higher altitude. The AMMI1 biplot shows that genotypes 16, 10, and 13 had the highest mean yields, together with greater stability. In the AMMI2 scatterplot (IPCA1×IPCA2), the environments E4 and E5 were clustered in the same sector. Clustering based on the complex fraction of the G×E interaction coincided with the AMMI2 scatterplot that clustered the E4 and E5 environments in a single mega-environment. Except for these environments, all the others clustered as locations of different biotic and abiotic stress conditions. This result shows the importance of maintaining evaluations in these environments, which represent the conditions of the coffee fields in the region.

Key-words: AMMI; Genotype × environment; Plant breeding;

4.1 INTRODUÇÃO

A interação genótipo x ambiente (GxA) tem inúmeras implicações no melhoramento de espécies perenes como o cafeeiro *Coffea canephora* (FERRÃO *et al.*, 2008; MORAES *et al.*, 2020; CILAS *et al.*, 2011). A mudança no desempenho dos genótipos cultivados em diferentes ambientes é importante na seleção clonal, que deve ser conduzida em ambientes com diferentes condições climáticas, edáficas e de manejo da cultura, buscando identificar genótipos de adaptabilidades ampla ou específica (CRUZ *et al.*, 2004; GAUCH *et al.*, 2008, MISTRO *et al.*, 2003).

Utilizando diferentes estratégias, métodos de melhoramento consideram uma redução na população original, com a seleção de plantas superiores e um aumento no número de ambientes de cultivo (FERRÃO *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2015a). A realização de testes clonais em diferentes ambientes é uma das etapas mais importantes e também mais onerosas dos programas de melhoramento do cafeeiro, pois considera a instalação, manutenção e avaliação dos experimentos em diferentes locais e por vários anos.

A Amazônia Ocidental é composta pelos estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima, que representa aproximadamente 40% do território da Amazônia Brasileira (DALAZEN *et al.*, 2019). Nessa região o café é cultivado principalmente no estado de Rondônia que produz aproximadamente 90% do café comercializado, que correspondeu no ano de 2020, a dois milhões de sacas de sessenta quilos (CONAB, 2020).

O clima predominante em Rondônia é do tipo Equatorial Quente Úmido com três meses secos (julho-agosto-setembro), apresentando maiores precipitações e uma estação seca menos acentuada em regiões ao norte do estado (ALVARES *et al.*, 2013). Nesses ambientes a cafeicultura é uma atividade realizada em diferentes tipos de solo, com predominância de Latossolos (58%) e Argissolos (11%) de baixa fertilidade natural (SCHLINDWEIN *et al.*, 2012).

Devido a essa diversidade entre os ambientes, é esperada a ocorrência da interação genótipo ambiente do tipo simples e do tipo complexa, que se caracteriza pelo comportamento não coincidente dos clones cultivados em diferentes locais (TEIXEIRA *et al.*, 2020; SPINELLI *et al.*, 2018). Para quantificar o desempenho dos clones em diferentes ambientes foram avaliados no período de 2012 a 2018 seis testes clonais instalados em uma faixa de 8° a 11° de latitude, que correspondem a aproximadamente 260 km no sentido Norte Sul e 62° e 67° de longitude que correspondem a aproximadamente 620 Km no sentido Leste Oeste.

O ambiente de Porto Velho – RO localizado mais ao Norte e de Rio Branco – AC mais a Oeste se caracteriza pela alta pluviosidade e pelos latossolos de baixa fertilidade natural

(SCHLINDWEIN *et al.*, 2012). Os ambientes de Ouro Preto do Oeste e de Ariquemes se caracterizam pela baixa fertilidade de seus latossolos e pela estação seca bem definida no período de julho a setembro. Por sua vez, o município de Alta Floresta do Oeste se caracteriza pela maior altitude, menor temperatura e solos de maior fertilidade natural (ALVARES *et al.*, 2013).

Associado a análise de desempenho dos genótipos, procedimentos de estratificação ambiental permitem verificar se informações avaliadas em diferentes locais são complementares ou redundantes, além de fornecer subsídios para a seleção de plantas (RESENDE *et al.*, 2007; RAMALHO *et al.*, 2016; CARIAS *et al.*, 2016). As análises de estratificação ambiental também permitem inferir sobre a possibilidade de agrupamento de ambientes onde a interação GxA é de natureza simples ou não é significativa (CRUZ *et al.*, 2014; GAUCH *et al.*, 2008).

Nesse contexto, o objetivo neste trabalho foi avaliar a estratificação ambiental e o desempenho de clones de *C. canephora* cultivados na Amazônia Ocidental.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Ensaios de campo

No mês de dezembro de 2012 e janeiro de 2013 foram instalados cinco ensaios finais de competição clonal em locais da Amazônia Ocidental, descritos a seguir:

Teste de competição clonal nº 1 – Experimento instalado no município de Ouro Preto do Oeste conduzido no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, nas coordenadas 10°43'55.3"S e 62°15'23.2"W e 245 metros de altitude. O clima do município é do tipo “Aw” pela classificação Köppen, definido como tropical úmido com período de estiagem durante o inverno e chuvoso durante o verão. A temperatura anual varia de 21,2 °C a 30,3 °C, as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de julho e agosto. A precipitação anual é de 1.939 mm e a umidade relativa média do ar de 81% (SEDAM, 2012). Nesse ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm são pH, 5,20; P, 15,00 mg/dm³; K, 0,23 cmolc/dm³; Ca, 2,42 cmolc/dm³; Mg, 0,66 cmolc/dm³; Al+H, 4,95 cmolc/dm³; Al, 0,10 cmolc/dm³; MO: 18,40 g/kg; e V, 40,00%.

Teste de competição clonal nº 2 - Experimento instalado no município de Porto Velho conduzido no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, com coordenadas 8°48'05.5"S e 63°51'02.7"W, a 88 m de altitude. O clima predominante da região é tropical chuvoso com inverno seco, tipo “Am” (Köppen),

com temperatura média de 26,0 °C e precipitação média anual de 2095 mm. O mês de setembro compreende ao mês mais quente do ano (27,1 °C), e maio o mês mais frio (24,9 °C) (SEDAM, 2012). Nesse ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm são pH, 5,40; P, 2,00 mg/dm³; K, 0,09 cmolc/dm³; Ca, 1,48 cmolc/dm³; Mg, 1,02 cmolc/dm³; Al+H, 13,53 cmolc/dm³; Al, 0,87 cmolc/dm³; MO, 50,90 g/kg; e V, 16,00%.

Teste de competição clonal nº 3 - Experimento instalado no município de Ariquemes conduzido no Instituto Federal de Rondônia, Campus Ariquemes. As coordenadas locais são 9°57'09,8"S e 62°56'53,7"W, a 128 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo "Aw" (Köppen), com estação seca bem definida, compreendida entre junho e agosto. A deficiência hídrica varia de 200 a 300 mm ano⁻¹. E a precipitação média anual 2181 mm. A temperatura média ao longo do ano situa-se próximo aos 25,4 °C. Sendo setembro o mês mais quente e julho o mais seco (SEDAM, 2012). Nesse ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm são pH, 4,40; P, 1,00 mg/dm³; K, 0,04 cmolc/dm³; Ca, 0,29 cmolc/dm³; Mg, 0,10 cmolc/dm³; Al+H, 6,27 cmolc/dm³; Al, 1,26 cmolc/dm³; OM, 16,60 g/kg; e V, 6,00%.

Testes de competição clonal nº 4 e 5 - Experimento instalado no município de Rio Branco foram conduzidos dois ensaios na Embrapa Acre. As coordenadas locais são 10° 1'30.98"S, 67°42'21.77"O, a 180 m de altitude. O clima predominante é o tropical úmido, tipo "Aw" (Köppen), com estação seca bem definida, compreendida entre junho e agosto. A deficiência hídrica varia de 50 a 100 mm.ano⁻¹. E a precipitação média anual 1998 mm. A temperatura média ao longo do ano situa-se próximo aos 24,9 °C. Sendo outubro o mês mais quente e julho o mais seco (INMET, 1992). Nesse ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm são pH, 5,45; P, 3,78 mg/dm³; K, 0,15 cmolc/dm³; Ca, 2,10 cmolc/dm³; Mg, 0,55 cmolc/dm³; Al+H, 1,88 cmolc/dm³; OM, 11,18 g/kg; e V, 59,80%.

Teste de competição clonal nº 6: O ensaio do ambiente de Alta Floresta D'Oeste – RO (A6), foi realizado em uma propriedade particular nas coordenadas 12°08'23.06"S e 61°59'29.41"O a 436 metros acima do nível do mar. A classificação do clima é tropical úmido "Aw" (Köppen). A temperatura média anual é próxima de 23,4°C. A precipitação média anual é de 1783 mm (ALVARES *et al.*, 2013). Nesse ambiente, as características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm são pH, 6,00; P, 24 mg/dm³; K, 0,64 cmolc/dm³; Ca, 8,25 cmolc/dm³; Mg, 0,97 cmolc/dm³; Al+H, 5,45 cmolc/dm³; Al, 0,00 cmolc/dm³; OM, 30,30 g/kg; e V, 64,00%.

Os genótipos avaliados nos testes clonais compreenderam doze clones híbridos de irmãos completos, quatro clones de polinização aberta e quatro clones da cultivar Conilon cv. BRS Ouro Preto utilizados como testemunha (Tabela 8).

Os ensaios de Ouro Preto do Oeste – RO, Alta Floresta do Oeste -RO e um dos ensaios de Rio Branco - AC foram irrigados a partir da primeira florada até o início do período das chuvas, que compreende entre os meses de julho a outubro. Dois ensaios instalados nos ambientes de Ariquemes e de Rio Branco, respectivamente, foram conduzidos em condições de sequeiro.

Tabela 8- Relação dos clones avaliados em ensaios de competição clonal conduzidos em seis ambientes da Amazônia Ocidental no período de 2014 a 2019.

n	Genótipos	Origem	Genealogia
1	BRS Ouro Preto-125	Cultivar BRS Ouro Preto	Polinização aberta
2	BRS Ouro Preto-160	Cultivar BRS Ouro Preto	Polinização aberta
3	BRS Ouro Preto-120	Cultivar BRS Ouro Preto	Polinização aberta
4	BRS2299	Cultivar Embrapa	Polinização aberta
5	Clone 453	Introdução 2001	Polinização aberta
6	Clone 657	Introdução 2001	Polinização aberta
7	Clone 636	Introdução 2001	Polinização aberta
8	BRS3193	Cultivar Embrapa	Polinização aberta
9	Híbrido 9	Teste de progênes	EMCAPA03 x IAC640
10	BRS3210	Cultivar Embrapa	EMCAPA03 x IAC2258
11	Híbrido 11	Teste de progênes	EMCAPA03 x IAC194
12	Híbrido 12	Teste de progênes	EMCAPA03 x IAC2258
13	BRS3213	Cultivar Embrapa	EMCAPA03 x IAC2258
14	BRS2314	Cultivar Embrapa	EMCAPA03 x IAC640
15	Híbrido 15	Teste de progênes	EMCAPA03 x IAC2258
16	BRS1216	Cultivar Embrapa	EMCAPA03 x IAC1675
17	Híbrido 17	Teste de progênes	EMCAPA03 x IAC1675
18	Híbrido 18	Teste de progênes	IAC640 x CPAFRO194
19	Híbrido 19	Teste de progênes	IAC1675 x CPAFRO194
20	BRS3220	Cultivar Embrapa	EMCAPA03 x IAC1675

Genótipos precedidos pelo prefixo BRS foram registrados no MAPA/RNC (2019) (Teixeira et al., 2020), IAC: Instituto Agronômico de Campinas, EMCAPA: Empresa Capixaba de Pesquisa Agrícola, CPAFRO: Centro Agroflorestral de Rondônia.

Os ensaios de competição clonal foram conduzidos em blocos casualizados com três repetições de oito plantas por parcela com dimensões de 3 m × 1,5 m. A restrição de randomização foi realizada em campo para maximizar a homogeneidade dentro de cada bloco. As práticas de manejo de solo, nutrição, cultivo e fitossanidade em cada local de teste foram realizadas de acordo com as recomendações do Sistema de Produção de Café em Rondônia (MARCOLAN *et al.*, 2009). Quatro ensaios receberam irrigação complementar de acordo com a necessidade de cada ambiente desde o primeiro período de floração até o início do período chuvoso, que é de julho a outubro (Tabela 9).

Para se estimar a produtividade de grãos em sacas de café beneficiado por hectare durante as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17, cada parcela foi colhida e pesada em balança analítica, posteriormente, foram coletadas amostras de 3 quilogramas, que foram secas em terreiro de cimento tipo barcaça até atingirem 13% de umidade, obtendo-se assim o quociente entre “café da roça” e café beneficiado.

A produtividade café beneficiado em sacas de 60 kg por hectare foi estimada da seguinte forma:

$$PROD = \frac{\left(\frac{cr}{qp} \right)}{60} * N_{plantas} * rend$$

Em que: *PROD* é a produtividade de café em sacas por hectare; *cr* é produção de café da roça por parcela; *qp* é o número de plantas da parcela; *Nplantas*: refere-se ao número de plantas por hectare; *rend* é a relação entre o café beneficiado e o café da roça expresso em percentual; 60 corresponde ao peso em quilogramas de uma saca de café beneficiado.

4.2.2 Análises estatísticas individuais e índice ambiental.

A significância do efeito de genótipos na produtividade média de três anos (sacas. ha⁻¹) foi testada individualmente em cada ambiente considerando: as estimativas do teste F da análise de variância, o coeficiente de variação experimental e a herdabilidade em cada ambiente. Para quantificar a contribuição dos ambientes no desempenho dos genótipos foi interpretado índice de qualidade ambiental (*I_j*), estimado a partir da expressão:

$$I_j = \bar{y}_j - \bar{y}$$

Em que I_j é o índice de classificação ambiental; $\bar{y}_j$ é a média geral dos genótipos no ambiente j , e $\bar{y}$ é a media geral dos genótipos em todos os ambientes. Este índice permite a classificação de ambientes que apresentam I_j igual ou superior a zero em “favoráveis”, e ambientes com I_j negativo em “desfavoráveis”

4.2.3 Agrupamento dos ambientes: características climáticas e de solo.

Para quantificar a similaridade entre os ambientes, reduzindo a dimensionalidade dos dados, foram estimados autovetores a partir de características climáticas (Temp média (°C), Temp mínima (°C), Temp máxima (°C) e Chuva (mm)) separadamente das características de solo – pH, fósforo (mg/dm³); potássio (cmolc/dm³); Cálcio (cmolc/dm³); Magnésio (cmolc/dm³) relação Al+H, Alumínio (cmolc/dm³), matéria orgânica g/kg e saturação por bases (%) (HAIR *et al.*, 2009). Deste modo a obteve-se a dispersão bidimensional, cujos eixos representaram as variações das características climáticas e das características de solo, em cada um deles.

4.2.4 Análise conjunta e efeito da interação genótipos x ambientes.

Verificada homogeneidade das variâncias residuais, foi realizada análise de variância conjunta para quantificação do efeito da interação GxA da produtividade de café beneficiado (sacas. ha⁻¹), conforme modelo abaixo:

$$Y_{ijk} = m + G_i + B / A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Em que Y_{ijk} se refere à observação k do tratamento i no ambiente j ; m é a média experimental; G_i é o efeito do genótipo i ; B / A_{jk} é o efeito de blocos dentro de ambiente; A_j é o efeito do ambiente j ; GA_{ij} é o efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente j e E_{ijk} é o erro médio. O efeito do genótipo foi interpretado considerando natureza aleatória, e os de ambiente como fixos (CRUZ *et al.*, 2012).

4.2.5 Agrupamento dos genótipos e ambientes.

A análise AMMI segundo Gauch *et al.* (2008) combina em um único modelo componentes aditivos para os principais efeitos do genótipo (g_i) e ambientes (a_j), e componentes multiplicativos para o efeito da interação GA (ge_{ij}). O modelo que descreve o rendimento médio de um genótipo i no ambiente j é dado por::

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{c=1}^q \sqrt{\lambda_c} \alpha_{jc} \gamma_{ic} + \delta_{ij} + e_{ij}$$

Onde Y_{ij} é o escore da produtividade do genótipo i no ambiente j , μ é a média geral; g_i é o efeito do genótipo i ; a_j é o efeito do ambiente j ; λ_k é o k -ésimo valor singular das interações da matriz original (GA); γ_{ik} é o elemento correspondente ao i -ésimo genótipo no k -ésimo vetor singular da coluna da matriz GA; α_{jk} é o elemento correspondente ao j -ésimo ambiente no k -ésimo vetor singular da linha da matriz GA; δ_{ij} é o resíduo não explicado pelos componentes principais; e_{ij} é o erro experimental médio associado à observação, considerado independente e normalmente distribuído $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$. A análise estatística foi realizada usando o software genes (CRUZ, 2016).

Estimativas de correlação de Pearson também foram interpretadas para comparar o desempenho dos genótipos em relação ao desempenho médio de cada ambiente (CRUZ, 2016 ; RESENDE, 2007).

4.2.5 Parte complexa da interação genótipo x ambientes

A parte complexa da interação genótipo x ambientes foi estimada entre pares de ambientes utilizando a relação proposta por Cruz e Castoldi (1991):

$$C = \sqrt{(1 - r)^3 \cdot Q_1 \cdot Q_2}$$

Em que: C: parte complexa da interação genótipos x ambientes; r: coeficiente de correlação das médias nos ambientes 1 e 2. Q_1 : quadrado médio de genótipos no ambiente 1; Q_2 : quadrado médio de genótipos no ambiente 2. As estimativas agrupadas em uma matriz simétrica, quadrada e com as diagonais iguais a zero, foram utilizadas para a obtenção de um diagrama em árvore utilizando UPGMA, de forma a agrupar os ambientes de acordo com a fração complexa da interação GxA. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software GENES (CRUZ, 2016).

