

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CURSO DE MESTRADO**

**INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE E CORRELAÇÕES  
ENTRE OS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E DE  
FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO EM MANDIOCA**

**Luana da Silva Guedes**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
2024**

# **INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE E CORRELAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E DE FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO EM MANDIOCA**

**Luana da Silva Guedes**

Bacharel em Engenharia Florestal

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 2021

Dissertação apresentada ao colegiado do programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

**Orientador:** Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira

**Coorientadora:** Dra. Massaine Bandeira e Sousa

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

G924i	<p>Guedes, Luana da Silva.</p> <p>Interação genótipo x ambiente e correlações entre os atributos agronômicos e de florescimento e frutificação em mandioca / Luana da Silva Guedes. _ Cruz das Almas, BA, 2024. 70f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira. Coorientadora: Dra. Massaine Bandeira e Sousa.</p> <p>1.Mandioca – Cultivo. 2.Mandioca – Melhoramento genético. 3.Climatologia agrícola – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 633.682</p>
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CURSO DE MESTRADO**

**INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE E CORRELAÇÕES ENTRE OS  
ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E DE FLORESCIMENTO E  
FRUTIFICAÇÃO EM MANDIOCA**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de Luana da Silva Guedes

Aprovada em 26 de agosto de 2024

---

Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Diego Fernando Marmolejo Cortes  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB  
(Examinador Interno)

---

Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
(Examinador Externo)

## DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos que trilharam esta caminhada comigo e foram cruciais para que eu conseguisse chegar até aqui. Dedico aos meus pais, Ana Lúcia Silva e Ivan Guedes, à meu irmão Vinícius Guedes, à meu companheiro de vida Edilson Cardoso, meus avós maternos Antônio Pereira (*in memoria*) e Evonildes Alves, meus avós paternos Benjamin Vasques e Maria Guedes e minha grande amiga e madrinha Mariane Vasques. Eles que sempre acreditaram em meu potencial e foram fonte de amor, cuidado, incentivo e equilíbrio. Vocês terão minha eterna gratidão e admiração.

*Toda honra e glória a Deus!*

## EPIGRAFE

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

**(Arthur Schopenhauer)**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por ter sido fonte de discernimento, luz e proteção em todos os momentos;

Aos meus pais, Ana Lúcia da Silva Guedes e Ivan Guedes Vasques, pela educação, valores, apoio, cuidado, colo, incentivo, amor e todas as orações. Grata por nunca terem “soltado a minha mão”!

Ao meu companheiro Edilson Cardoso, por ter tornado essa caminhada mais leve e feliz possível, por ter sido abrigo em momentos difíceis, por todo apoio, amor, paciência, cuidado e incentivo;

À minha madrinha e grande amiga Mariane Vasques, por todo incentivo, apoio, preocupação e todas as orações;

Às minhas amigas Rafaela Vasques e Vanessa Palma, sobretudo pela amizade, por terem sido abrigo, colo e cumplicidade ao longo desta e outras fases da minha vida;

Ao professor e orientador Dr. Eder Jorge de Oliveira, pela orientação que me permitiu a realização deste trabalho, por todo conhecimento compartilhado comigo, apoio e incentivo;

À minha coorientadora Dra. Massaine Bandeira e Sousa, por todo apoio e orientação ao longo da realização deste estudo, pela disponibilidade, incentivo, paciência e boa vontade. Gratidão por todos os ensinamentos!

À Embrapa Mandioca e Fruticultura pelo acesso a suas estruturas, equipamentos e ferramentas necessárias para desenvolvimento desta pesquisa, além da disponibilidade de toda a equipe de colaboradores, especialmente a equipe da mandioca, com a qual pude aprender muito e compartilhar diversos momentos. Em especial, o Marcos França, pelo auxílio nas atividades de campo e pela amizade. Me auxiliou na fase de coleta de dados e sempre se mostrou disposto a me ajudar no que fosse necessário, e fazia sempre com um sorriso no rosto e o coração cheio de bondade. À Lucas Nascimento, pelo suporte no deslocamento para realização das minhas atividades em campo; à Cinara pelo acolhimento, por me auxiliar, compartilhando seus conhecimentos e pelo grande apoio em momentos ímpares;

Às minhas colegas do grupo da mandioca Leila e Reisane, pelo apoio, troca de experiências, conversas paralelas e inúmeros momentos compartilhados;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, pela oportunidade da realização deste curso de Mestrado e por todo apoio necessário para realização desta pesquisa;

À CAPES pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa de estudos pelo período de 24 meses de estadia em Cruza das Almas;

À todos os docentes do programa de pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB e Embrapa Mandioca e Fruticultura, por todo conhecimento compartilhado, e suporte na realização desta pesquisa, em especial os professores Andréa Vita Reis Mendonça e Rogério Ferreira Ribas, por serem tão humanos quanto excelentes profissionais, merecem toda minha admiração e gratidão.

No mais, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram e torceram por meu sucesso.

*“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nele, e ele tudo fará”.*  
**(Salmos 37:5)**

## INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE E CORRELAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E DE FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO EM MANDIOCA

**RESUMO:** A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) apresenta variabilidade genética e adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas. O melhoramento genético enfrenta desafios, como a falta de sincronização e a baixa taxa de florescimento, dificultando a geração de variedades melhoradas e a redução do ciclo de melhoramento. Este estudo visa: i) avaliar a variabilidade genética da capacidade de florescimento e frutificação; ii) analisar a interação genótipo x ambiente e a influência das variáveis climáticas no florescimento; iii) estimar parâmetros genéticos correlacionando arquitetura de plantas e florescimento com atributos produtivos. Para isso, foram realizados dois experimentos com germoplasma de mandioca. No experimento 1 (2019/2020), foram analisados 290 genótipos, e no experimento 2 (2022/2023), 343 genótipos. Mensalmente, a partir do quarto mês após o plantio (MAP), foram avaliados o número de flores masculinas (NFM), femininas (NFF) e frutos (NFR), além da nota média de floração (NM) e nota ponderada pela floração precoce (NP). Aos 12 MAP, foram realizadas avaliações de arquitetura da planta, produção e qualidade das raízes. Os dados de florescimento foram correlacionados com os atributos produtivos e com as variáveis climáticas. Os genótipos foram agrupados com base na análise discriminante de componentes principais (DAPC). Foi observado a presença de variabilidade genética para as características de florescimento e frutificação. Além disso, 76% dos genótipos mostraram alta estabilidade para florescimento e 24% floresceram em apenas um experimento. No geral, 86% dos genótipos apresentaram florescimento precoce (até o 4º MAP). Os genótipos foram agrupados em 5 grupos distintos para as características de florescimento, frutificação e atributos produtivos. Os genótipos pertencentes ao Grupo 1 apresentaram alta performance de floração e frutificação ao longo dos 12 MAP, além de apresentarem florescimento mais precoce. Temperaturas diárias média entre 21,5 °C e 24 °C favorecem a produção de flores durante o experimento 2. Não houve correlações significativas entre os atributos de florescimento e produtivos. Esse estudo contribui para melhor entendimento sobre o florescimento em mandioca, subsidiando futuros programas de melhoramento populacional da mandioca.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz; Variabilidade genética; Variáveis climáticas; Melhoramento Genético.

## **GENOTYPE × ENVIRONMENT INTERACTION AND CORRELATIONS BETWEEN AGRONOMIC AND FLOWERING AND FRUITING ATTRIBUTES IN CASSAVA**

**ABSTRACT:** Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) presents genetic variability and adaptability to diverse soil and climate conditions. Genetic improvement faces challenges, such as lack of synchronization and low flowering rate, hindering the generation of improved varieties and reducing the breeding cycle. This study aims to: i) evaluate the genetic variability of flowering and fruiting capacity; ii) analyze the genotype x environment interaction and the influence of climatic variables on flowering; iii) estimate genetic parameters correlating plant architecture and flowering with productive attributes. For this, two experiments were carried out with cassava germplasm. In experiment 1 (2019/2020), 290 genotypes were analyzed, and in experiment 2 (2022/2023), 343 genotypes. Monthly, starting from the fourth month after planting (MAP), the number of male flowers (NFM), female flowers (NFF) and fruits (NFR) were evaluated, in addition to the average flowering score (NM) and the score weighted by early flowering (NP). At 12 MAP, evaluations of plant architecture, production and root quality were performed. Flowering data were correlated with productive attributes and climatic variables. The genotypes were grouped based on discriminant analysis of principal components (DAPC). The presence of genetic variability was observed for flowering and fruiting characteristics. In addition, 76% of the genotypes showed high stability for flowering and 24% flowered in only one experiment. Overall, 86% of the genotypes showed early flowering (up to the 4th MAP). The genotypes were grouped into 5 distinct groups for flowering, fruiting and productive attributes. Genotypes belonging to Group 1 showed high flowering and fruiting performance throughout the 12 MAP, in addition to presenting earlier flowering. Average daily temperatures between 21.5 °C and 24 °C favored flower production during experiment 2. There were no significant correlations between flowering and productive attributes. This study contributes to a better understanding of flowering in cassava, supporting future cassava population improvement programs.