4.3 RESULTADOS

As análises individuais foram interpretadas para avaliar a precisão experimental e o efeito de clones em cada ambiente (Tabela 8). As estimativas do índice de qualidade ambiental indicaram que os ambientes de Alta Floresta do Oeste – RO, Rio Branco – RO irrigado e em sequeiro e Ouro Preto do Oeste – RO foram favoráveis para o cultivo do cafeeiro, com produtividades médias de 77,50, 55,49, 55,39 e 55,50 sacas por hectare, respectivamente (Tabela 9). O ambiente favorável de Alta Floresta apresenta maior altitude, menor acidez do solo e maior saturação por bases, de um Argissolo Vermelho Eutrófico.

Os ambientes de Porto Velho – RO e Ariquemes – RO foram classificados como desfavoráveis para a produção do café (Tabela 9). O ensaio clonal do ambiente de Ariquemes

– RO conduzido em sequeiro, resultou na menor produtividade média de três anos de todos os ambientes (21,16 sacas.ha⁻¹).

As estimativas do teste F do efeito de clones em cada ambiente foram significativas a 1% de probabilidade, indicando a importância desse efeito para a produtividade do café (Tabela 9). As altas estimativas de herdabilidade (amplitude de 0,85 a 0,95) também indicaram a destacada contribuição do efeito de clones para a expressão dessa característica.

As estimativas do coeficiente de variação apresentaram amplitude de 11,11%, observada no ambiente de Rio Branco – AC, a 26,54% no ambiente de Ariquemes – RO. Mesmo considerando a maior estimativa observada no ambiente não irrigado de Ariquemes, a precisão experimental foi de magnitude semelhante à observada em outros trabalhos (MARTINS *et al.*, 2019, MONTAGNON *et al.*, 2003). A relação de 2,43 entre a menor e maior estimativa de variância do resíduo obtidas entre esses ambientes indicou existir homogeneidade de variâncias, atendendo, portanto, uma das pressuposições para a análise conjunta (CRUZ *et al.*, 2014).

Tabela 9- Resumo das análises individuais e conjunta de seis ensaios de competição clonal avaliados em cinco ambientes da Amazônia Ocidental no período de 2014 a 2019.

Análises individuais						
Ambiente	Produção	I _j	CVe	F [#]	h ²	
A1 - Ouro Preto do Oeste ¹	50,55	3,96	24,57	6,67**	0,85	
A2 - Porto Velho ¹	44,81	-6,78	19,88	17,20**	0,94	
A3 - Ariquemes ²	21,32	-30,43	26,54	9,40**	0,89	
A4 - Rio Branco ¹	54,49	3,9	11,8	21,09**	0,93	
A5 - Rio Branco ²	54,39	3,46	11,11	21,67**	0,94	
A6 - Alta Floresta do Oeste ¹	77,5	25,91	14,18	12,23**	0,92	
Análise Conjunta						
Todos ambientes	Produção	CVg	CVe	F ^{\$}	h ²	
A1, A2, A3, A4, A5, A6	50,76	30,34	17,36	3,45**	0,94	

Produção: produtividade média de três anos, I_j: índice de qualidade ambiental, CVe: coeficiente de variação experimental, F[#]: teste F da análise de variância que testa o efeito de clones (genótipos), h²: herdabilidade média em cada ambiente. CVg: coeficiente de variação genético, F^{\$}: teste F da análise de variância que testa o efeito da interação genótipo x ambientes, h²: herdabilidade média da análise conjunta. ¹Ensaio conduzido utilizando irrigação, ²Ensaio conduzido em condições de sequeiro.

A análise de variância conjunta indicou que os efeitos de genótipos (G), de ambientes (E) e da interação G × E foram significativos de acordo com o teste F (p < 0,01) (Tabela 9).

A significância da interação $G \times E$ mostrou que os clones apresentaram diferentes desempenhos nos ambientes avaliados. A média geral de todos os ensaios foi de 50,76 sacas. ha^{-1} , com amplitude de 21,16 sacas. ha^{-1} no município de Ariquemes–RO, a 77,5 sacas. ha^{-1} no município de Alta Floresta D'Oeste–RO.

A estimativa do coeficiente de variação experimental ($CV_e=17,36$) está associada a uma boa precisão experimental. As estimativas de herdabilidade ($h^2=94,07$) e da relação entre os coeficientes de variação genético e experimental ($CV_g/CV_e=1,74$) indicam importância do componente genotípico para a expressão dessa característica, associada à condição favorável para obtenção de ganho com a seleção.

A redução na dimensionalidade obtida a partir de autovetores estimados utilizando características climáticas e de solo indicou que os ambientes de Porto Velho – RO, Rio Branco – AC e Ariquemes – RO são mais similares do que os ambientes de Ouro Preto do Oeste – RO e Alta Floresta D'Oeste – RO, que se diferenciam pela maior fertilidade natural do solo e maior altitude (Figura 2).

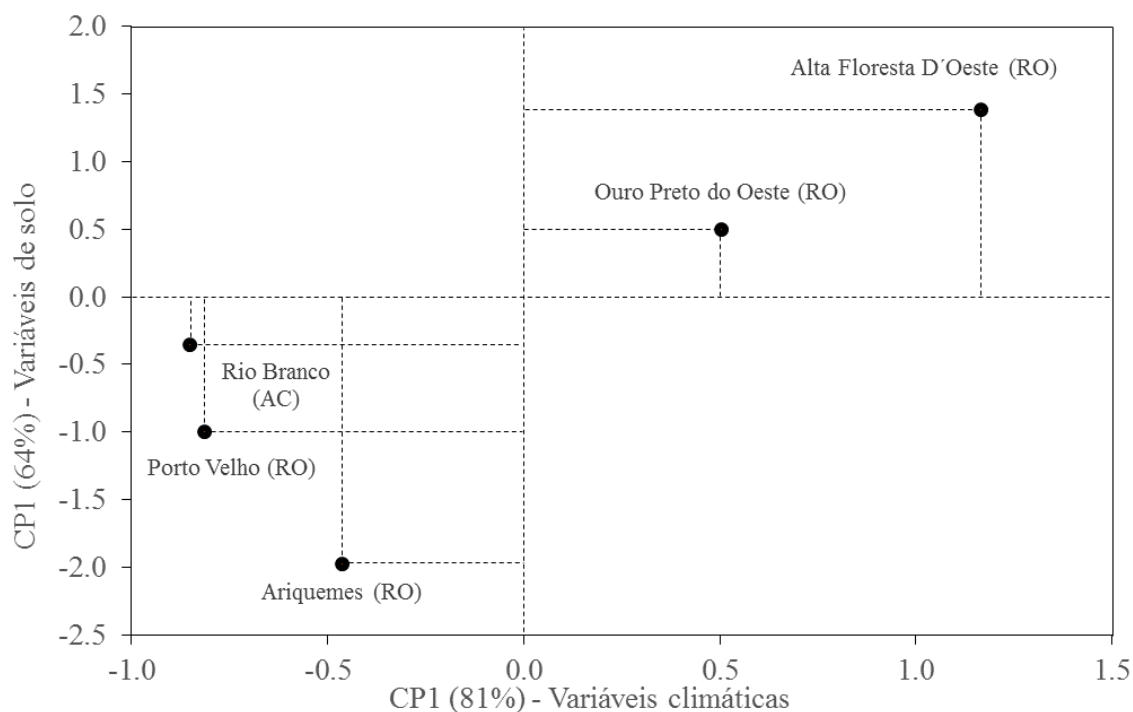


Figura 2- Dispersão no plano entre o primeiro componente principal estimado a partir de variáveis de solo (64%) e do primeiro componente principal estimado a partir de variáveis climáticas (81%) de cinco ambientes da Amazônia Ocidental.

O biplot AMMI1 mostra que os genótipos 16, 10 e 13 apresentaram as maiores produtividades médias e baixos valores no eixo do IPCA1 sendo que o genótipo 13 apresentou os menores valores nesse eixo.

A previsibilidade no comportamento desses genótipos também pode ser verificada pelas estimativas de correlação entre o seu desempenho e o desempenho médio dos ensaios conduzidos nos diferentes ambientes ($r_{16.\bar{x}} = 0,92$, $r_{13.\bar{x}} = 0,91$, $r_{10.\bar{x}} = 0,96$). Os genótipos 14, 1, 20, 15 e 12 apresentam produtividade superior à média dos experimentos, associada a uma alta estabilidade. Enquanto os genótipos 4, 19, 9 apresentaram alta produtividade associada a uma menor estabilidade. Por sua vez os genótipos 2, 3 e 17 apresentaram estabilidade de comportamento associado a uma menor produtividade. E os genótipos 18, 7, 6, 5 e 11 apresentaram baixa produtividade e baixa estabilidade.

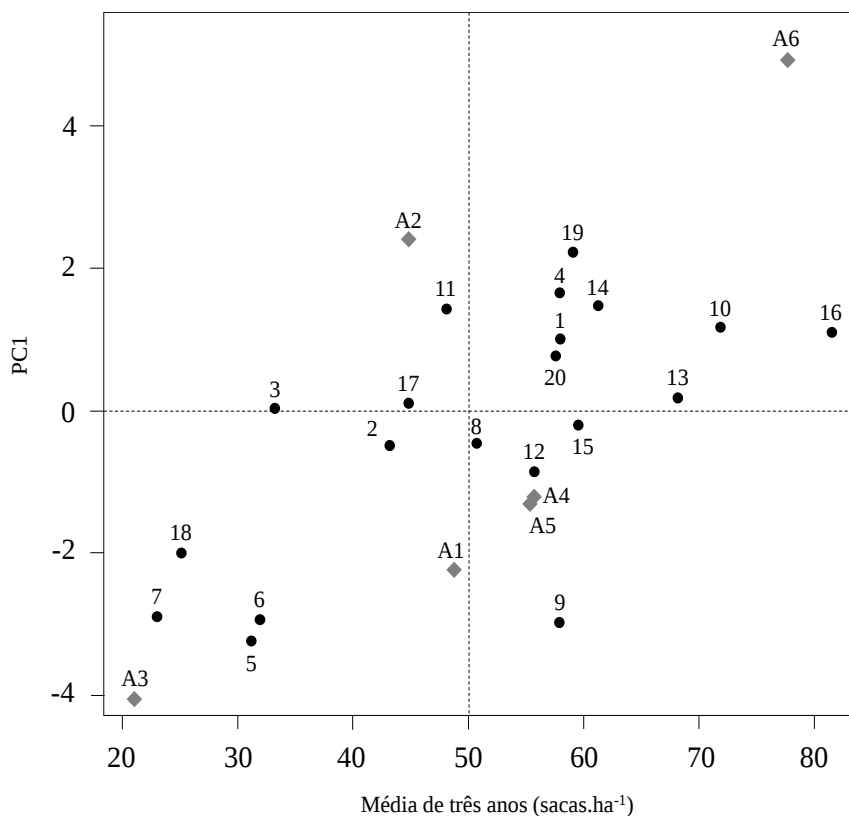


Figura 2. Dispersão no plano estimada utilizando o método AMMI para avaliação do desempenho produtivo de 20 genótipos cultivados em seis ambientes da Amazônia Ocidental, no período de 2014 a 2019. A identificação dos genótipos e dos ambientes com seus respectivos números de referência estão mostrados na Tabela 8.

O ambiente favorável de Alta Floresta D'Oeste – RO (A6) se posicionou mais próximo dos genótipos 16, 13 e 10 e mais distante dos outros ambientes. Genótipos de maior proximidade a determinados ambientes apresentam maior estabilidade específica a esses locais (GAUCH *et al.*, 2008).

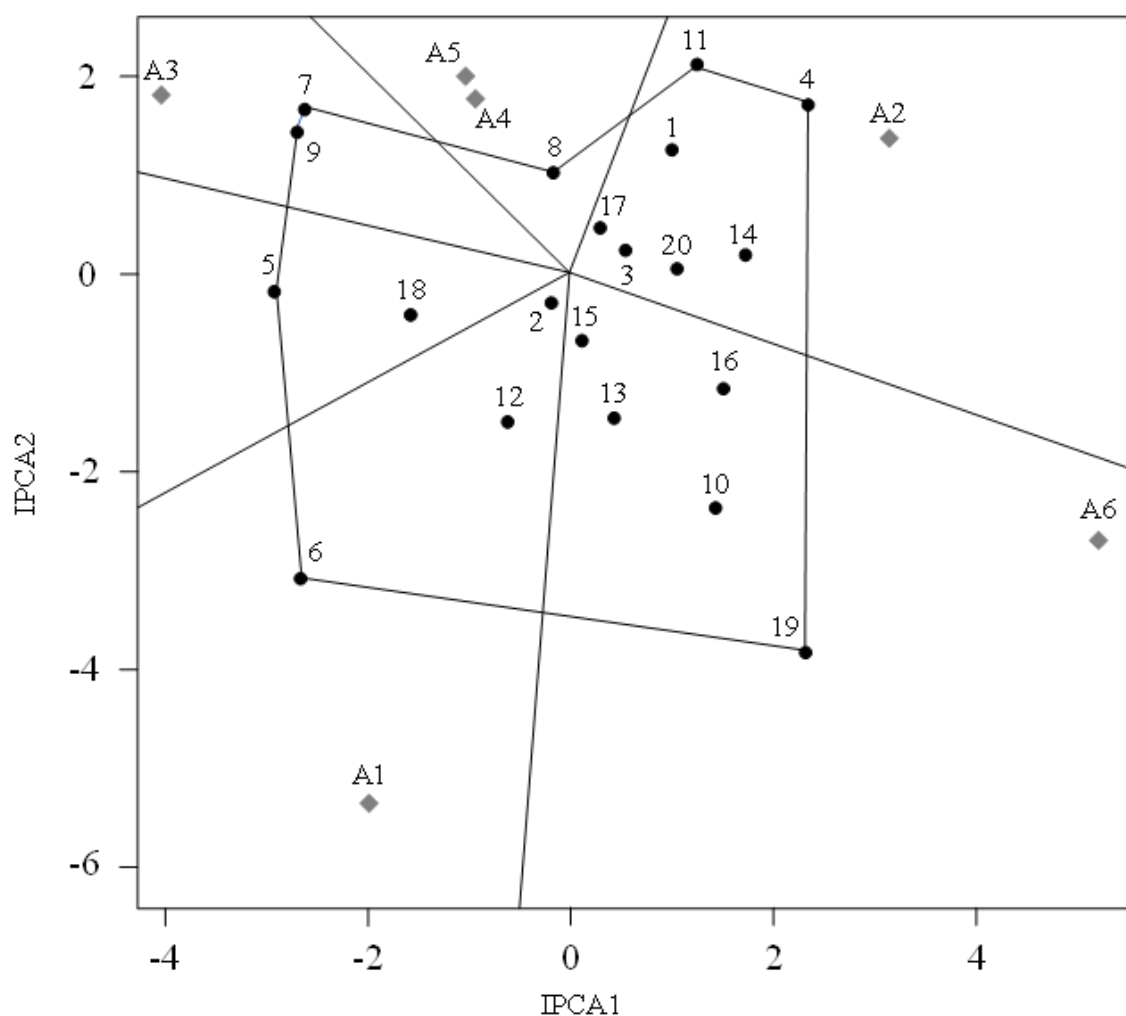


Figura 3. Dispersão obtida a partir do primeiro e do segundo componentes principais estimados utilizando o método AMMI para avaliação do desempenho produtivo de 20 genótipos cultivados em seis ambientes da Amazônia Ocidental, no período de 2014 a 2019. Ambientes localizados em um mesmo setor delimitado pelas linhas contínuas estão agrupados em um mesmo grupo.

Na dispersão AMMI2 (IPCA1 x IPCA2) o mega ambiente é definido pelo agrupamento de dois ou mais ambientes em um mesmo setor, delimitado pelas linhas que se originam do centro da dispersão (Figura 3). Nesse biplot apenas os ambientes A4 e A5 ficaram agrupados em um mesmo setor. Os genótipos 16, 10, 13 e 15 apresentaram adaptação específica ao melhor ambiente, Alta Floresta D'Oeste.

O diagrama em árvore estimado a partir da matriz da fração complexa da interação GA entre pares de ambientes também foi utilizado para agrupar os ambientes que apresentam condições semelhantes de estresses bióticos e abióticos, complementando a definição de mega ambientes. O ponto de corte estabelecido na posição de maior divergência entre os ambientes coincide com o agrupamento da dispersão AMMI que agrupou os ambientes A4 e A5 do município de Rio Branco em um mesmo mega ambiente. O agrupamento hierárquico mostrou

que os ambientes A3, A2, A6 e A1 representam os ambientes mais divergentes ao agrupamento formado por A4 e A5.

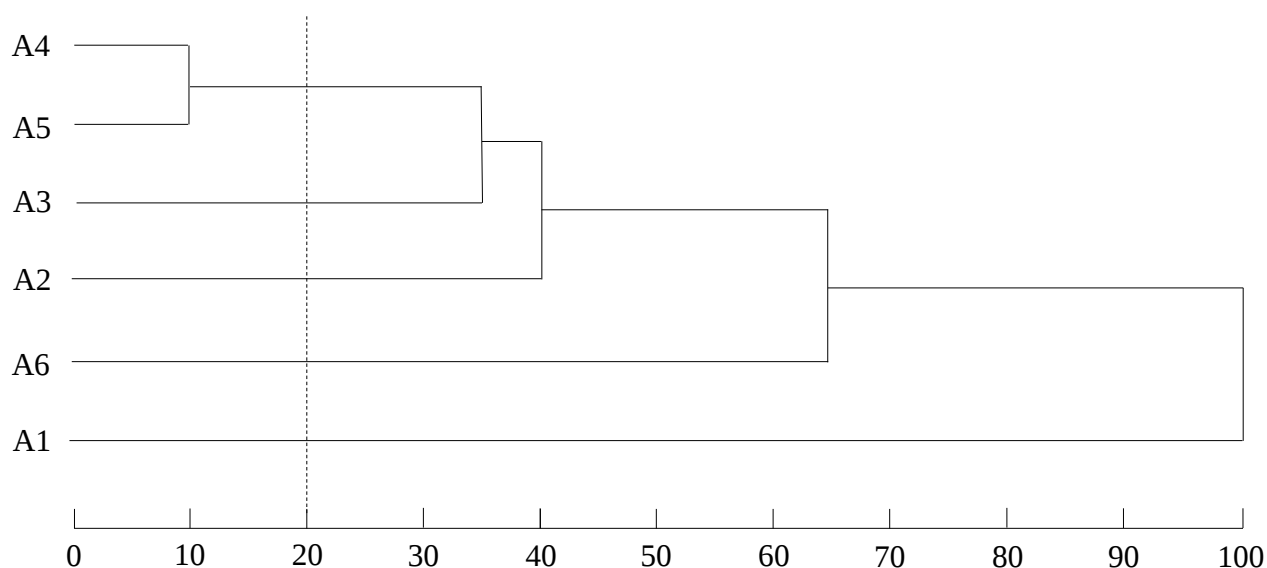


Figura 4-Dendrograma representando a dissimilaridade dos ambientes estimado utilizando o algoritmo do UPGMA a partir da matriz contendo a parte complexa da interação G x A. O ponto de corte foi estabelecido no agrupamento de maior divergência entre os ambientes.

4.4 DISCUSSÃO

Avaliações em vários locais e por vários anos fazem do desenvolvimento de novas cultivares do cafeeiro *C. canephora*, um processo oneroso e demorado. Esse trabalho detalha o comportamento de clones cultivados na Amazônia Ocidental, ao considerar o desempenho das plantas em ambientes contrastantes, tais como o ensaio sem irrigação complementar, instalado no município de Ariquemes – RO e, o ensaio em condições de maior altitude e maior fertilidade natural, instalado em Alta Floresta D'Oeste – RO. Moraes *et al.*, 2020 ao avaliar o desempenho dos genótipos previamente ao seu registro no Ministério da Agricultura (MAPA/RNC, 2019), em um menor número de ambientes, também classificaram que os ambientes de Ariquemes e Porto Velho como desfavoráveis para a produção de café.

Os ambientes de Ariquemes – RO e Porto Velho – RO classificados como desfavoráveis para a produção do café (Tabela 9) são identificados pelo zoneamento agrícola do Estado de Rondônia como menos adequados para o cultivo do café em seus Latossolos Amarelos Distróficos. Além da menor fertilidade do solo, Ariquemes foi conduzido sem irrigação, buscando avaliar o comportamento dos clones em condição de sequeiro. A correlação entre o desempenho dos genótipos nesse ambiente com os outros locais apresentou amplitude de 0,60 a 0,87 ($r_{A1A3}= 0,60$, $r_{A2A3}= 0,80$, $r_{A3A4}=0,87$, $r_{A3A5}=0,79$, $r_{A3A6}=0,70$). Os genótipos 16, 10 e 13

foram os mais produtivos nesse ambiente, seguido pelos genótipos 09 e 12 que não apresentaram altas produtividades em outros ambientes.

Os ambientes A6, A1, A4 e A5 foram considerados favoráveis para o cultivo do café, com destaque para o ambiente de A6 que apresentou média 52% superior à média geral de todos os ensaios. O ambiente favorável de Alta Floresta se diferencia pela maior altitude, menor acidez do solo e maior saturação por bases. A correlação entre o ordenamento dos genótipos nesse ambiente com os outros locais apresentou amplitude de 0,70 a 0,83 ($r_{A1A6}=0,70$, $r_{A2A6}=0,83$, $r_{A3A6}=0,70$, $r_{A4A6}=0,79$, $r_{A5A6}=0,78$). Os genótipos 10 e 16 foram os mais produtivos nesse ambiente, seguido pelos clones 19, 14, 1 e 13. Desse conjunto, o clone 19 se caracterizou por ter apresentado maior produtividade apenas nesse ambiente.

As análises individuais indicam que os experimentos foram bem conduzidos nos ambientes e podem ser interpretados em uma análise conjunta. Por sua vez, a análise conjunta indicou como significativa, a interação genótipo x ambientes (GE). A interação GxE dificulta a identificação de genótipos de ampla adaptação, uma vez que essa interação se caracteriza pela mudança no desempenho dos clones nos diferentes ambientes (FERRÃO *et al.*, 2008; MONTAGNON *et al.*, 2008; DAMATTA *et al.*, 2018).

A mudança no desempenho produtivo em diferentes ambientes é uma característica do cafeeiro que tem sido observada em outros trabalhos. Interações GxE significativas também foram observadas na avaliação de clones híbridos em diferentes ambientes da Costa do Marfim (MONTAGNON *et al.*, 2008) e na avaliação de clones da variedade botânica Conilon cultivados no estado do Espírito Santo (FERRÃO *et al.*, 2008). Moraes *et al.*, 2020 observaram interação GxE significativa na região estudada nesse trabalho, em ambientes classificados como desfavoráveis para o cultivo do café. Dalazen *et al.*, 2020 e Souza *et al.*, 2018 observaram que a interação genótipo x ambientes também pode ser importante para outras características do cafeeiro, tais como o ciclo de maturação e a qualidade da bebida.

O sucesso da seleção de plantas de maior adaptabilidade e estabilidade está associado a magnitude dos efeitos de genotípicos (BIKILA *et al.*, 2017, ROCHA *et al.*, 2015a). Estimativas de herdabilidade variando entre 0,80 e 0,90 interpretadas nesse trabalho, também foram observadas por Resende *et al.* (2001) na avaliação de cultivares do cafeeiro *Coffea arabica* na região Sudeste. Por sua vez, Ferrão *et al.* (2008), Ramalho *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2018) também observaram estimativas superiores a 0,8 na avaliação de experimentos com o cafeeiro *C. canephora* nos estados do Espírito Santo e de Rondônia.

A mudança no desempenho dos clones de um ambiente para o outro pode ser do tipo simples, quando não ocorre mudança no ordenamento dos clones de um ambiente para o outro, ou do tipo complexa quando os melhores genótipos em um ambiente não são os melhores em

outros ambientes (SILVA *et al.*, 2019, PARTELLI *et al.*, 2020). A maior estabilidade do genótipo 13 em comparação aos genótipos 16 e 10 deve-se ao menor desempenho do genótipo 10 no ambiente de Porto Velho ($\bar{x}_{16} = 88,67$, $\bar{x}_{13} = 72,27$ e $\bar{x}_{10} = 60,97$) e maior resposta a melhoria do ambiente dos genótipos 16 e 10 cultivados em Alta Floresta D'Oeste ($\bar{x}_{16} = 106,47$, $\bar{x}_{13} = 91,00$ e $\bar{x}_{10} = 111,40$). Os genótipos 14, 1, 20, 15 e 12 apresentam produtividade superior à média dos experimentos, associada a uma alta estabilidade. Além de apresentarem produtividades superiores à média, os genótipos 14 e 20 se diferenciam pela qualidade da bebida e pela rusticidade, respectivamente (TEIXEIRA *et al.*, 2020).

Os ensaios foram instalados com clones da cultivar Conilon BRS Ouro Preto registrada no ano de 2013 (genótipos 1, 2 e 3), clones provenientes da cultivar Robustas Amazônicas registrados no ano de 2019 (genótipos 16, 13, 10, 14, 4, 8 e 20) e outros clones selecionados em condições experimentais (5, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19). De maneira geral observa-se uma superioridade dos clones híbridos, que apresentaram maior adaptabilidade geral. A heterose, também chamada de vigor do híbrido, se caracteriza pelo maior vigor observado nos indivíduos híbridos é observada nessa espécie alógama e autoincompatível (LEROY *et al.*, 1997; DAVIS *et al.*, 2006, OLIVEIRA *et al.*, 2018). Os híbridos entre as variedades botânicas Conilon e Robusta se diferenciam por expressar maior vigor associado as melhores características dos seus genitores. Os híbridos que apresentam o menor tamanho, resistência à seca do Conilon, maior peneira e resistência a pragas e doenças de Robusta têm se destacado nas avaliações de campo (RAMALHO *et al.*, 2016; DALCOMO *et al.*, 2015, SOUZA *et al.*, 2013).

Montagnon *et al.*, (2008) observaram que, em média, os indivíduos híbridos apresentaram uma produtividade 15% maior em comparação com seus genitores. Bergo *et al.*, 2020 observaram maior adaptabilidade específica de cafeeiros selecionados na região Amazônica em comparação com cafeeiros selecionados em outras regiões. Segundo esses autores isso se deve a maior adaptabilidade daquelas plantas as condições edafoclimáticas da Amazônia Ocidental, que se caracteriza pela acidez do solo, alta pluviosidade e período seco bem definido.

Uma outra característica interessante foi a condução de dois ensaios em um mesmo ambiente de modo a considerar a variação entre e dentro de um mesmo ambiente. Os ambientes A4 e A5 se agruparam próximos nas duas dispersões, tendo se alocado em um mesmo grupo. Tanto o Biplot AMMI2 (Figura 3) quanto o agrupamento hierárquico estimado a partir da parte complexa da interação genótipo ambientes (Figura 4), indicaram que apenas os ambientes A4 e A5 cultivados no município de Rio Branco – AC, se agruparam em um mesmo

mega-ambiente. O dendrograma mostrou que os ambientes são mais similares entre si na seguinte ordem: A4, A5, A3, A2, A6, A1.

O termo mega ambiente se refere a locais não necessariamente próximos, mas que apresentam condições semelhantes e estresses bióticos e abióticos. Essa definição busca alocar recursos para racionalizar as avaliações em diferentes locais melhor predizendo o comportamento dos genótipos, aumentando a eficiência dos programas de melhoramento (GAUCH *et al.*, 2008). Exceto pelos ambientes A4 e A5, todos os outros ambientes se apresentaram como locais de diferentes condições de estresses bióticos e abióticos. Esse resultado mostra a importância de se manter as avaliações nesses locais, representativos das condições dos cafezais cultivados nessa região.

4.5 CONCLUSÕES

A redução na dimensionalidade, estimada a partir de características climáticas e de solo, indicou que os ambientes de Porto Velho – RO, Rio Branco – AC e Ariquemes - RO são mais similares do que os ambientes de Ouro Preto do Oeste – RO e Alta Floresta – RO, que se diferenciam pela maior fertilidade natural do solo e maior altitude.

O biplot AMMI1, que associa o desempenho dos clones à sua estabilidade, mostrou que os genótipos 16, 10 e 13 apresentaram as maiores produtividades médias associadas a uma maior estabilidade.

No biplot AMMI2 (IPCA1 x IPCA2) os ambientes A4 e A5 ficaram agrupados em um mesmo setor, delimitado pelas linhas que se originam do centro da dispersão.

O agrupamento baseado na fração complexa da interação genótipo x ambientes coincide com o agrupamento da dispersão AMMI que agrupou os ambientes A4 e A5 em um mesmo mega ambiente, sendo que a ordem A3, A2, A6, A1 representam ambientes mais similares do que ao agrupamento formado por A4 e A5.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A., et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), p.711–728, 2013.
- BERGO L. et al. Estimation of genetic parameters and selection of *Coffea canephora* progenies evaluated in Brazilian Western Amazon. **Coffee Science**, v. 15, p. e151663, 12, 2020.
- BIKILA, B. A.; SAKIYAMA, N. S. Estimation of genetic parameters in *Coffea canephora* Var. Robusta. **Advances in Crop Science and Technology**, v.5, n.5, p.310, 2017.

CARIAS, C.M.O.M. et al. Predição de ganhos genéticos via modelos mistos em progênies de café conilon. **Coffee Science**, 11(1):39-45, 2016.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: safra 2019/2020: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS>>. Acesso em: 02/03/2021.

CILAS, C. et al. Yield stability in clones of *Coffea canephora* in the short and medium term: longitudinal data analyses and measures of stability over time. **Tree Genetics & Genomes**, v.7, n.2, p.421-429, 2011.

CRUZ, C.D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 668 p.

CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v.38, p.422-430, 1991.

CRUZ, C.D. Genes Software - Extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, 38(4):547-552, 2016.

DALAZEN, J.R. et al. Beverage quality of most cultivated *Coffea canephora* clones in the Western Amazon. **Coffee Science**, 2020.

DALAZEN, J. R. et al. **Base genética da cafeicultura e caracterização dos principais clones cultivados no estado de Rondônia**. In: PARTELLI F.L.; ESPINDULA M.C.. (Org.). Café Conilon: Conhecimento para Superar Desafios. 1ed.Alegre, ES: CAUFES, 2019, v. 1, p. 165-177.

DALCOMO, J. et al. Evaluation of genetic divergence among clones of conilon coffee after scheduled cycle pruning. **Genetics and Molecular Research**, v.14, p.15417-15426, 2015.

DAMATTA F.M., et al. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 66: 5264-5274, 2018.

DAVIS, A. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.152, n. 4, p. 465 - 512, 2006.

DUBBERSTEIN, D.; et al. Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes. **Genetics and Molecular Research**, v.19, p. gmr18541, 2020.

FERRÃO, R. G. et al. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.61-69. 2008.

- FERRÃO, R.G. et al. **Melhoramento Genético de *Coffea canephora***. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.da; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H.. (Org.). *Café Conilon*. 2ed.Vitoria: DCM/Incaper, 2017, v. 1, p. 131-175.
- GAUCH H.G., et al. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE: Further Considerations. **Crop Science**, v. 48, p. 866-889, 2008
- HAIR JR., J.F., BLACK, W.C., BABIN, B.J. and ANDERSON, R.E. (2009) **Multivariate Data Analysis**. 7th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 761.
- LEROY, T. et al. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first cycle intergroup crosses. **Euphytica**, v. 95, n. 3, p. 347-354, 1997.
- MAPA/RNC. **Registro Nacional de Cultivares/RNC**, 2020. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/guia-de-servicos/registro-nacional-de-cultivares-rnc>>
- MARCOLAN, A.L. et al. **Cultivo dos cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 61p.
- MARTINS M.Q. et al., Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p.238-242, 2019.
- MISTRO, J.C. et al. Effective population size and genetic gain expected in a population of *Coffea canephora*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 1-7, 2019.
- MONTAGNON, C. et al. Heritability of *Coffea canephora* yield estimated from several mating designs. **Euphytica**, v.133, n.2, p.209-218, 2003.
- MONTAGNON, C. et al. Heterozygous genotypes are efficient testers for assessing between-population combining ability in the reciprocal recurrent selection of *Coffea canephora*. **Euphytica**, v. 160, n. 1, p. 101- 110, 2008.
- MORAES, M.S. et al. Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon. **Ciência Rural**, v. 50, p. xx, 2020.
- OLIVEIRA L.N.L. et al. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties Conilon and Robusta for the production of intervarietal hybrids. **Ciência Rural** 48: e20170444, 2018.
- PARTELLI, F.L.; et al. Tributun: A coffee cultivar developed in partnership with farmers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. e30002025, 2020.

- RAMALHO, A. R. et al. Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of 'Conilon' coffee. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.3, p.516. 2016.
- RESENDE, M.D.V. & DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 37(3):182-194, 2007.
- RESENDE, M.D.V. et al. Precision and quality control in variety trial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.3, p.182-194. 2007.
- RESENDE, M.D.V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, v.60, n.3, p.185-193, 2001.
- ROCHA, R.B. et al. **Melhoramento de *Coffea canephora* - Considerações e Metodologias**. In: MARCOLAN, A. L. & ESPINDULA, M. (Eds.). Café na Amazônia. Brasília, DF: Embrapa, v. 1, 2015a. p.217-236.
- ROCHA, R.B. et al. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1531-1537, 2015b.
- SILVA, D.O.; et al. Genetic progress with selection of *Coffea canephora* clones of superior processed coffee yield. **Ciência Rural**, v. 48, p. xx-xx, 2018.
- SILVA, V.A. et al., Selection of conilon coffee clones tolerant to pests and diseases in Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 269-276, 2019.
- SOUZA, C. A. et al. Genetic components for fruit development and ripening of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science**, v.12, n.3, p.355-364. 2017.
- SOUZA, F. F. et al. Molecular diversity in *Coffea canephora* germplasm conserved and cultivated in Brazil. **Crop breeding and applied biotechnology**, v.13, n.4, p. 221-227. 2013.
- SPINELLI, V. M. et al. Contribution of agronomic traits to the yield of *Coffea canephora* hulled coffee. **Coffee Science**, v. 13, p. 333-340, 2018.
- SCHLINDWEIN, J.A. et al. Solos de Rondônia: usos e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**. v. 1. n.1, p.213-231, 2012.
- TEIXEIRA, A. L. et al. Amazonian Robustas - new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. e323420318, 2020.

5. CONCLUSÃO GERAL

Através da execução da tese de doutorado foram produzidos e publicados em periódicos dois artigos. No primeiro capítulo verificada há ocorrência da interação genótipo x ambientes na expressão da característica produção de café beneficiado entre clones de *C. canephora*, avaliados em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental. Os métodos Centroide e de Lin e Binns permitiram estimar a adaptabilidade e estabilidade dos clones nos ambientes avaliados. Foram identificados genótipos de baixa adaptabilidade, de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, e genótipos de ampla adaptação a todos os ambientes avaliados.