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz; Genetic variability; Climate variables; Breeding.

## SUMÁRIO

1. Revisão Bibliográfica.....	12
2. Referências Bibliográficas.....	20
1. Introdução.....	28
2. Material e métodos.....	30
2.1 Material vegetal e caracterização ambiental dos experimentos.....	30
2.2 Avaliação do florescimento.....	32
2.3 Avaliação de características agronômicas.....	33
2.4 Análises estatísticas.....	33
3. Resultados.....	34
3.1 Características gerais do florescimento.....	34
3.2 Análise de deviance para atributos de florescimento e frutificação em mandioca.....	35
3.3 Performance média da produção de flores e frutos durante o período experimental.....	37
3.4 Relação entre o florescimento e frutificação com variáveis climáticas.....	39
3.5 Correlações fenotípicas entre as características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos.....	40
3.6 Análise discriminante de componentes principais (DAPC) para as características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos.....	44
4. Discussão.....	48
4.1 Variabilidade genética e estabilidade para características de florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca.....	48
4.2 Influência dos fatores climáticos e ambientais na produção de flores e frutos.....	51
4.3 Correlação entre as características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos de produtividade.....	54
4.4 Similaridade fenotípica para características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos.....	56
5. Conclusão.....	58
6. Referências Bibliográficas.....	60

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Aspectos gerais da cultura da mandioca

A mandioca pertence a ordem Malpighiales, família Euphorbiaceae e gênero *Manihot*, sendo caracterizada como um arbusto lenhoso e perene que produz raízes tuberosas como reservas, compostas principalmente por amido (BAYATA, 2019; KOUAKOU *et al.*, 2016). É uma espécie originária da América do Sul e tem o Brasil como seu provável centro de diversidade (ALLEM, 2002).

A espécie foi difundida e cultivada pelas demais regiões do mundo por portugueses e espanhóis, no período colonial a partir do século XV (CEBALLOS *et al.*, 2010). Sendo assim, além do processo de domesticação, geralmente realizado pelos próprios produtores, a grande diversidade genética apresentada pela cultura é decorrente da seleção natural, durante a evolução da espécie, facilidade de polinização cruzada, e da sua alta heterozigotidade, o que origina continuamente uma infinidade de novas combinações genotípicas (FUKUDA; SILVA, 2002; MATTOS *et al.*, 2006).

Sua propagação vegetativa por meio de estaquia, é feita por segmentos do caule comumente conhecidos como manivas, o que possibilita manter as características morfológicas e agrônômicas da planta original (SILVA *et al.*, 2001). A cultura também é propagada via reprodução sexuada (via semente botânica), embora esse não é o meio de reprodução utilizado para propagação comercial (SILVA *et al.*, 2001; MATTOS *et al.*, 2006; ABRIL *et al.*, 2019). Devido a presença de uma alta heterozigotidade entre os genótipos, a reprodução sexuada resulta em uma ampla diversidade fenotípica nas progênes (KAWANO *et al.*, 1978). Essa diversidade é importante para fins de melhoramento genético, onde existe o controle dos cruzamentos e extensivas seleções clonais até a obtenção de uma nova variedade (CEBALLOS *et al.*, 2004).

A espécie destaca-se por sua rusticidade e capacidade de adaptação a condições adversas de clima e solo (CONAB, 2017). Os locais mais favoráveis para o cultivo da mandioca são aqueles que apresentam altas temperaturas em regiões tropicais e subtropicais e solos ricos em matéria orgânica, leves e bem drenados, enquanto locais com solos pesados e saturados não favorecem o cultivo da espécie (KOUAKOU *et al.*, 2016).