No segundo capítulo, com a análise de estratificação ambiental, estimada a partir de características edafoclimáticas, permitiram a redução na dimensionalidade de dados, e indicou que os ambientes de Porto Velho – RO, Rio Branco – AC e Ariquemes - RO são mais similares do que os ambientes de Ouro Preto do Oeste – RO e Alta Floresta – RO, que se diferenciam pela maior fertilidade natural do solo e maior altitude.

O biplot AMMI1, mostrou que os genótipos 16, 10 e 13 apresentaram as maiores produtividades médias associadas a uma maior estabilidade. No biplot AMMI2 os ambientes A4 e A5 ficaram agrupados em um mesmo setor, sendo que a ordem A3, A2, A6, A1 representam ambientes mais similares do que ao agrupamento formado por A4 e A5.

Neste estudo foram identificados dois clones de adaptabilidade geral, quatro clones de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, dois clones de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, e um genótipo que apresenta desempenho médio em todos os ambientes e boa arquitetura de planta, que foram registrados e protegidos junto a Sistema Nacional de Cultivares (Brasil. Ministério da Agricultura, 2017) com recomendação para plantio na Amazônia ocidental.

REFERÊNCIAS

- CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; FOGAÇA, C. M. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Revista Ceres**, v. 55, p. 243-250, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2021**, quarto levantamento, dezembro/2021. Brasília: CONAB, 2021 Disponíveis em <http://www.conab.gov.br>. Acesso 09 março 2020.
- CORRÊA, LVT. Estratificação ambiental e caracterização climática como ferramentas de apoio ao melhoramento genético do cafeeiro em Minas Gerais. 2011. 79p. 2011. Tese de Doutorado. **Tese (Doutorado)**—Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- DAVIS, A. P.; RAKOTONASOLO, F. Six new species of coffee (*Coffea*) from northern Madagascar. **Kew Bulletin**, v. 76, n. 3, p. 497-511, 2021.
- FERRÃO, R. G. **Café conilon**. Vitória, Incaper, 2007.
- FORNAZIER, M., ALIXANDRE, F., GUARÇONI, R., & KROHLING, C. Café arábica no Espírito Santo, Brasil. conilon: Conilon e Robusta no Brasil e no Mundo. Alegre, ES: CAUFES, 2021. 214 p. : il.
- GENETI, D. Review on Genetic, Environment and Their Interaction (G x E) for Stability of Coffee Quality. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 9, n. 21, p.23-28, 2019.
- LIN, C. S. e BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 1, p.193-198, 1988.
- MORAES, M S ; TEIXEIRA, A L ; RAMALHO, A R ; ESPINDULA, M C ; FERRAO, M A G ; ROCHA, R B. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, p. 1-11, 2018.
- MORAES, M. S., ROCHA, R. B., TEIXEIRA, A. L., ESPINDULA, M. C., SILVA, C. A., & LUNZ, A. M. P. Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon. **Ciência Rural**, v. 50, 2020.
- MORAES, M. S., ROCHA, R. B., FERREIRA, F. M., DE SOUZA, C. A., ESPINDULA, M. C., & TEIXEIRA, A. L. Environmental stratification and performance of *Coffea canephora* clones grown in the Western Amazon. **Coffee Science-ISSN 1984-3909**, v. 16, p. e161911, 2021.
- PARTELLI, F. L. & PEREIRA, L. L.. Café conilon: Conilon e Robusta no Brasil e no Mundo – Dados eletrônicos. Alegre, ES: CAUFES, 2021. 214 p. : il.
- ROCHA, R. B., RAMALHO, A. R., TEIXEIRA, A. L., SOUZA, F. D. F., & CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1531-1537, 2015.
- SANTOS, R. V. M. D., VIEIRA, H. D., BORÉM, F. M., & PRADO, M. V. B. Estatística multivariada aplicada em dados de custos da fase de pós-colheita do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 223 - 230, 2017.
- SOARES, L.S., DO AMARAL, A. M. S., REZENDE, T. T., PUTTI, F. F., & GÓES, B. C. Comportamento das exportações da agroindústria brasileira do café e interações com agentes

produtivos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e39210313503-e39210313503, 2021.

SOUZA, C. A. D., ROCHA, R. B., ALVES, E. A., TEIXEIRA, A. L., DALAZEN, J. R., & FONSECA, A. F. A. D. CHARACTERIZATION OF BEVERAGE QUALITY IN *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science-ISSN 1984-3909**, v. 13, n. 2, p. 210-218, 2018.

TEIXEIRA, A. L., ROCHA, R. B., ESPINDULA, M. C., RAMALHO, A. R., VIEIRA JÚNIOR, J. R., ALVES, E. A., LUNZ, A. M. P., SOUZA, F.F., COSTA, J. N. M., FERNANDES, C. D. F. Amazonian Robustas-new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020.

VERMA, A., SINGH, G. BLUP and AMMI model for stability analysis of wheat genotypes evaluated under irrigated timely sown trials in North Eastern Plains Zone of India. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 13, n. 3, p. 144-157, 2021.

TEN CATEN, A., DALMOLIN, R. S. D., PEDRON, F. A., & MENDONÇA-SANTOS, M. D. L. Estatística multivariada aplicada à diminuição do número de preditores no mapeamento digital do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 46, n. 5, p.554-562, 2011.

ANEXOS

Ciência Rural, Santa Maria, v.50:1, e20190087, 2020

<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20190087>

ISSNe 1678-4596

BIOLOGY



Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon

Marcos Santana Moraes¹ , Rodrigo Barros Rocha^{2*} , Alessandro Lara Teixeira²
 Marcelo Curitiba Espindula², Camila Andrade Silva³, Aurenny Maria Pereira Lunz⁴

¹Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Porto Velho, RO, Brasil.

²Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 76815800, Porto Velho, RO, Brasil. E-mail: rodrigo.rocha@embrapa.br. *Corresponding author.

³Instituto Federal de Rondônia (IFRO) Ariquemes, RO, Brasil.

⁴Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Rio Branco, AC, Brasil.

ABSTRACT: The development of *Coffea canephora* cultivars is based on the characterization of genotype $\times$ environment interaction, which is interpreted to quantify the differential behavior of clones at different cultivation sites. The objective of this research was to study the genotype $\times$ environment interaction aiming to select clones of broad and specific adaptation to different environments of the Western Amazon. Twelve clones with hybrid characteristics of the botanical varieties Conilon and Robusta and four open pollinated clones, had their performance evaluated in comparison with four controls. The genotype $\times$ environment interaction was interpreted based on the environmental quality index, the non-parametric estimator of Lin and Binns, 1988 and on the dispersion of the centroid method. Effects of the genotypes, environment, and genotype $\times$ environment interaction were all significant ($p < 0.01$). The environmental quality index (Ij) classified three environments as favorable for coffee production. In terms of the Lin and Binns's estimator (P_i), hybrid genotypes 16, 10, 13, 09 and 14 presented lower P_i indices than others, and were classified as being more stable. Five clones of low adaptability, seven clones of specific adaptability to favorable or unfavorable environments and two clones of broad adaptability to all environments were identified interpreting the dispersion of the centroid method.

Key words: G $\times$ E interaction, genetic progress, Coffee.

Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner na Amazônia Ocidental

RESUMO: O desenvolvimento de novas cultivares de *Coffea canephora* fundamenta-se na caracterização do comportamento diferenciado dos clones em diferentes locais de cultivo. O objetivo deste trabalho foi estudar a interação genótipo $\times$ ambientes visando selecionar clones de adaptação ampla e específica a diferentes ambientes da Amazônia Ocidental. Doze clones com características híbridas das variedades botânicas Conilon e Robusta e quatro clones provenientes de polinização aberta tiveram seu desempenho avaliado em comparação com quatro testemunhas. Os métodos utilizados para quantificar a interação genótipo $\times$ ambientes foram o estimador não paramétrico de Lin & Binns e a dispersão do método centróide. A análise de variância indicou que os efeitos de genótipos, de ambiente e da interação G $\times$ A foram significativos ($p < 0,01$). O índice de qualidade ambiental (Ij) permitiu classificar três ambientes favoráveis em relação a sua contribuição para o desempenho das plantas. Os genótipos híbridos 16, 10, 13, 9 e 14 apresentaram menores índices de P_i , tendo sido ranqueados como mais estáveis, apresentando produtividade média superior ao desempenho das testemunhas. Cinco clones de baixa adaptabilidade, sete clones de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e dois clones de ampla adaptabilidade foram identificados interpretando a dispersão no plano do método centróide.

Palavras-chave: interação G $\times$ A, progresso genético, *Coffea* spp.

INTRODUCTION

Coffea canephora is an allogamous and self-incompatible species of coffee originating from low-altitude regions of the African continent, of which two botanical varieties are cultivated commercially (CUBRY et al., 2013). The botanical variety Conilon is characterized by producing

smaller plants that are tolerant to a water deficit and susceptible to orange rust, while the botanical variety Robusta is characterized by plants with erect growth and larger fruits, less tolerance to a water deficit, and greater tolerance to orange rust (SOUZA et al., 2013; DAVIS et al., 2006).

The high vigor of the hybrids formed through the breeding of genetically divergent parents

Received 01.02.19 Approved 10.15.19 Returned by the author 11.22.19
 CR-2019-0087.R2



is a characteristic of this species (OLIVEIRA et al., 2018; MONTAGNON et al., 2008; ROCHA et al., 2014). In 2004 were conducted hybridizations between matrices of the botanical varieties Conilon and Robusta, aiming to obtain plants that associate the best traits of their parent botanical varieties within the hybrid vigor (TEIXEIRA et al., 2017).

Other studies have reported the occurrence of genotype $\times$ environment (G $\times$ E) interactions during the evaluation of *C. canephora* genotypes. Significant G $\times$ E interactions were observed by MONTAGNON et al. (2000) when evaluating *C. canephora* hybrid clones in nine environments in the Ivory Coast. FERRÃO et al. (2008) also observed significant effects of the genotype $\times$ environment interaction in their evaluations of clones of botanical variety Conilon in two municipalities of the state of Espírito Santo, Brazil. BARBOSA et al. (2014) verified that early and intermediate cycle clones presented lower performance in the state of Rio de Janeiro, Brazil, compared to their performance when evaluated in the state of Espírito Santo (BRAGANÇA et al., 2001). Studies of G $\times$ E interactions test the hypothesis that plants change their performance when grown in different locations.

During the selection of plants, the identification of genotypes with broad and specific adaptability allows the effects of the genotype $\times$ environment interaction to be explored (RAHN et al., 2018; ROCHA et al., 2015). Methods based on multivariate statistics allowed interpreting the adaptability and stability of several genotypes simultaneously, classifying them according to their performance (HAMAWAKI et al., 2015; ANDERSON, 2003). In the centroid method, results of performance evaluations are interpreted in a graphic dispersion based on the comparison of the evaluated plants with ideotypes, which are ideal reference plants of known behavior (ROCHA et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2009).

Non-parametric methodologies, such as those of Lin and Binns (1988), have also been used to identify genotypes of broad or specific adaptability. The decomposition of the Lin and Binns estimator provided the information needed to recommend genotypes to specific environments, classified as favorable or unfavorable to coffee cultivation (CRUZ et al., 2012).

Therefore, the objective of this research was to study the genotype $\times$ environment interaction aiming to select clones of broad and specific adaptation to different environments of the Western Amazon.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material

In 2004, targeted hybridizations were conducted between superior matrices of the botanical varieties Conilon and Robusta to obtain nine progeny sets of complete siblings. These progenies represented by 32 genotypes, arranged in 4 replicates of 8 plants, were evaluated during six harvests in the experimental field of the Embrapa Rondônia located in the city of Ouro Preto do Oeste, RO, Brazil (TEIXEIRA et al., 2017). Based on this evaluation, 12 genotypes that showed desirable characteristics of the botanical varieties Conilon and Robusta were selected to be further evaluated in different environments in the Western Amazon.

Clonal competition assays

In December 2012 and January 2013, five clonal competition assays were installed at different locations in the Western Amazon, as described below:

Assay #1 (Ouro Preto do Oeste, RO). This assay was carried out in the experimental field of the Brazilian Agricultural Research Corporation, located at 10°43'55.3"S and 62°15'23.2"W, at 245 m altitude. The climate of the municipality in which this assay was installed is of the "Aw" type of the Köppen classification system, which is defined as humid tropical with periods of drought during winter, and rainy during summer. The annual temperature varies from 21.2 °C to 30.3 °C, with the highest temperatures occurring in the months of July and August. The annual precipitation is 1939 mm and the average air humidity is 81% (INMET, 1992).

Assay #2 (Porto Velho, RO). This assay was evaluated in another experimental field belonging to the Brazilian Agricultural Research Company, located at 8°48'05.5"S and 63°51'02.7"W, at 88 m altitude. The predominant climate of the region is rainy tropical with a dry winter, of type "Am" (Köppen), and with an average temperature of 26.0 °C and average annual precipitation of 2095 mm. September is the hottest month of the year (27.1 °C), and May is the coldest one (24.9 °C) (INMET, 2009).

Assay #3 (Ariquemes, RO). This assay was conducted at the Federal Institute of Rondônia, Ariquemes Campus. The local coordinates were 9°57'09.8"S and 62°56'53.7"W, at 128 m altitude. The predominant climate is the humid tropical type "Aw" (Köppen), with a well-defined dry season between June and August. Water deficit varies from 200 to 300 mm year⁻¹, and the annual average rainfall is 2181 mm. The average temperature throughout the

year is close to 25.4 °C, while September is the hottest month and July is the driest one (INMET, 2009).

Assays #4 and #5 (Rio Branco, AC). These two assays were conducted at Embrapa Acre, one with irrigation and one without irrigation. The local coordinates were 10°1'30.98"S, 67°42'21.77"W, at 180 m altitude. The predominant climate is the humid tropical type "Aw" (Köppen), with a well-defined dry season between June and August. The water deficit ranges from 50 to 100 mm year⁻¹, and the annual average precipitation is 1998 mm. The average temperature throughout the year is close to 24.9 °C, while October is the hottest month and July is driest one (INMET, 1992).

Soil, nutritional, cultural, and phytosanitary practices at each assay site were carried out according to the recommendations of the Production System for coffee cultivation in Rondônia (MARCOLAN, 2009).

Experiments

Plants used in the assays comprised twelve hybrid clones and four open pollinated clones, with an average coffee productivity above 70 bags ha⁻¹ and resistance to orange rust. In addition, four clones of a cultivar adapted to tropical and low-altitude conditions, Conilon cv. BRS Ouro Preto, were used as controls (Table 1). The 20 treatments were conducted

in a randomized block design, with three replicates of four plants per plot, in a space 3 m × 1.5 m in size. Randomization restriction was performed in the field to maximize homogeneity within each block.

To estimate the productivity of different clones in terms of the number of processed coffee bags produced per hectare during the 2014/15, 2015/16, and 2016/17 seasons, coffee beans were harvested from each plot and weighed on an analytical balance. Subsequently, 3-kg samples were collected and dried on a Barçaça-type concrete terrace until reaching 13% humidity, thus obtaining the ratio of farm coffee to processed coffee. The productivity of 60-kg processed coffee sacks per hectare was estimated as follows in eq. (1):

$$PROD = \left(\frac{cr}{qp} \right) * 2.222 * rend \quad (1)$$

where: *PROD* is the productivity of coffee in bags per hectare; *cr* is the farm coffee production by plot; *qp* is the number of plants in the plot; 2.222 is the number of plants per hectare; *rend* is the ratio calculated between processed and farm coffee produced, expressed as a decimal value; and 60 corresponds to the weight in kilograms of a bag of processed coffee.

Quantification of the genotype × environment interaction

The significance of the clonal effect in each environment on the productivity of processed coffee (bags ha⁻¹) was tested individually for the 2014/15, 2015/16, and 2016/17 crops, according to the model described by CRUZ et al. (2012), as follows in eq. (2):

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_j + E_{ijk} \quad (2)$$

where: *Y_{ijk}* refers to the observation of the *i*th genotype, in the *j*th block, and in the *k*th repetition; *m* is the experimental average; *G_i* is the effect of the *i*th genotype (clone effect); *B_j* is the *j*th block effect; and *E_{ijk}* is the experimental error that affects all the observations made during the experiment. To test the homogeneity among the variances was used the Bartlett's test (CRUZ et al., 2012).

After verifying the homogeneity of variances of the data, a joint variance analysis was performed to quantify the effect of the G×E interaction, according to the model described by CRUZ et al. (2012) as follows in eq. (3):

$$Y_{ijk} = m + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk} \quad (3)$$

where *Y_{ijk}* refers to the observation of the *i*th genotype, in the *k*th block, and in *j*th environment; *m* is the experimental average; *G_i* is the effect of the *i*th genotype (clone effect); *B/A_{jk}* is the *k*th block's effect

Table 1 - Genetic composition and origins of the clones evaluated in the competition assays installed in five localities in the Western Amazon.

Clone	Genotype	Origin
1	BRS OPO 125	Control
2	BRS OPO 160	Control
3	BRS OPO 120	Control
4	BRS OPO 199	Control
5	Clone 453	Open pollination
6	Clone 657	Open pollination
7	Clone 636	Open pollination
8	Hybrid 193	Open pollination
9	Hybrid 9	Encapa 03 x Robusta 640
10	Hybrid 10	Encapa 03 x Robusta 2258
11	Hybrid 11	Encapa 03 x Cpafo 194
12	Hybrid 12	Encapa 03 x Robusta 2258
13	Hybrid 13	Encapa 03 x Robusta 2258
14	Hybrid 14	Encapa 03 x Robusta 640
15	Hybrid 15	Encapa 03 x Robusta 2258
16	Hybrid 16	Encapa03 x Robusta 1675
17	Hybrid 17	Encapa 03 x Robusta 1675
18	Hybrid 18	Robusta 640 x Cpafo 194
19	Hybrid 19	Robusta 1675 x Cpafo 194
20	Hybrid 20	Encapa 03 x Robusta 1675

within the j^{th} environment; A_j is the effect of the j^{th} environment; GA_{ij} is the effect of the interaction between the i^{th} genotype and the j^{th} environment (G×E interaction effect); and E_{ijk} is the experimental error. The genotypes were considered to have random effects, while the blocks and environmental effect were considered to be fixed.