O bom desempenho da mandioca em ambientes adversos ocorre devido aos mecanismos fisiológicos adaptativos, como o fechamento parcial dos estômatos quando submetida a condições propensas à escassez hídrica (tolerância à seca por meio da conservação da umidade); acúmulo de ácido abscísico, variação no desenvolvimento das raízes, acúmulo de prolina e resposta positiva ao aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico (KIMBALL *et al.*, 2002; ROSENTAHAL; ORT, 2012; DANQUAH *et al.*, 2020). Em grande parte das plantas a elevação de CO<sub>2</sub> atmosférico gera aumento na taxa de crescimento pelo fato de o CO<sub>2</sub> ser substrato para a fotossíntese; entretanto, a elevação da temperatura do ar pode anular os benefícios gerados pelo CO<sub>2</sub> em diversas espécies de plantas (STRECK, 2005). Alguns autores argumentam que o aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico pode resultar em aumento da produtividade de raízes de mandioca (KIMBALL *et al.*, 2002; ROSENTAHAL; ORT, 2012; CRUZ *et al.*, 2016; 2018), o que pode contribuir no seu cultivo em países mais propensos aos efeitos climáticos adversos previstos (EL-SHARKAWY, 2014; KOUAKOU *et al.*, 2016).

## **1.2 Importância socioeconômica da mandioca**

Fundamental no cenário socioeconômico mundial, a mandioca é a base alimentar especialmente em países subdesenvolvidos e em diversos países em desenvolvimento (EL-SHARKAWY, 2012). O Brasil foi o maior produtor da raiz de mandioca até 1991, quando passou a liderança para a Nigéria (FAOSTAT, 2022). Em 2022 a produção mundial de mandioca foi ~330,4 milhões de toneladas, sendo que a maior produção se concentrou na Nigéria (60,8 milhões de toneladas), Congo (48,7 milhões de toneladas), Tailândia (34 milhões de toneladas), Gana (25,5 milhões de toneladas), Cambodia (17,7 milhões de toneladas) e Brasil (17,6 milhões de toneladas e área plantada de 1,18 milhões de hectares) (FAOSTAT, 2022).

A produção de mandioca é uma atividade agrícola importante no país, especialmente nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Centro Sul. O país conta com diversas indústrias que transformam a mandioca em produtos de maior valor agregado, gerando empregos e fomentando a economia local, fazendo com que a mandioca seja uma cultura de elevado potencial de exploração econômica. O amido da mandioca é utilizado como matéria prima em indústria alimentícia, cosmética, farmacêutica, metalúrgica, de biocombustíveis (produção de etanol), de papel e têxtil, de mineração, de construção, de ração animal (CARDOSO *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018; DANKWA, PEPRAH., 2019).

A indústria de fécula (amido) de mandioca surgiu no Brasil na década de 1950, com as primeiras unidades industriais instaladas em Santa Catarina (CARDOSO; SOUZA, 1999). A exportação de produtos derivados da mandioca, como fécula e farinha, contribui para a geração de divisas para o país, na qual estima-se que são gerados em média um milhão de empregos diretos (ALVES, 2023). O Brasil possui um parque industrial para o processamento da mandioca, com capacidade de moagem de 21,4 mil toneladas de raízes por dia, concentrada nos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo (CEPEA., 2019).

A cultura também é uma importante fonte de renda para os produtores rurais. Os grandes produtores lidam com o mercado em larga escala, obtendo uma significativa rentabilidade, enquanto pequenos e médios produtores tem a mandioca como um fator de segurança alimentar e estabilidade financeira, isto é possível já que a cultura apresenta adaptação às mudanças climáticas, baixa necessidade de investimento de capital e capacidade de produção em solos de baixa fertilidade e uso de fertilizantes (VALLE; LORENZI, 2014).

### **1.3 Melhoramento genético da mandioca**

Com intuito de conservar a variabilidade genética e disponibilizar fontes de variação para o melhoramento genético, foram criados os bancos de germoplasma de mandioca (BAG) em diversos países e em instituições brasileiras, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (FUKUDA, 1996). Mundialmente, os bancos de germoplasma de mandioca mais representativos localizam-se no CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, na Colômbia) dispendo de aproximadamente 6.000 acessos (OKOGBENIN *et al.*, 2007), no IITA (Instituto Internacional de Agricultura Tropical, na Nigéria) com média de 4.000 acessos (DUMET *et al.*, 2011), e na EMBRAPA com cerca de 4.000 acessos pertencentes a várias regiões do país e do exterior. Na Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada em Cruz das Almas (BA), são mantidos cerca de 2.000 acessos provenientes de diferentes regiões brasileiras, tendo sua origem como material genético “crioulo” e clones melhorados.