To quantify the contribution of the different environments to the performance of the genotypes, the environmental quality index (I_j) was estimated based on EBERHART and RUSSEL (1966) as follows in eq. (4):

$$I_j = \bar{y}_j - \bar{y} \quad (4)$$

where I_j is the environmental classification index; $\bar{y}_j$ is the general average of genotypes in the j^{th} environment; and $\bar{y}$ is the overall average of genotypes in all environments. This index classifies environments that have an I_j equal to or greater than zero as favorable, and those with a negative I_j as unfavorable.

To quantify the adaptability and stability of the production of processed coffee by different clones in different environments, the estimator proposed by LIN and BINNS (1988) was interpreted as follows in eq. (5):

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n} \quad (5)$$

where P_i is the estimated stability and adaptability of the i^{th} genotype; X_{ij} is the productivity of the i^{th} genotype in the j^{th} environment; M_j is the maximum response observed among all genotypes in the j^{th} environment; and n is the number of environments. By estimating the Euclidean distance between the genotypes and the ideal plant of superior performance in all environments, the smaller estimates of P_i characterize the genotypes of higher adaptability. This estimator was interpreted by considering the decomposition of P_i in favorable and unfavorable environments.

Stability and adaptability estimates were also obtained based on the centroid method by considering the data as vectors in relation to the maximum and minimum performances of the genotypes in each environment. Based on these vectors, ideal references, called centroids, were obtained using the minimum, average, and maximum performances of each of the genotypes in favorable and unfavorable environments (NASCIMENTO et al., 2009; ROCHA et al., 2005). The clones under evaluation were classified based on the Euclidean distance of each genotype from the known behavioral references (centroids), according to the model summarized in eq. (6):

$$D_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - C_{jk})^2} \quad (6)$$

where: D_{ik} is the distance from the i^{th} genotype to the k^{th} centroid ($k = 1, 2, \dots, n$), with each genotype subsequently classified as follows: I, high general adaptability; II, specific adaptability to favorable environments; III, specific adaptability to unfavorable environments; IV, little adapted; V, high stability, low adaptability; VI, specific adaptability to favorable environments; and VII, specific adaptability to unfavorable environments. X_{ij} is the productivity of the i^{th} genotype in the j^{th} environment and C_{jk} is the estimated productivity of the k^{th} centroid in the j^{th} environment.

The dispersion of the clones' performance to reference values was obtained using the principal component analysis. The dispersion of a matrix containing the coffee production in different environments, with a dimension equal to the number of evaluated genotypes plus seven additional lines corresponding to the reference points, was then calculated (HAIR et al. 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

Results of individual analyses of variance (ANOVAs) were interpreted to quantify the experimental accuracy and management quality. Inheritability (h^2) and experimental coefficient of variation (CV) values indicated that the experiments were well conducted in all environments (Table 2). The relationship between the highest and lowest variance observed in the municipalities of Ouro Preto do Oeste, RO, and Ariquemes, RO, was 4.3, indicating homogeneity among the variances according to Bartlett's test (CRUZ et al., 2012).

The environmental quality index (I_j) was interpreted to classify environments in terms of their contribution to plant performance (EBERHART and RUSSEL, 1966). Environments of Ouro Preto do Oeste and Rio Branco showed an average productivity of more than 50 bags ha^{-1} , and were thus classified as favorable for coffee production (Table 2). The environments of Ariquemes and Porto Velho, which presented average productivities of 21.33 and 44.82 bags ha^{-1} , respectively, were classified as unfavorable (i.e. negative I_j). The higher effective acidity with low base saturation associated with the non-use of supplementary irrigation in these environments contributed to the lower productivity in those sites. According to the soil and climate zone classification of the state of Rondônia (RONDÔNIA, 2002),

Table 2 - Main estimates from the results of experiments installed in different environments in the Western Amazon over the period from 2015 to 2017.

Environment	Prod (bags ha ⁻¹)	I _j	AStrea	ASerror	h ²	CVe _(%)
Ouro Preto do Oeste, RO	50.54	I _j +	1029.12**	154.28	0.85	24.58
Porto Velho, RO	44.82	I _j -	1354.88**	78.46	0.94	19.76
Ariquemes, RO	21.33	I _j -	299.34**	35.84	0.88	28.07
Rio Branco, AC ¹	54.4	I _j +	736.29**	48.6	0.93	12.81
Rio Branco, AC ²	54.41	I _j +	723.12**	37.4	0.94	11.23

Table shows the identification of environments, environmental quality index (I_j), positive quality index (I_j+), negative quality index (I_j-), mean squares of treatments (AStrea) and error (ASerror), average productivity (Prod), heritability (h²), and coefficient of environmental variation (CVe). ** (P<0,01) according to the F-test. ¹irrigated experiment; ²non-irrigated experiment.

the municipalities of Ariquemes and Porto Velho present marginally edaphoclimatic conditions for coffee production, which makes the use of additional irrigation during the dry season necessary there.

The analysis of combined variance indicated that the effects of genotypes (clones), environments, and the G×E interaction were all significant according to the F-test (p<0.01) (Table 3). The significance of the G×E interaction indicated that different clones presented different performances among the environments, meaning that the clones did not maintain their relative performance in different soil and climate conditions.

Table 3 - Summary of the analysis of variance of the average productivity of processed coffee from three harvests evaluated at five localities in the Western Amazon.

SV	DF	SS	MS	F
Blocks/Environments	10	2805.83	280.58	
Clones	19	59617.1	3137.74	12.48**
Environments	4	46088.6	11522.1	21.8**
Clones × Environments	76	19095.1	251.25	3.54**
Residuals	190	13473.8	70.91	
Total	299	141080		
Average	45.1			
CVe _(%)	18.67			

SV: source of variation; DF: degrees of freedom; SS: sum of squares; MS: mean square; F: F-value of the analysis of variance; CVe_(%): coefficient of experimental variation. ** (P<0.01) according to the F-test.

MONTAGNON et al. (2000) reported that the degree of base saturation in acidic soils was one of the factors that most strongly influenced the performance of clones grown in different environments in the Ivory Coast. A significant genotype × environment interaction was also observed by FERRÃO et al. (2008) in their evaluation of 40 Conilon coffee genotypes in low-altitude environments in southeast Brazil. Different lineages of *Coffea arabica* also showed changes in their relative performance in different environments on the African continent (DEMISSIE et al., 2011; BEKSISA et al., 2018).

The G×E interaction limits the recommendation of clones with wide adaptability for coffee cultivation, since the interaction is characterized by changes in the relative performance of genotypes in different environments (CRUZ et al., 2012). Thus, in the selection of plants, clones with broad and specific adaptability may be used to maximize the potential gains obtained through plant selection.

The genotypic variance component made the greatest contribution to the total variance observed in the experiment, even compared to the variance components of the G×E interaction and the residual variance (Table 4). The intraclass correlation coefficient that measures the relation between the components of variance also indicates the predominance of the genotypic variance in the expression of this trait. The ratio between the coefficient of genetic variation (CVg) and the experimental coefficient of variation (CVe) was 1.65, which means that the experimental conditions are favorable to obtain gains with plant selection (CARIAS et al., 2016). While evaluating *C. canephora* genotypes with different maturation cycles, RODRIGUES et al. (2012) estimated CVg/CVe values ranging from 0.79

Table 4 - Genetic (G) and environmental (E) parameters of coffee productivity (averaged across three years) evaluated in 5 localities in the Western Amazon.

Genetic parameter	Processed coffee production (bags ha ⁻¹)
Genotypic variance component	192.43
G×E component of variance	60.11
Residual variance	70.91
Heritability	0.92
Intraclass correlation	0.59
Coefficient of genetic variation (%)	30.76
CVg/CVe ratio	1.65

CVg: Coefficient of genetic variation; CVe: Coefficient of experimental variation.

to 1.31. In the evaluation of *C. canephora* genotypes in tropical conditions, RAMALHO et al. (2016) and SILVA et al. (2018) observed analogous CVg/CVe ratios, with magnitudes of 1.72 and 1.5, respectively.

Heritability estimates (h^2) higher than 0.80 indicated predominance of the genotypic component in the expression of this trait (FERRÃO et al., 2008) (Table 4). These estimates depend on the genetic materials, experimental conditions and environmental effects (BIKILA et al., 2017, ROCHA et al., 2015). Estimates of heritability varying between 0.83 and 0.93 were observed by RODRIGUES et al. (2012) in their evaluation of processed coffee production in *C. canephora* genotypes with early, intermediate, and late maturation in Espírito Santo. In the same state, FERRÃO et al. (2008) also reported estimates higher than 0.8. RAMALHO et al. (2016), SILVA et al. (2018), and TEIXEIRA et al. (2017) observed heritability values of 0.94, 0.84, and 0.79, respectively, in experiments conducted in the state of Rondônia.

The non-parametric methodology of LIN and BINNS (1988) is distinguished by its ease of interpretation and by the classification of genotype performance in environments, classified as either favorable or unfavorable for coffee production. This method is based on the Euclidean distance between the average productivity of a given genotype and the maximum productivity obtained in each environment; thus, clones with greater adaptability are those with the lowest estimates of P_i based on this method.

The hybrid genotypes 9, 10, 13, 14, and 16 examined in this study presented relatively lower P_i values than others (Table 5). These clones presented an average productivity of 61.5 bags ha⁻¹

in all environments, surpassing the performance of the control clones. TEIXEIRA et al. (2017), when studying progenies of the same parent plants from which these clones were selected, observed average productivities varying from 58.7 and 97.71 bags ha⁻¹ over the course of six harvests.

The hybrid clone 16 presented lower biennial oscillation and an overall high productive performance. It reached productivities of 92 and 106.5 bags ha⁻¹ in the third harvest in our Ouro Preto do Oeste and Porto Velho assays, respectively, and 113.4 and 106.1 bags ha⁻¹ in the second harvest in Rio Branco, with and without the use of irrigation, respectively. In the non-irrigated test conducted in the Ariquemes, the productivities of this clone

Table 5 - Average productivity over three years in terms of processed coffee bags per hectare of different clones during assays evaluated in 5 different environments in the Western Amazon, along with the ordering of clones and environments obtained by the method of Lin and Binns (1988).

Clone	Genotype	Average	P _{igeneral}	P _i (+)	P _i (-)
1	BRS OPO 125	49.86	11	10	12
2	BRS OPO 160	38.16	14	13	15
3	BRS OPO 120	27.46	16	18	16
4	BRS OPO 199	52.87	7	11	3
5	Clone 453	28.26	17	17	17
6	Clone 657	28.69	18	16	19
7	Clone 636	20.21	20	19	20
8	Hybrid 193	44.18	12	12	11
9	Hybrid 09	57.40	4	5	5
10	Hybrid 10	63.59	2	2	4
11	Hybrid 11	40.85	13	14	10
12	Hybrid 12	49.32	10	6	14
13	Hybrid 13	63.06	3	3	2
14	Hybrid 14	54.02	5	7	6
15	Hybrid 15	54.64	6	4	8
16	Hybrid 16	69.45	1	1	1
17	Hybrid 17	37.91	15	15	13
18	Hybrid 18	20.16	19	20	18
19	Hybrid 19	50.57	9	8	9
20	Hybrid 20	51.37	8	9	7

P_{igeneral}: average square of the distance between the productivity of each clone and the maximum response of all clones in the same environment; P_i(+): average square of the distance between clone productivity and the maximum response in favorable environments; P_i(-): average square of the distance between clone productivity and the maximum response in unfavorable environments.

were 23.4, 44.2, and 55.5 bags ha^{-1} , in the first, second, and third year of production, respectively. Despite the lower overall productivity of this last-mentioned environment, which was limited by the lack of irrigation and higher soil acidity, the average productivity of this clone in this environment (41.1 bags ha^{-1}) was still higher than the experimental average and the performance of the controls.

Productivities observed in this study were comparable to those reported by RAMALHO et al. (2016) when estimating the genetic progress within the selection of fifteen genotypes of the botanical variety Conilon. These authors reported productivities varying from 27.7 to 121.4 bags ha^{-1} in a preliminary clonal competition test, and from 16.6 to 133.1 bags ha^{-1} in a final competition test of clones. Clones selected by the coffee producers in the municipality of Nova Brasilândia, Brazil, showed an average productivity over the course of three harvests varying from 76 to 101 bags of processed coffee per hectare (ESPINDULA et al., 2017).

The centroid method was used to represent the genotypes of general and specific adaptability

(ROCHA et al., 2005) (Figure 1). In the dispersion plot, the hybrid genotypes 13 and 16 were close to the ideotype I, which represents the ideal plant with maximum productivity in all environments. Hybrid genotypes 9, 10, and 15, as well as BRS Ouro Preto 125, showed specific adaptability to favorable environments, with similar classifications to ideotypes II and VI, and were characterized by maximum performance in favorable environments and minimum or average performance in unfavorable environments. Hybrid genotype 193 and BRS Ouro Preto 199 showed specific adaptability to unfavorable environments, while hybrid genotypes 12, 14, 19, and 20 were similar to the ideotype V, with average performance in all environments.

Genotype 16 showed good general adaptability, with a three-year average productivity of 69.5 bags ha^{-1} in all environments, 72.6 bags ha^{-1} in favorable environments, and 64.8 bags ha^{-1} in unfavorable environments, corresponding to a selection gain (SG%) of 53.9, 36.6, and 96.1%, respectively (Table 6).

The average productivity of genotype 10, which showed good adaptability to favorable

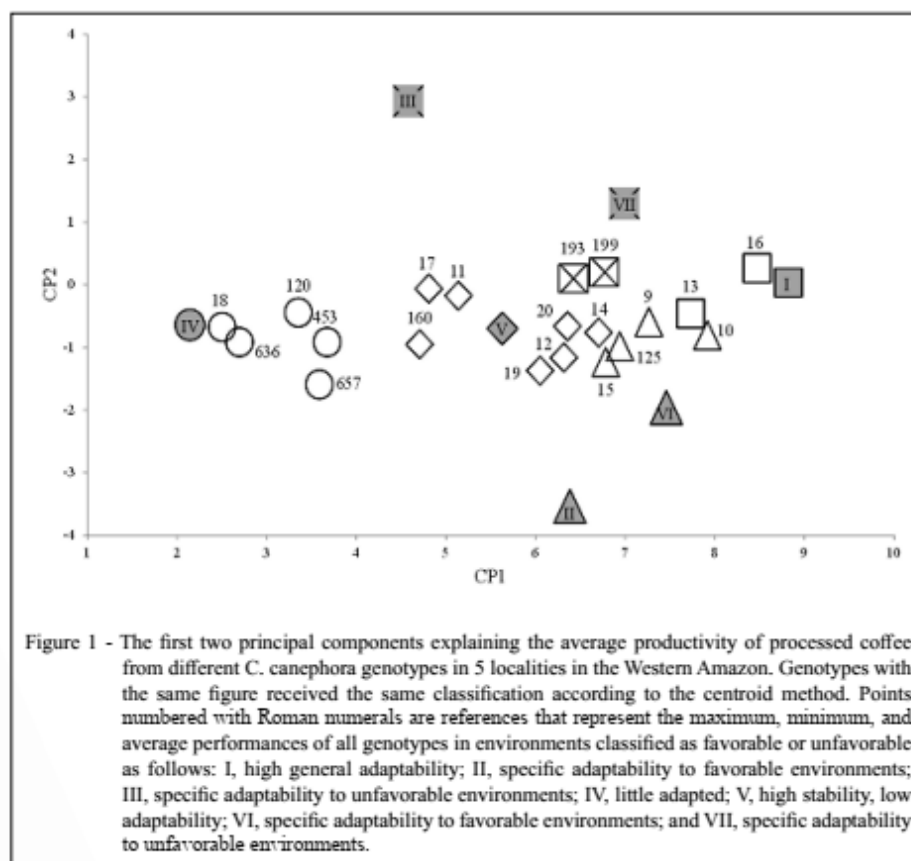


Table 6 - Estimates of genetic progress within the selection of clones with high adaptability (I), specific adaptability to favorable environments (II), and specific adaptability to unfavorable environments.

Clone	Genotype	GV ₁	GV ₂	GV ₃	SG% ₁	SG% ₂	SG% ₃
1	BRS OPO 125	49.86	61.02	33.12	10.54	14.87	0.13
2	BRS OPO 160	38.16	46.70	25.37	-15.39	-12.10	-23.30
3	BRS OPO 120	27.46	31.77	20.99	-39.12	-40.20	-36.55
4	BRS OPO 199	52.87	57.70	45.63	17.22	8.62	37.95
5	Clone 453	28.26	37.45	14.47	-37.35	-29.50	-56.25
6	Clone 657	28.69	41.57	9.38	-36.38	-21.75	-71.64
7	Clone 636	20.21	28.28	8.11	-55.18	-46.76	-75.47
8	Hybrid193	44.18	49.32	36.48	-2.04	-7.16	10.29
9	Hybrid 09	57.40	66.39	43.92	27.27	24.97	32.79
10	Hybrid 10	63.59	74.30	47.51	40.99	39.87	43.65
11	Hybrid 11	40.85	44.91	34.77	-9.43	-15.45	5.12
12	Hybrid 12	49.32	62.07	30.20	9.35	16.84	-8.69
13	Hybrid 13	63.06	70.54	51.84	39.82	32.79	56.73
14	Hybrid 14	54.03	62.60	41.16	19.79	17.85	24.45
15	Hybrid 15	54.64	66.32	37.13	21.15	24.84	12.25
16	Hybrid 16	69.45	72.56	64.84	53.99	36.58	96.05
17	Hybrid 17	37.91	42.12	31.58	-15.96	-20.71	-4.51
18	Hybrid 18	20.16	25.94	11.49	-55.31	-51.18	-65.26
19	Hybrid 19	50.57	61.78	33.75	12.12	16.30	2.05
20	Hybrid 20	51.38	59.12	39.75	13.91	11.29	20.20
Average		45.10	53.12	33.07			

GV₁: genotypic value of processed coffee productivity in all environments; GV₂: genotypic value of processed coffee productivity in favorable environments; GV₃: genotype value of processed coffee productivity in unfavorable environments; SG%₁: selection gain in all environments; SG%₂: selection gain in favorable environments; SG%₃: selection gain in unfavorable environments.

environments, was 63.6 bags ha⁻¹ in all environments, 74.3 bags ha⁻¹ in favorable environments, and 47.5 bags ha⁻¹ in unfavorable environments, corresponding to SG% values of 41.0, 40.0, and 43.7%, respectively. The genotype 199, with good adaptability to unfavorable environments, showed an average productivity of 52.9 bags ha⁻¹ in all environments, 57.7 bags ha⁻¹ in favorable environments, and 45.6 bags ha⁻¹ in unfavorable environments, corresponding to a SG% of 17.2, 8.6, and 37.9, respectively (Table 6). The other genotypes were similar to the ideotypes IV and V, which were classified as being far from the ideotypes of both general and specific adaptability.

The selection of *C. canephora* genotypes should consider the average SG% of several years, due to the high production oscillations of annual crops (MISTRO et al., 2004). Relevant gains by the selection of superior *C. canephora* genotypes in the state of Rondônia were pointed out by RAMALHO et al. (2016) who verified that an average gain of 25 bags ha⁻¹ could be obtained through plant selection.

In addition, SILVA et al. (2018), while applying a selection intensity of 10% on 130 genotypes of the botanical varieties Conilon, Robusta, and natural hybrids, observed a genetic progress of 49.88%, resulting in an average increase of 21.23 bags ha⁻¹ over three years in the breeding population.

CONCLUSION

The significance of the G×E interaction indicated that the clones did not maintain their relative performance in different soil and climate conditions in five different environments of the Western Amazon. The centroid and Lin and Binns methods showed similar results to estimate the adaptability and stability of the different clones across the evaluated environments. Five clones of low adaptability (18, 636, 120, 453, 657), 6 clones of specific adaptability to favorable or unfavorable environments (10, 9, 125, 15, 199, 193), and 2 clones of broad adaptability (16, 13) were identified. Clone

16 showed good general adaptability, and clones 10 and 199 showed specific adaptability to favorable and unfavorable environments, respectively.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the scholar ship grant. We also gratefully acknowledge the Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CPC and the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for financial support.

DECLARATION OF CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interest. The founding sponsors had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, and in the decision to publish the results.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally for the conception and writing of the manuscript. All authors critically revised the manuscript and approved of the final version.

REFERENCES

- ANDERSON, T. W. **An Introduction to Multivariate Statistical Analysis**. 3rd ed. John Wiley and Sons, 752p. 2003.
- BARBOSA, D. H. G. S. et al. Adaptability and stability of conilon coffee in areas of high altitude. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v.13, n.3, p.7879-7888, 2014. Available from: <<https://www.geneticsmr.com>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.4238/2014.
- BEKSISA, L. et al. Genotype environment interaction and yield stability of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v.13, n.4, p.210-219, 2018. Available from: <<https://academicjournals.org/journal/AJAR>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.5897/AJAR2017.12788.
- BIKILA, B. A.; SAKIYAMA, N. S. Estimation of Genetic Parameters in *Coffea canephora* Var. Robusta. **Advances in Crop Science and Technology**, v.5, n.5, p.310, 2017. Available from: <<https://www.omicsonline.org>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.4172/2329-8863.1000310.
- BRAGANÇA, S. M. et al. Clonal varieties of Conilon coffee for the Espírito Santo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, p.765-770, 2001. Available from: <<http://www.scielo.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi:10.1590/S0100-204X2001000500006.
- CARIAS, C. M. O. M. et al. Prediction of genetic gains by mixed models in conilon coffee progenies. **Coffee Science**, v.11, n.1, p.39-45, 2016. Available from: <www.coffeescience.ufpa.br>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.25186/cs.v11i1.
- CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, v.4, Viçosa: Editora UFV, 2012.
- CUBRY, P. et al. Global analysis of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (*Rubiaceae*) from the Guineo-Congolese region reveals impacts from climatic refuges and migration effects. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.60, n.2, p.483-501, 2013. Available from: <<https://link.springer.com/journal/10722>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1007/s10722-012-9851-5.
- DAVIS, A. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (*Rubiaceae*). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.152, n.4, p.465 - 512, 2006. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x.
- DEMISSIE, M.; et al. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of coffee germplasms from southern Ethiopia. **SINET: Ethiopian Journal of Science**, v.34, n.1, p.63-70, 2011. Available from: <<https://www.ajol.info/index.php/sinet>>. Accessed: Nov. 5, 2019.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties I. **Crop science**, v.6, n.1, p.36-40, 1966. Available from: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
- ESPINDOLA, M. C., et al. Café em Rondônia. In: Partelli, F. L., e Gontijo, I. (Ed.), **CAFÉ CONILON: Gestão e Manejo com Sustentabilidade**, Alegre, ES: CAUFES, p. 60-88, 2017.
- FERRÃO, R. G. et al. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.61-69, 2008. Available from: <<http://www.scielo.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1590/S0100-204X2008000100009.
- HAIR, J. F., et al. **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.
- HAMAWAKI, R. L. et al. Adaptability and Stability Analysis of Soybean Genotypes Using Toler and Centroid Methods. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, n.09, p.1509, 2015. Available from: <<http://www.scirp.org>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.4236/ajps.2015.69150.
- INMET. **Normais Climatológicas 1981 a 2010**, Meteorologia, I, N, D, Brasília: INMET 2009.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A. superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p.193-198, 1988. Available from: <<https://www.nrcresearchpress.com/loi/cjps>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.4141/cjps2013-386.
- MARCOLAN, A. L. **Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 61p.
- MISTRO, J. C. et al. Estimates of genetic parameters and expected genetic gains with selection in robust coffee. **Crop breeding and applied biotechnology**, v.4, n.1, 2004. Available from: <<http://www.scielo.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.12702/1984-7033.v04n01a14.
- MONTAGNON, C. et al. Genotype-location interactions for *Coffea canephora* yield in the Ivory Coast. **Agronomie**, v.20, n.1, p.101-109, 2000. Available from: <<http://www.speciation.net/>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1051/agro:2000110.
- MONTAGNON, C. et al. Heterozygous genotypes are efficient testers for assessing between-population combining ability in the



- reciprocal recurrent selection of *Coffea canephora*. **Euphytica**, v.160, n.1, p.101-110, 2008. Available from: <<https://link.springer.com>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1007/s10681-007-9561-9.
- NASCIMENTO, M. et al. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.263-269, 2009. Available from: <<http://www.scielo.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1590/S0100-204X2009000300007.
- OLIVEIRA, L. N. L. et al. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties Conilon and Robusta for the production of intervarietal hybrids. **Ciência Rural**, v.48, n.4, 2018. Available from: <<http://www.scielo.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1590/0103-8478cr20170444.
- RAHN, E. et al. Exploring adaptation strategies of coffee production to climate change using a process-based model. **Ecological Modelling**, v.371, p.76-89, 2018. Available from: <www.journals.elsevier.com>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2018.01.009.
- RAMALHO, A. R. et al. Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of 'Conilon' coffee. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.3, p.516-523, 2016. Available from: <<http://ccarevista.ufc.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.5935/1806-6690.20160062.
- ROCHA, R. B. et al. Evaluation of the centroid method for study of environment adaptability of clones of *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, n.3, p.255-266, 2005. Available from: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.5902/198050981863.
- ROCHA, R. B. et al. Caracterização e uso da variabilidade genética de banco ativo de germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Coffee Science**, v.8, n.4, p.478-485, 2014. Available from: <www.coffeescience.ufra.br>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.25186/cs.v8i4.
- ROCHA, R. B. et al. Adaptability and stability of *Coffea canephora* coffee bean yield. **Ciência Rural**, v.45, n.9, p.1531-1537, 2015. Available from: <<http://www.scielo.br>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1590/0103-8478cr20141554.
- RODRIGUES, W. N. et al. Genetic parameters estimation in groups of Conilon coffee clones. **Coffee Science**, v.7, n.2, p.177-186, 2012. Available from: <www.coffeescience.ufra.br>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.25186/cs.v7i2.308.
- RONDÔNIA (Estado). Secretaria Estadual de Planejamento. **Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia**. Porto Velho: Planaflo, 2002.
- SILVA, D. O. et al. Genetic progress with selection of *Coffea canephora* clones of superior processed coffee yield. **Ciência Rural**, v.48, n.3, 2018. doi: 10.1590/0103-8478cr20170443.
- SOUZA, F. F. et al. Molecular diversity in *Coffea canephora* germplasm conserved and cultivated in Brazil. **Crop breeding and applied biotechnology**, v.13, n.4, p.221-227, 2013. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332013000400001>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.1590/S1984-70332013000400001.
- TEIXEIRA, A. L. et al. Performance of intraspecific hybrids (Kouillou x Robusta) of *Coffea canephora* Pierre, **African Journal of Agricultural Research**, v.12, n.35, p.2675-2680, 2017. Available from: <<https://academicjournals.org/journal/AJAR>>. Accessed: Nov. 5, 2019. doi: 10.5897/AJAR2017.12446.



Environmental stratification and performance of *Coffea canephora* clones grown in the Western Amazon

Marcos Santana Moraes¹, Rodrigo Barros Rocha², Fábio Medeiros Ferreira³, Carolina Augusto de Souza¹,
Marcelo Curitiba Espindula², Alexsandro Lara Teixeira²

¹Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Porto Velho, RO, Brasil

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa, Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia, Porto Velho, Rondônia, Brasil

³Universidade Federal do Amazonas/UFAM, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Itacoatiara, AM, Brasil

Contact authors: marcosopo16@hotmail.com; rodrigo.rocha@embrapa.br; ferreirafmt@ufam.edu.br; carolinaaugusto22@gmail.com; marcelo.espindula@embrapa.br; alexsandro.teixeira@embrapa.br

Received in April 7, 2021 and approved in September 20, 2021

ABSTRACT

Change in the performance of clones grown in different environments is an important question for *Coffea canephora* breeding. The aim of this study was to evaluate environmental stratification and the performance of *C. canephora* clones grown in the Western Amazon. For that purpose, the mean yield of three crop seasons was considered to evaluate the performance of 20 genotypes grown in 6 clonal competition trials in the environments of: E1: Ouro Preto do Oeste-RO, E2: Porto Velho-RO, E3: Ariquemes-RO, E4 and E5: Rio Branco-AC and E6: Alta Floresta do Oeste-RO. The trials were conducted with a plant spacing of 3 m × 1.5 m in a complete block experimental design, with three replications of eight plants per plot. Combined analysis indicated significance of the genotype × environment (G×E) interaction and favorable conditions to obtain gains from selection. Reduction in the dimensionality estimated from climate and soil characteristics indicated that the environments of Porto Velho-RO, Rio Branco-AC and Ariquemes-RO are more similar to each other than the environments of Ouro Preto do Oeste-RO and Alta Floresta-RO of greater natural soil fertility and higher altitude. The AMMI1 biplot shows that genotypes 16, 10, and 13 had the highest mean yields, together with greater stability. In the AMMI2 scatterplot (IPCA1×IPCA2), the environments E4 and E5 were clustered in the same sector. Clustering based on the complex fraction of the G×E interaction coincided with the AMMI2 scatterplot that clustered the E4 and E5 environments in a single mega-environment. Except for these environments, all the others clustered as locations of different biotic and abiotic stress conditions. This result shows the importance of maintaining evaluations in these environments, which represent the conditions of the coffee fields in the region.

Key words: AMMI; Genotype × environment; Plant breeding.

1 INTRODUCTION

The genotype by environment (G×E) interaction has numerous implications for breeding of perennial species such as the *C. canephora* coffee plant (Ferrão et al., 2008; Moraes et al., 2020; Cilas et al., 2011). Change in performance of genotypes grown in different environments is important in clonal selection, which should be conducted in environments with different climatic, edaphic, and crop management conditions, aiming to identify genotypes with wide or specific adaptabilities (Cruz et al., 2014; Gauch et al., 2008; Mistro et al., 2003).

Several breeding methods consider a reduction in the original population, with selection of superior plants and an increase in the number of growing environments (Ferrão et al., 2017; Rocha et al., 2015). Performing clonal tests in different environments is one of the most important and also most costly steps of coffee breeding programs because it considers setting up, maintaining, and evaluating experiments in different locations for several years.

The Western Amazon is composed of the states of Amazonas, Acre, Rondônia, and Roraima, which represents nearly 40% of the territory of the Brazilian Amazon (Dalazen et al., 2019). In this region, coffee is grown mainly in the state

of Rondônia, which produces more than 90% of all the coffee marketed, a quantity of approximately two million sixty-kilogram bags in 2020 (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2020).

Rondônia has a predominantly warm-humid equatorial climate, with three dry months (July, August, September), with greater rainfall and a less accentuated dry season in northern regions of the state (Alvares et al., 2013). In these environments, coffee is grown on different types of soil, with predominance of Oxisols (58%) and Argisols (11%) of low natural fertility (Schlindwein et al., 2012).

Due to this diversity among the Western Amazon environments, the occurrence of the genotype by environment interactions of simple and complex types are expected. The latter being characterized by differences in genotype performances when the plants are grown in different locations (Spinelli et al., 2018; Teixeira et al., 2020).

Together with performance analysis of genotypes, procedures of environmental stratification make it possible to determine if the information evaluated in different locations is complementary or redundant (Resende et al., 2007; Carias et al., 2016; Ramalho et al., 2016). Analyses of environmental stratification also allow identifying environments where the

G×E interaction is of a simple nature or is not significant to inform decisions on future evaluations (Gauch et al., 2008; Cruz et al., 2014).

In this context, the aim of this study was to evaluate the environmental stratification and the performance of *C. canephora* clones grown in the Western Amazon.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Field trials

To quantify the performance of the clones in different environments, six clonal tests were performed from 2012 to 2018. The tests were set up in the range of 8° to 11° latitude, which corresponds to approximately 260 km in the north-south direction, and 62° to 67° longitude, which corresponds to approximately 620 km in the east-west direction.

The environment of Porto Velho, RO, more toward the north, and of Rio Branco-AC, more to the west, is characterized by high rainfall and by Oxisols of low natural fertility (Schlindwein, et al., 2012). The environments of Ouro Preto do Oeste-RO and of Ariquemes-RO are characterized by the low fertility of their Oxisols and by the well-defined dry

season in the period from July to September. The municipality of Alta Floresta do Oeste-RO, in turn, is characterized by higher altitude, lower temperature, and soils of greater natural fertility (Alvares et al., 2013).

The genotypes evaluated in the clonal tests comprised of eight open pollinated and twelve full-sib clones (Table 1). The full-sib clones were derived from the directed pollination between genitors from the Conilon and the Robusta botanical varieties (Souza et al., 2013). Four clones of the cultivar Conilon cv. BRS Ouro Preto were also used as controls (Table 1).

In December 2012 and January 2013, six final clonal competition trials were set up in different environments of the Western Amazon, described below:

Clonal competition test n°. 1: The trial in Ouro Preto do Oeste, RO (E1) was conducted in the experimental field of the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) at 10°43'55.3" S and 62°15'23.2" W, at 245 meters above sea level. The climate of the municipality is type "Aw" by the Köppen classification, defined as tropical humid with a dry winter and rainy summer. Mean annual temperature ranges from 21.2 °C to 30.3 °C, and the highest temperatures occur in July and August. Mean annual rainfall is 1939 mm and mean relative humidity is 81% (Alvares et al., 2013).

Table 1: List of the clones evaluated in six clonal competition trials conducted in five environments of the Western Amazon.

n	Genotype	Origin	Genealogy
1	BRS Ouro Preto-125	BRS Ouro Preto Cultivar	Open pollination
2	BRS Ouro Preto-160	BRS Ouro Preto Cultivar	Open pollination
3	BRS Ouro Preto-120	BRS Ouro Preto Cultivar	Open pollination
4	BRS2299	Robustas Amazônicos Cultivar	Open pollination
5	Clone 453	2001 Introduction	Open pollination
6	Clone 657	2001 Introduction	Open pollination
7	Clone 636	2001 Introduction	Open pollination
8	BRS3193	Robustas Amazônicos Cultivar	Open pollination
9	Hybrid 9	Progeny test	EMCAPA03 x IAC640
10	BRS3210	Robustas Amazônicos Cultivar	EMCAPA03 x IAC2258
11	Hybrid 11	Progeny test	EMCAPA03 x IAC194
12	Hybrid 12	Progeny test	EMCAPA03 x IAC2258
13	BRS3213	Robustas Amazônicos Cultivar	EMCAPA03 x IAC2258
14	BRS2314	Robustas Amazônicos Cultivar	EMCAPA03 x IAC640
15	Hybrid 15	Progeny test	EMCAPA03 x IAC2258
16	BRS1216	Robustas Amazônicos Cultivar	EMCAPA03 x IAC1675
17	Hybrid 17	Progeny test	EMCAPA03 x IAC1675
18	Hybrid 18	Progeny test	IAC640 x CPAFRO194
19	Hybrid 19	Progeny test	IAC1675 x CPAFRO194
20	BRS3220	Robustas Amazônicos Cultivar	EMCAPA03 x IAC1675

Genotypes preceded by the BRS prefix were registered in MAPA/RNC (2020) (Teixeira et al., 2020); IAC: Instituto Agronômico de Campinas; EMCAPA: Empresa Capixaba de Pesquisa Agrícola; CPAFRO: Centro Agroflorestal de Rondônia.