Atualmente estes bancos têm sido utilizados para conservar a variabilidade genética da espécie e para uso como recurso genético para uso presente e futuro em programas de melhoramento. Os principais objetivos dos programas de melhoramento de mandioca são o desenvolvimento de cultivares com adaptação às principais

regiões produtoras, elevado desempenho agrônômico, alta qualidade de raízes e amido, bem como resistência a pragas e doenças (CEBALLOS *et al.*, 2010). O melhoramento da cultura iniciou-se em meados dos anos 40, por instituições de pesquisa regionais que buscavam atender as demandas de cada região, com foco na introdução e avaliação do germoplasma disponível (FARIAS *et al.*, 2006). Nessa época, iniciou-se em São Paulo, na Seção de Raízes e Tubérculos do IAC, um dos primeiros projetos voltados ao melhoramento genético da mandioca, mediante o desenvolvimento e avaliação de uma coleção de variedades da região e de outros estados (CORDEIRO, 2003). O projeto desenvolveu as primeiras técnicas de produção comercial da espécie, que até então estava direcionada ao cultivo de subsistência e apresentava traços de exploração indígena (BAZZO, 2007).

A partir de então, o processo de melhoramento genético permitiu um avanço no rendimento médio de raízes por hectare. O uso de variedades locais permite atingir um rendimento de até 30 toneladas por hectare, enquanto para variedades melhoradas o rendimento pode alcançar 70 toneladas de raízes por hectare (KOUAKOU *et al.*, 2016).

Os trabalhos de pesquisa em melhoramento de mandioca no Nordeste foram iniciados em 1952 pelo Instituto de Pesquisa Agropecuária do Leste (IPEAL), em Cruz das Almas-BA, mediante a coleta e avaliação de cultivares no recôncavo baiano e municípios circunvizinhos. Nesse momento, as primeiras cultivares foram obtidas através da seleção de variedades locais e, algumas, ainda continuam sendo recomendadas para áreas específicas da região nordeste, a exemplo da Cigana Preta (FUKUDA; PORTO, 1991; DINIZ *et al.*, 2004). No início da década de 1960, foram gerados os primeiros híbridos de cruzamentos livres e em 1975 foram efetuados os primeiros trabalhos de cruzamentos dos quais resultaram os clones EAB 501 e EAB 451 (FUKUDA *et al.*, 1999). A partir de 1976 os trabalhos de melhoramento passaram a ser conduzidos pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, em parceria com as demais instituições de Pesquisa do Nordeste. Os primeiros projetos tinham como objetivos principais a ampliação da variabilidade genética das coleções de trabalho através de coletas, introdução e avaliação (FUKUDA *et al.*, 1999). Entre 1978 e 2024 foram gerados e avaliados milhares de clones para os diversos ecossistemas do Nordeste dos quais foram selecionados e recomendados clones com finalidades específicas para indústria, consumo fresco e animal (FUKUDA *et al.*, 1999).

#### **1.4 Características do florescimento em mandioca versus desenvolvimento de variedades melhoradas: objetivos e desafios**

A mandioca é uma espécie monoica, apresenta flores masculinas (estaminadas) e femininas (pistiladas), ambas separados na mesma inflorescência (OLUWASANYA *et al.*, 2021). As flores femininas são dispostas na parte superior das inflorescências, em menor quantidade, enquanto as flores masculinas estão presentes na parte basal (ALVES, 2002), sendo que para cada flor feminina existe uma proporção equivalente a 10 flores masculinas (GRANER, 1942). Existe protoginia (abertura das flores femininas antecede a abertura das masculinas), podendo ocorrer à abertura simultânea das flores masculinas e femininas na mesma planta, porém em inflorescências diferentes. Esse processo dificulta a autopolinização e contribui para a alta heteroziguidade dos clones de mandioca, como resultado do favorecimento da polinização cruzada (LIMA; SANTOS, 2020).