Clonal competition test n° 2: The trial in Porto Velho, RO (E2) was set up in the experimental field of Embrapa at 8°48'05.5" S and 63°51'02.7" W, at 88 meters above sea level. The predominant climate in the region is tropical rainy with a dry winter, type "Am" (Köppen), with mean temperature of 26.0°C and mean annual rainfall of 2095 mm. September is the hottest month of the year (27.1 °C), and May is the coldest month (24.9°C) (Alvares et al., 2013).

Clonal competition test n° 3: The trial in Ariquemes, RO (E3) was set up in the Federal Institute of Rondônia at 09°57'09.8" S and 62°56'53.7" W, and 128 meters above sea level. The predominant climate in the region is tropical rainy with a dry winter, type "Am" (Köppen), with mean temperature of 26.0 °C and mean annual rainfall of 2095 mm. Mean annual rainfall is 2181 mm and mean annual temperature is 25.4 °C; September is the warmest month and July is the driest (Alvares et al., 2013).

Clonal competition tests n° 4 and n° 5: The trials in Rio Branco, AC (E4 and E5) were set up at Embrapa Acre. Geographic coordinates are 10°1'30.98" S and 67°42'21.77" W at 180 meters above sea level. The predominant climate is tropical humid, type "Aw" (Köppen), with a well-defined dry season from June to August. Water deficit ranges from 50 to 100 mm year⁻¹. Mean annual rainfall is 1998 mm. Mean annual temperature is near 24.9 °C, with October as the hottest month and July as the driest month (Alvares et al., 2013).

Clonal competition test n° 6: The trial at the Alta Floresta do Oeste, RO (E6) environment was conducted on a private property at 12°08'23.06" S and 61°59'29.41" W at 436 meters above sea level. The climate classification is tropical humid "Aw" (Köppen). Mean annual temperature is near 23.4 °C. Mean annual rainfall is 1783 mm (Alvares et al., 2013). The soil chemical properties were evaluated in the Soil Analysis Laboratory of Embrapa Rondônia (Table 2).

The clonal competition trials were conducted in randomized block designs with three replicates of eight plants per plot; plots had dimensions of 3 m × 1.5 m. The randomization restriction was performed in the field to maximize homogeneity within each block. Soil nutritional, crop management, and phytosanitary practices at each trial site were carried out according to the recommendations of the Coffee Growing Production System in Rondônia (Marcolan et al., 2009). Four trials evaluated in Ouro Preto do Oeste, Porto Velho, Rio Branco and Alta Floresta do Oeste received complementary irrigation according to the needs of each environment from the first flowering period up to the beginning of the rainy period, which is from July to October. Two trials evaluated in the environments of Ariquemes and Rio Branco were set up and conducted under dryland conditions.

Hulled coffee yield (bag ha⁻¹) was evaluated in the 2014/15, 2015/16, and 2016/17 crop seasons. Each plot was harvested and weighed in the field using a precision balance. After that, 3 kg samples were collected and then dried on a cement drying yard with a barge-type covering until reaching 11-12% moisture, thus obtaining the quotient between field coffee and hulled coffee yield. The hulled coffee yield in 60 kg bags per hectare was determined using the following equation:

$$Yield = \left(\frac{uc}{np} \right) * np_{plants} * prop$$

where *uc* is coffee yield in bags per hectare; *uc* is uncleaned coffee production per plot (kg); *np* is the number of plants per plot; *np_{plants}* is the number of plants per hectare; *prop* is the proportion between hulled coffee and uncleaned coffee expressed in percentage; and 60 corresponds to the weight of a bag of hulled coffee in kilograms.

Table 2: Chemical properties at the 0,0-0,2 and 0,2-0,4 m depth layers of six clonal competition trials (E1 to E6) evaluated in five environments of the Western Amazon.

Environments	Depth layer (m)	pH	P g dm ⁻³	K g dm ⁻³	Ca g dm ⁻³	Mg cmolc dm ⁻³	Al+H g dm ⁻³	Al g dm ⁻³	OM kg kg ⁻¹	V %
E1 - Ouro Preto do Oeste	0.0-0.2	5.2	0.015	0.23	2.42	0.66	4.95	0.10	0.02	40
	0.2-0.4	5.4	0.008	0.32	2.71	0.88	5.94	0.00	0.02	40
E2 - Porto Velho	0.0-0.2	5.4	0.002	0.09	1.48	1.02	13.53	0.87	0.05	16
	0.2-0.4	4.9	0.002	0.05	0.39	0.37	13.37	1.65	0.04	6
E3 - Ariquemes	0.0-0.2	4.4	0.001	0.04	0.29	0.10	6.27	1.26	0.02	6
	0.2-0.4	4.4	0.001	0.02	0.16	0.08	5.28	2.40	0.01	5
E4, E5 - Rio Branco	0.0-0.2	5.5	0.004	0.15	2.10	0.55	1.88	0.00	0.01	60
	0.2-0.4	5.6	0.003	0.12	2.02	0.53	1.60	0.00	0.01	62
E6 - Alta Floresta do Oeste	0.0-0.2	6.0	0.024	0.64	8.25	0.97	5.45	0.00	0.03	64
	0.2-0.4	6.4	0.005	0.85	5.64	0.87	3.47	0.00	0.02	68

pH in water (1: 2.5); O.M. by wet digestion; P and K by the Mehlich I method; exchangeable Ca, Mg, and Al, OM: organic material using 1 mol KC.

2.2 Statistical analysis

2.2.1 Individual analyses and environmental index

The significance of the effect of genotypes on the mean yield over three years (bag ha⁻¹) was tested individually in each environment, considering the estimates of the F test of analysis of variance, the experimental coefficient of variation and the heritability in each environment. To quantify the contribution of the different environments to genotype performance, the environmental quality index (I_j) was estimated based on Eberhart and Russel (1966), according to the following equation:

$$I_j = \bar{y}_j - \bar{y}$$

where I_j is the environmental quality index; $\bar{y}_j$ is the overall average of the genotypes in environment j ; and $\bar{y}$ is the overall average of the genotypes in all the environments. This index allows classification of the environments that have I_j greater than or equal to zero as "favorable", and environments with negative I_j as "unfavorable".

2.3 Clustering of the environments: climate and soil characteristics

To quantify the similarity among the environments, reducing the dimensions of the data, eigenvectors were estimated from the climate characteristics: mean temp (°C), minimum temp (°C), maximum temp (°C), and rainfall (mm)] separately from the soil characteristics: pH, phosphorus (g/dm³), potassium (cmolc/dm³), calcium (cmolc/dm³), magnesium (cmolc/dm³), Al+H ratio (cmolc/dm³), organic matter (kg/kg), and base saturation (%)] (Hair et al., 2009). The two-dimensional scatterplot was thus obtained, whose axes represented the variations of the climate characteristics and of the soil characteristics in each one of them.

2.4 Combined analysis and effect of the genotype × environment interaction

After performing the individual analyses of variance and verifying the homogeneity of variances, a combined analysis was performed to quantify the effect of the G×E interaction, according to the model described by Cruz et al. (2014):

$$Y_{ijk} = m + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

where Y_{ijk} refers to observation of the i^{th} genotype in the k^{th} block and in the j^{th} environment; m is the experimental average; G_i is the effect of the i^{th} genotype (clone effect); B/A_{jk} is the effect of the k^{th} block within the j^{th} environment; A_j is the effect of the j^{th} environment; GA_{ij} is the effect of the interaction between the i^{th} genotype and the j^{th} environment; and E_{ijk} is

the experimental error. The genotypes were considered to have fixed effects, while the blocks and environmental effect were considered to be random.

2.5 Clustering of the genotypes and environments

The Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI) analysis according to Gauch et al. (2008) combines additive components for the main effects of genotype (g_i) and environments (a_j), and multiplicative components for the effect of the G×E interaction (ge_{ij}) in a single model. The model that describes the mean yield of a genotype i in environment j is as follows:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^q \sqrt{\lambda_k} \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \delta_{ij} + e_{ij}$$

where Y_{ij} is the observation of genotype i in environment j ; μ is the overall mean; g_i is the effect of genotype i ; a_j is the effect of environment j ; λ_k is the k^{th} singular value of the original matrix interactions (G×E); γ_{ik} is the element corresponding to the i^{th} genotype in the k^{th} singular vector of the G×E matrix column; α_{jk} is the element corresponding to the j^{th} environment in the k^{th} singular vector of the G×E matrix row; δ_{ij} is the residue not explained by the principal components; and e_{ij} is the average experimental error associated with observation, assumed to be independent and normally distributed [$e \sim N(0, \sigma^2)$]. Statistical analyses were performed using the Genes software (Cruz, 2016).

Estimates of Pearson correlation were also interpreted to compare the performance of the genotypes in relation to the mean performance of each environment (Resende, 2007; Cruz, 2016).

2.6 Complex part of the genotype × environment interaction

The complex part of the genotype × environment interaction was estimated between pairs of environments using the equation proposed by Cruz and Castoldi (1991):

$$C = \sqrt{(1-r)^3} \cdot Q_1 \cdot Q_2$$

where C is the complex part of the genotype × environment interaction; r is the correlation coefficient of the means in environments 1 and 2; Q_1 is the mean square of genotypes in environment 1; and Q_2 is the mean square of genotypes in environment 2. The estimates clustered in a symmetric matrix, squared, and with the diagonals equal to zero were used to obtain a tree diagram using UPGMA, so as to cluster the environments according to the complex fraction of the G×E interaction. Statistical analyses were performed using the GENES software (Cruz, 2016).

3 RESULTS

The individual analyses were interpreted to evaluate experimental accuracy and the effect of clones in each environment (Table 3). The estimates of the environmental quality index indicated that the environments of Alta Floresta do Oeste, RO; Rio Branco, RO, irrigated and in dryland; and Ouro Preto do Oeste, RO, were favorable for coffee growing, with mean yields of 77.5, 54.5, 54.4, and 50.6 bags per hectare, respectively (Table 3). The favorable environment of Alta Floresta has higher altitude, lower soil acidity, and higher base saturation of an Eutrophic Red Argisol.

The environments of Porto Velho, RO, and Ariquemes, RO, were classified as unfavorable for coffee production (Table 3). The clonal trial of the environment of Ariquemes, RO, conducted on dryland, resulted in the lowest mean yield over three years (21.16 bag ha⁻¹).

The estimates of the F test of the effect of clones in each environment were significant at 1% probability, indicating the importance of this effect for coffee yield (Table 3). The high estimates of heritability (amplitude from 0.85 to 0.94) also indicated the notable contribution of the effect of clones to expression of this characteristic.

The estimates of the coefficient of variation exhibited an amplitude from 11.11%, observed in the environment of Rio Branco, AC, to 26.54% in the environment of Ariquemes, RO. The ratio of 2.43 between the lowest and highest estimate of residual variance obtained among these environments indicated that there was homogeneity of variances, thus meeting one of the presuppositions for combined analysis (Cruz et al., 2014).

Combined analysis of variance indicated that the effects of genotypes (G), of environments (E), and of the G×E interaction were significant according to the F test ($p < .01$) (Table 3). The significance of the G×E interaction showed that the clones exhibited different performances in the environments evaluated. The overall mean of all the trials was 50.8 bag ha⁻¹, with amplitude from 21.3 bag ha⁻¹ in the municipality of Ariquemes, RO, to 77.5 bag ha⁻¹ in the municipality of Alta Floresta do Oeste, RO. The estimate of the experimental coefficient of variation ($CV_e = 17.36$) is associated with good experimental accuracy. The broad-sense heritability estimate ($h^2 = 0.94$) and of the ratio between the genetic and experimental coefficients of variation ($CV_g/CV_e = 1.74$) indicate the importance of the genotypic component for expression of this characteristic, associated with the condition favorable to obtaining gain from selection.

The reduction in dimensionality obtained from eigenvectors estimated using climate and soil characteristics indicated that the environments of Porto Velho, RO; Rio Branco, AC; and Ariquemes, RO, have greater similarity to each other than the environments of Ouro Preto do Oeste, RO, and Alta Floresta, RO, which are differentiated by greater natural fertility of the soil and higher altitude (Figure 1).

The AMMI1 biplot shows that genotypes 16, 10, and 13 exhibited the highest mean yields and low values on the IPCA1 axis, and genotype 13 had the lowest values on this axis (Figure 2).

The predictability of the response of these genotypes can also be verified by the estimates of correlation between their performance and the mean performance of the trials conducted in the different environments ($r_{16,\bar{x}} = 0.92$, $r_{10,\bar{x}} = 0.91$, $r_{13,\bar{x}} = 0.96$). Genotypes 14, 1, 20, 15, and 12 had yield higher than the mean of the experiments, along with high stability. Genotypes 4, 19, and 9 had high yield, along with lower stability.

Table 3: Summary of the individual and combined analyses of six clonal competition trials evaluated in five environments of the Western Amazon.

Individual analysis					
Environment	Yield (bag ha ⁻¹)	I _j	CV _e	F*	h ²
E1 - Ouro Preto do Oeste ¹	50.6	3.96	24.57	6.67**	0.85
E2 - Porto Velho ¹	44.8	-6.78	19.88	17.20**	0.94
E3 - Ariquemes ²	21.3	-30.43	26.54	9.40**	0.89
E4 - Rio Branco ¹	54.5	3.9	11.8	21.09**	0.93
E5 - Rio Branco ²	54.4	3.46	11.11	21.67**	0.94
E6 - Alta Floresta do Oeste ¹	77.5	25.91	14.18	12.23**	0.92
Combined analysis					
All environments	Yield (bag ha ⁻¹)	CV _g	CV _e	F ³	h ²
E1, E2, E3, E4, E5, E6	50.8	30.34	17.36	3.45**	0.94

Yield: mean yield over three years, I_j: environmental quality index, CV_e: experimental coefficient of variation, F*: F test of analysis of variance that tests the effect of clones (genotypes), h²: mean heritability in each environment. CV_g: genetic coefficient of variation, F³: F test of analysis of variance that tests the effect of the genotype × environment interaction, h²: broad-sense heritability. ¹Trial conducted using irrigation, ²Trial conducted under dryland conditions.

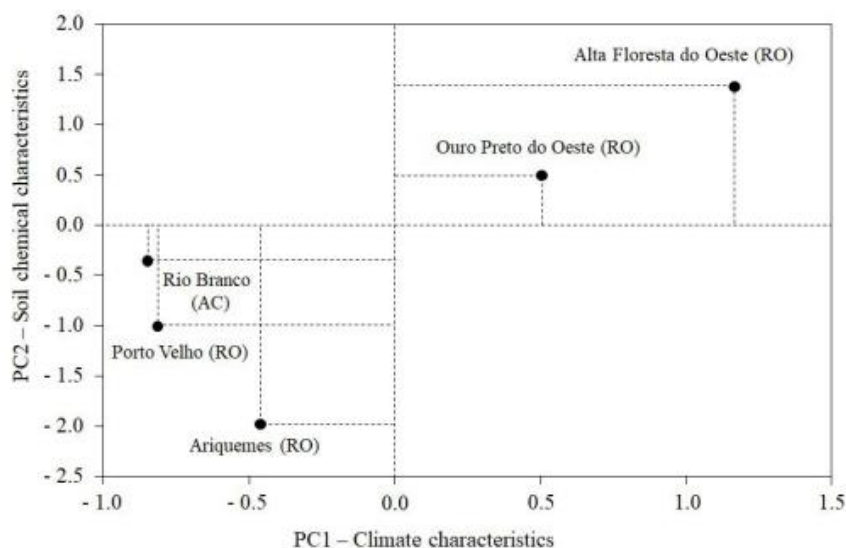


Figure 1: Scattering on the plane between the first principal component estimated from soil variables (64%) and of the first principal component estimated from climate variables (81%) of five environments of the Western Amazon.

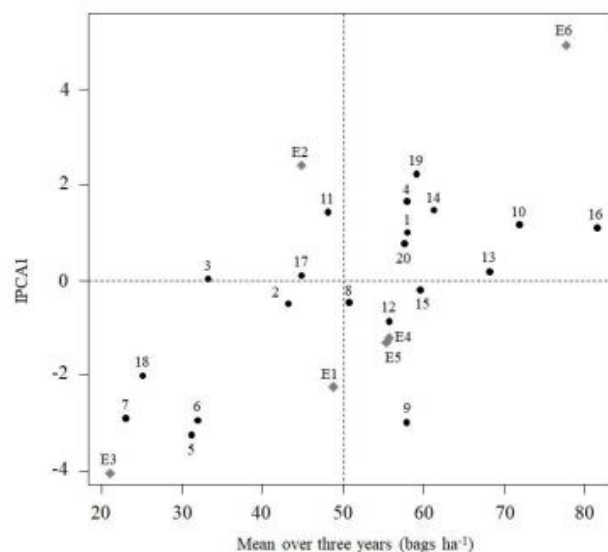


Figure 2: Scattering on the plane estimated using the AMMI method for evaluation of yield performance of 20 genotypes in six clonal competition trials (E1 to E6) grown in five environments of the Western Amazon. The genotypes and the environments with their respective reference numbers are identified in Table 1.

Genotypes 2, 3, and 17, in turn, had stability in their response, along with lower yield. And genotypes 18, 7, 6, 5, and 11 had low yield and low stability. The favorable environment of Alta Floresta do Oeste, RO (E6) was nearer genotypes 16, 13, and 10 and farther from the other environments. Genotypes of greater proximity to determined environments have higher specific stability for those locations (Gauch et al., 2008).

In the AMMI2 scatterplot ($IPCA1 \times IPAC2$), the mega-environment is defined by the clustering of two or more environments in a single sector, delimited by the lines that originate from the center of the scatterplot (Figure 3). In this biplot, only the E4 and E5 environments were clustered in the same sector. Genotypes 16, 10, 13, and 15 showed specific adaptation to the best environment, Alta Floresta do Oeste (E6).

The tree diagram estimated from the matrix of the complex fraction of the $G \times E$ interaction between pairs of environments was also used to cluster the environments that have similar biotic and abiotic stress conditions, complementing definition of mega-environments (Figure 4). The cut-off point established at the position of greatest divergence among the

environments coincides with the clustering of the AMMI scatterplot that clustered the E4 and E5 environments of the Rio Branco municipality in the same mega-environment. Hierarchical clustering showed that the E3, E2, E6, and E1 environments represent the environments most divergent from the cluster formed by E4 and E5.

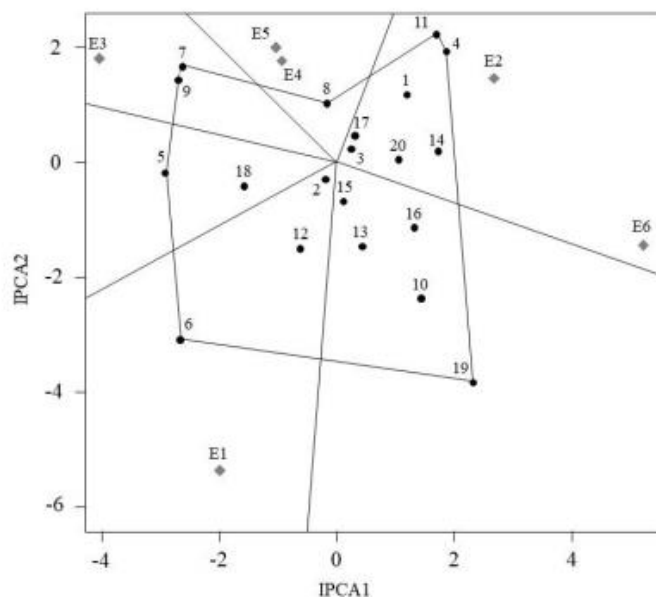


Figure 3: Scatterplot obtained from the first and second principal components estimated using the AMMI method for evaluation of yield performance of 20 genotypes in six clonal competition trials (E1 to E6) grown in five environments of the Western Amazon. Environments located in the same sector delimited by continuous lines are clustered in the same group.

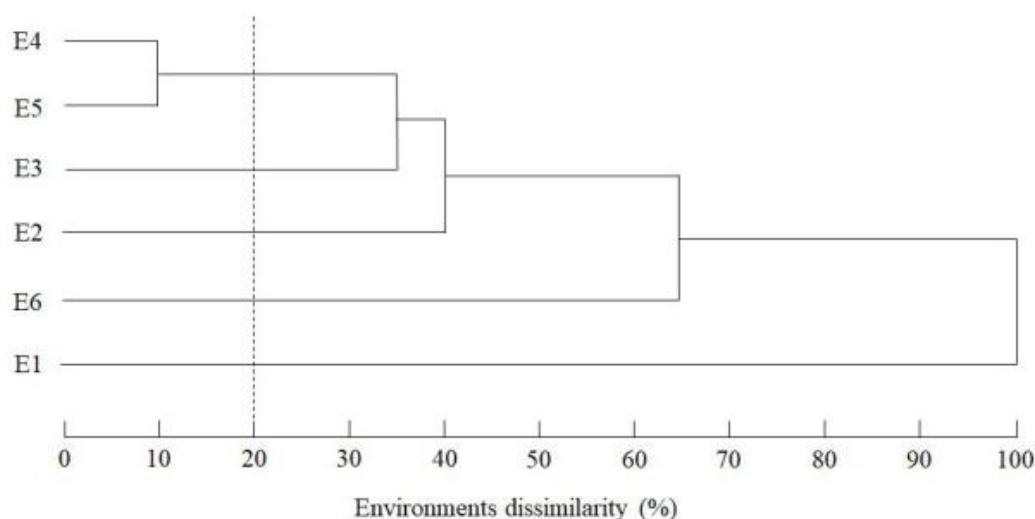


Figure 4: Dendrogram representing the dissimilarity of the environments estimated using the UPGMA algorithm from the matrix containing the complex part of the $G \times E$ interaction. The cut-off point was established in the clustering of greatest divergence among the environments.

4 DISCUSSION

This study details the response of clones grown in the Western Amazon considering the performance of the plants in contrasting environments, such as the trial without irrigation, set up in the municipality of Ariquemes, RO, and the trial under higher altitude and greater natural fertility conditions, set up in Alta Floresta do Oeste, RO. Moraes et al. (2020) evaluated the performance of the genotypes prior to their registration in the Brazilian Ministry of Agriculture (MAPA/RNC, 2020) in a smaller number of environments and also classified the environments of Ariquemes and Porto Velho as unfavorable for coffee production.

The environments of Ariquemes, RO, and Porto Velho, RO, classified as unfavorable for coffee production are identified by agricultural zoning of the state of Rondônia as less suitable for coffee growing in their Dystrophic Yellow Oxisols. In addition to lower soil fertility, the crop in Ariquemes was established without irrigation, aiming to evaluate the response of the clones under dryland conditions. Correlation between the performance of the genotypes in this environment and the other locations showed amplitude from 0.60 to 0.87 ($r_{E1E3} = 0.60$, $r_{E1E5} = 0.80$, $r_{E1E6} = 0.87$, $r_{E3E5} = 0.79$, $r_{E3E6} = 0.70$). Genotypes 16, 10, and 13 were highest yielding in this environment, followed by genotypes 9 and 12, which did not have high yields in other environments.

Environments E6, E1, E4, and E5 were considered favorable for coffee growing, especially the E6 environment, which had a mean that was 52% higher than the overall mean of all the trials. The favorable environment of Alta Floresta do Oeste differs from the others by higher altitude, lower soil acidity, and higher base saturation. Correlation between the ranking of the genotypes in this environment with the other locations showed an amplitude from 0.70 to 0.83 ($r_{E1E6} = 0.70$, $r_{E3E6} = 0.83$, $r_{E4E6} = 0.70$, $r_{E5E6} = 0.79$, $r_{E6E6} = 0.78$). Genotypes 10 and 16 were the highest yielding in this environment, followed by clones 19, 14, 1, and 13. Of this set, clone 19 was characterized by exhibiting greater yield only in this environment.

Even considering the higher estimates of the coefficient of variation observed in the non-irrigated environment of Ariquemes, the experimental accuracy had a magnitude similar to that observed in other studies (Montagnon et al., 2003; Martins et al., 2019). Combined analysis, in turn, indicated the genotype $\times$ environment (G $\times$ E) interaction as significant. The significant G $\times$ E interaction hinders identification of genotypes of wide adaptation since this interaction is characterized by the change in performance of the clones in the different environments (Ferrão et al., 2008; Montagnon et al., 2008; Damatta et al., 2018), however, it allows for selection of location specific genotypes.

Change in yield performance in different environments is a characteristic of the coffee plant that has been observed in

other studies. Significant G $\times$ E interactions were also observed in evaluation of several clones in different environments in Ivory Coast (Montagnon et al., 2008) and in evaluation of clones of the Conilon botanical variety grown in the state of Espírito Santo in Brazil (Ferrão et al., 2008). Similarly, Moraes et al. (2020) observed significant G $\times$ E interaction in the region investigated in this study in environments classified as unfavorable for coffee growing.

Success in selection of plants of greater adaptability and stability is associated with the magnitude of the genotypic effects (Rocha et al., 2021; Bikila et al., 2017). Heritability estimates ranging from 0.80 to 0.90 realized in this study were also observed by Resende et al. (2001) in evaluation of *Coffea arabica* cultivars in the Southeast region of Brazil. Ferrão et al. (2008), Ramalho et al. (2016), and Silva et al. (2018) also observed heritability estimates for yield higher than 0.80 in evaluation of *C. canephora* genotypes in the states of Espírito Santo and Rondônia in Brazil. In field trials evaluated in Ghana, Akperterey, Anim-Kwapong and Ofori (2018) observed that heritability estimates are higher at early years of production. In similar trials, significant associations between yield and some juvenile vegetative growth traits were observed (Akperterey, Anim-Kwapong; Ofori, 2019).

Change in the performance of the clones from one environment to another can be of the simple type, when there is no change in the ranking of the clones from one environment to another, or of the complex type, when the best genotypes in one environment are not the best in other environments (Silva et al., 2019; Partelli et al., 2020). The greater stability of genotype 13 in comparison to genotypes 16 and 10 is due to the lower performance of genotype 10 in the environment of Porto Velho ($\bar{x}_{16} = 88.67$, $\bar{x}_{13} = 72.27$, and $\bar{x}_{10} = 60.97$) and greater response to improvement of the environment of the genotypes 16 and 10 grown in Alta Floresta do Oeste ($\bar{x}_{16} = 106.47$, $\bar{x}_{13} = 91.00$, and $\bar{x}_{10} = 111.40$). Genotypes 14, 1, 20, 15, and 12 had yield superior to the mean of the experiments, along with high stability. Genotypes 14 and 20 not only have yields higher than the mean, but are differentiated by higher beverage quality and hardness, respectively (Teixeira et al., 2020).

The trials were set up with clones of the cultivar Conilon BRS Ouro Preto, registered in the year 2013 (genotypes 1, 2, and 3); clones from the cultivar Robustas Amazônicas, registered in the year 2019 (genotypes 16, 13, 10 14, 4, 8, and 20); and other clones selected under experimental conditions (5, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, and 19). In general, were observed superiority of the full-sib clones derived from the directed pollination between Conilon and the Robusta botanical varieties, which exhibited greater overall adaptability. Heterosis, also called hybrid vigor, characterized by the greater vigor observed in the individual hybrids, is observed in this allogamous and self-incompatible species

(Leroy et al., 1997; Davis et al., 2006; Montagnon et al., 2008; Oliveira et al., 2018). Hybrids of smaller size with the drought resistance of Conilon, together with the greater sieve and resistance to the pests and diseases of Robusta have stood out in field evaluations (Souza et al., 2013; Dalcomo et al., 2015; Ramalho et al., 2016).

We found greater specific adaptability of the coffee clones in our current study comparable with the findings of Bergo et al. (2020) who observed greater specific adaptability of coffee plants selected in the Amazon region compared to coffee plants selected in other regions. This higher vigor and yield may be due to the adaptability of those plants to the edaphic and climatic conditions of the Western Amazon, which is characterized by soil acidity, high rainfall, and a well-defined dry season.

Another interesting characteristic was conducting two trials in the same environment so as to consider the variation among environments and within the same environment. Environments E4 and E5 clustered near each other in the two scatterplots, having been allocated to the same group. Both the AMMI2 biplot (Figure 3) and the hierarchical cluster estimated from the complex part of the genotype $\times$ environment interaction (Figure 4) indicated that only environments E4 and E5 grown in the municipality of Rio Branco, AC, were clustered in the same mega-environment. The dendrogram showed that the environments are most similar one to another in the following order: E4, E5, E3, E2, E6, E1.

The term mega-environment refers to locations that are not necessarily near but that have similar conditions and similar biotic and abiotic stresses. This definition aims at rationalizing evaluation through allocation of resources in different locations to better predict the response of the genotypes, increasing the efficiency of breeding programs (Gauch et al., 2008). Except for environments E4 and E5, all the environments proved to be locations with different biotic and abiotic stress conditions. This result shows the importance of maintaining evaluations in these locations, which may represent conditions of coffee fields in this region.

5 CONCLUSIONS

The reduction in the dimensionality of the data, estimated from climate and soil characteristics, indicated that the environments of Porto Velho, RO; Rio Branco, AC; and Ariquemes, RO, have greater similarity than the environments of Ouro Preto do Oeste, RO, and Alta Floresta, RO, which are differentiated by greater natural fertility of the soil and higher altitude.

The AMMI1 biplot, which associates clone performance with their stability, showed that genotypes 16 (BRS1216), 10 (BRS 3210), and 13 (BRS 3213) had the highest mean yields, together with higher stability.

In the AMMI2 biplot (IPCA1 $\times$ IPCA2), the environments E4 and E5 were clustered in the same sector, delimited by the lines originating from the center of the scatterplot.

Clustering based on the complex fraction of the G $\times$ E interaction coincided with the AMMI2 scatterplot that clustered the E4 and E5 environments in a single mega-environment. Except for these environments, all the others clustered as locations of different biotic and abiotic stress conditions. This result shows the importance of maintaining evaluations in these environments and should guide future breeding, selection efforts as well as *C. canephora* production in the Western Amazon region.

6 ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - Finance Code 001) for scholarships. They are also grateful to CPC (Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café) and to CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for financial support.

7 REFERENCES

- AKPERTEY, A.; ANIM-KWAPONG, E.; OFORI, A. Genetic Variation among Robusta coffee genotypes for growth and yield traits in Ghana. *Journal of Agricultural Science*, 10(4):138-149, 2018.
- AKPERTEY, A.; ANIM-KWAPONG, E.; OFORI, A. Early selection for yield in robusta coffee based on juvenile growth traits. *African Crop Science Journal*, 27(4):571-584, 2019.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):711-728, 2013.
- BERGO, L. et al. Estimation of genetic parameters and selection of *Coffea canephora* progenies evaluated in Brazilian Western Amazon. *Coffee Science*, 15(1):e151663, 2020.
- BIKILA, B. A.; SAKIYAMA, N. S. Estimation of genetic parameters in *Coffea canephora* Var. Robusta. *Advances in Crop Science and Technology*, 5(5):310, 2017.
- CARIAS, C. M. O. M. et al. Predição de ganhos genéticos via modelos mistos em progênies de café conilon. *Coffee Science*, 11(1):39-45, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Acompanhamento de safra brasileiro - grãos: safra 2019/2020*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. Available in: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS>>. Access in: Mach, 02, 2021.

- CILAS, C. et al. Yield stability in clones of *Coffea canephora* in the short and medium term: longitudinal data analyses and measures of stability over time. **Tree Genetics & Genomes**, 7:421-429, 2011.
- CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 668p.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, 38(1):422-430, 1991.
- CRUZ, C. D. Genes Software - Extended and integrated with the R, matlab and selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, 38(4):547-552, 2016.
- DALAZEN, J. R. et al. Base genética da cafeicultura e caracterização dos principais clones cultivados no estado de Rondônia. In: PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C. **Café conilon: Conhecimento para superar desafios**. Alegre: CAUFES, v. 1, p. 165-177, 2019.
- DALCOMO, J. et al. Evaluation of genetic divergence among clones of conilon coffee after scheduled cycle pruning. **Genetics and Molecular Research**, 14(4):15417-15426, 2015.
- DAMATTA F. M. et al. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 66:5264-5274, 2018.
- DAVIS, A. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, 152(4):465-512, 2006.
- FERRÃO, R. G. et al. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43(1):61-69, 2008.
- EBERHART, S. A. T.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop Science**, 6(1):36-40, 1966.
- FERRÃO, R. G. et al. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al. **Café conilon**. Vitória: DCM/Incapar, v. 1, p. 131-175, 2017.
- GAUCH, H. G., et al. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. **Crop Science**, 48(3):866-889, 2008.
- HAIR, J. R. et al. **Multivariate data analysis**. Upper Saddle River, Nova Jersey: Prentice Hall, 2009, 761p.
- LEROY, T. et al. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first cycle intergroup crosses. **Euphytica**, 95(3):347-354, 1997.
- MAPA/RNC. **Registro Nacional de cultivares RNC**. 2020. Available at: <http://www.agricultura.gov.br/guia-de-servicos/registro-nacional-de-cultivares-rnc>. Access in: February,08,2021.
- MARCOLAN, A. L. et al. **Cultivo dos cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho, Rondônia: Embrapa Rondônia, 2009. 61p.
- MARTINS, M. Q. et al. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, 252:238-242, 2019.
- MISTRO, J. C. et al. Effective population size and genetic gain expected in a population of *Coffea canephora*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 19(1):1-7, 2019.
- MONTAGNON, C. et al. Heritability of *Coffea canephora* yield estimated from several mating designs. **Euphytica**, 133(2):209-218, 2003.
- MONTAGNON, C. et al. Heterozygous genotypes are efficient testers for assessing between-population combining ability in the reciprocal recurrent selection of *Coffea canephora*. **Euphytica**, 160:101-110, 2008.
- MORAES, M. S. et al. Adaptability and stability of *Coffea canephora* pierre ex froehner genotypes in the Western Amazon. **Ciência Rural**, 50(1):e20190087, 2020.
- OLIVEIRA L. N. L. et al. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties Conilon and Robusta for the production of intervarietal hybrids. **Ciência Rural**, 48:e20170444, 2018.
- PARTELLI, F. L. et al. Tributun: A coffee cultivar developed in partnership with farmers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20:e30002025, 2020.
- RAMALHO, A. R. et al. Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of 'Conilon' coffee. **Revista Ciência Agronômica**, 47(3):516-523, 2016.
- RESENDE, M. D. V. et al. Precision and quality control in variety trial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 37(3):182-194, 2007.
- RESENDE, M. D. V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, 60(3):185-193, 2001.
- ROCHA, R. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. **Ciência Rural**, 45(9):1531-1537, 2015.