A época de florescimento é um fator determinante para o melhoramento da mandioca pois é um componente importante para determinar a duração do ciclo de melhoramento (OLUWASANYA *et al.*, 2021). Alguns clones florescem com aproximadamente 4 ou 5 meses após o plantio (MAP), enquanto outros iniciam a floração somente após 10 MAP (ABRIL *et al.*, 2019) e alguns não florescem (ALVES, 2002). Além disso, a semente botânica requer um período de dois a três meses para amadurecer e é dependente das condições ambientais e do genótipo, por esse motivo a obtenção de sementes por cruzamento planejado é um longo processo, levando em torno de um a dois anos para ser obtido (ABRIL *et al.*, 2019).

A partir da década de 70, vários estudos vêm sendo realizados para compreender os mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos relacionados à floração da mandioca (CEBALLOS *et al.*, 2017). O que está consolidado é que o início da floração é dependente do genótipo e das condições ambientais e conforme a planta se desenvolve e ramifica, o ponto de ramificação do caule é um ponto de florescimento (CEBALLOS *et al.*, 2017; ALVES, 2002; SOUZA *et al.*, 2018). Portanto, quanto maior o número de eventos ou níveis de ramificação maior o florescimento, ou seja, maior é a capacidade de gerar indivíduos.

Fatores como a falta de sincronismo e a baixa taxa ou ausência de florescimento, além das elevadas taxas de aborto de flores, observados em grande parte dos genótipos de mandioca (CEBALLOS *et al.*, 2017; BAGUMA *et al.*, 2023), são limitantes e prejudicam e prolongam o processo de desenvolvimento de novas

cultivares. Essas limitações dificultam a recombinação da variabilidade genética disponível na espécie por meio da hibridação ou autofecundação (CEBALLOS *et al.*, 2017). A sincronização do florescimento em mandioca possivelmente contribuiria de maneira significativa para o planejamento de cruzamento de variedades elite, na produção de populações segregantes e na amplificação do uso da seleção genômica, bem como redução do seu ciclo de melhoramento genético (CEBALLOS *et al.*, 2017).

Segundo Ceballos *et al.* (2010), em cultivos intensivos a preferência por cultivares de porte ereto, com ausência de ramificação, ou que ramifiquem em alturas elevadas tende a reduzir o potencial de uso desses genótipos como parentais em blocos de cruzamento. Isso ocorre porque a formação das inflorescências é dependente da ramificação das hastes. Portanto, existe o desafio de selecionar parentais que floresçam para que seja possível gerar populações segregantes e que ao mesmo tempo seja possível selecionar indivíduos dessas populações que possuam porte ereto ou ramificações em alturas mais elevadas (>1,60m).

### **1.5 Correlações entre florescimento, atributos produtivos e de qualidade de raiz em mandioca**

Estudos têm reportado a existência de correlações entre o florescimento e características relacionadas à produtividade de algumas culturas agrícolas (DIDONET, 2010; MALLIKARJUNA *et al.*, 2019). Resultados indicam que em culturas importantes para produção de grãos como o feijão (DIDONET, 2010), e o grão-de-bico (MALLIKARJUNA *et al.*, 2019), a quantidade de florescimento desempenha um importante papel, pois está diretamente associada a quantidade de grãos produzidos.

No caso de espécies de propagação clonal, cujo produto comercial não é o produto diretamente derivado da fecundação das flores, a correlação entre atributos produtivos e florescimento deve atender objetivos indiretos. No caso da cana-de-açúcar, onde o maior interesse comercial é o caule, o florescimento é uma característica indesejada pelos produtores, pois afeta negativamente a produtividade da cultura (PEREIRA, 2012), e portanto, deve-se selecionar clones com baixo florescimento para uso comercial.

Em mandioca, ao mesmo tempo que o florescimento é um fator complicador para a obtenção de variedades melhoradas, existem alguns agricultores que preferem utilizar variedades com muitas ramificações e por consequência, com elevada capacidade de florescimento, pois tendem a ter maior área fotossintética e

indiretamente maior produtividade de raízes. Entretanto, existe enorme carência de estudos científicos relacionados a influência da floração sobre características de produtividade e qualidade de raízes ou das plantas de mandioca. Considerando que a melhoria da produtividade e da qualidade de raízes de mandioca é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético da cultura, é interessante que estudos como estes sejam direcionados à espécie.

### **1.6 Influência dos fatores ambientais no florescimento de mandioca**

O florescimento é um processo importante e complexo no ciclo de desenvolvimento das plantas, que revela a sua adaptabilidade às variações ambientais e é responsável pelo sucesso reprodutivo (BÄURLE; DEAN, 2006). O florescimento em muitas espécies é altamente influenciado por fatores ambientais, isso possibilita que o início da floração ocorra sob condições mais apropriadas a determinados locais. O conhecimento a respeito do florescimento em mandioca, no que tange os aspectos relacionados a sua relação com fatores ambientais (interação genótipo × ambiente) ainda é pouco explorada, porém estudos mostram que os fatores genéticos e ambientais podem afetar o desempenho da floração e da frutificação de variedades de mandioca (ALVES, 2002; CEBALLOS *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2024).

Fatores ambientais como temperatura, precipitação e fotoperíodo são considerados os fatores abióticos que mais influenciam a capacidade reprodutiva da mandioca (ADEYEMO *et al.*, 2019). Santos *et al.* (2024) observaram que a época de plantio pode promover a precocidade de florescimento e elevar a taxa de floração dos genótipos de mandioca. Sousa *et al.* (2021) concluíram que fatores ambientais contribuem para uma barreira pós-zigótica em mandioca, identificando que temperaturas elevadas ocasionam o aborto das flores e redução no número de flores femininas por inflorescência, logo afeta também a formação de sementes. Contudo Adeyemo *et al.* (2018) identificaram que duas variedades de mandioca (IBA980002 e TMEB419) apresentaram menor taxa de floração sob temperaturas diurnas e noturnas mais elevadas (34 e 31 °C) em comparação com temperaturas mais baixas (22–28 °C durante o dia e 19–25 °C à noite). Em contrapartida, Souza *et al.* (2020) identificaram ampla variação fenotípica para características associadas à floração e à frutificação no germoplasma de mandioca, que apresentaram diferentes reações às variações climáticas impostas durante o desenvolvimento dos acessos. Para a maioria do

germoplasma, o período de maior florescimento ocorreu na primavera (6 MAP), sob temperaturas mais elevadas (25 °C) e fotoperíodo mais longo (12, 19 h) em comparação com o período outono-inverno (22 °C e 11h70 min).

Recentemente várias técnicas têm sido reportadas como alternativas para induzir o florescimento da mandioca, como utilização de luzes vermelhas para estender o fotoperíodo associado a poda prematura da ramificação lateral (BAGUMA *et al.*, 2023; SANTOS *et al.*, 2023). Entretanto, de acordo com Santos *et al.* (2023) a extensão do fotoperíodo não foi eficiente para promover aumento no número de flores, porém, possibilitou a precocidade no florescimento dos genótipos de mandioca, o que indica que ainda é preciso investigar o uso desses novos métodos em diferentes regiões e condições edafoclimáticas para que tenha validação mais ampla para uso rotineiro nos programas de melhoramento.

Conhecer os fatores que condicionam o sucesso reprodutivo da mandioca (produção de flores e sementes), possibilita aumentar a probabilidade de ganhos com a hibridização, subsidiando a seleção de parentais e o planejamento do sincronismo ideal da floração, garantindo a predição das melhores épocas de plantio para grupos específicos de genótipos, visando atender as condições climáticas ideais para determinados grupos (SOUZA *et al.*, 2020). Portanto, considerando a sua ampla faixa de cultivo em nível mundial e em vista às variações climáticas globais, é importante que as instituições de pesquisa realizem avaliações do seu germoplasma para identificar acessos menos suscetíveis às variações ambientais para esse atributo (SOUSA *et al.*, 2021).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, R.L.N.; PINEDA, L.M.; WASEK, I.; WEDZONY, M.; CEBALLOS, H. Reproductive biology in cassava: stigma receptivity and pollen tube growth. **Communicative & Integrative Biology**, v.12, n.1, p.1-19. 2019. doi: 10.1080/19420889.2019.1631110

ADEYEMO, O.S.; HYDE, P.T.; SETTER, T. L. Identification of FT Family genes that respond to photoperiod, temperature and genotype in relation to flowering in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Reproduction**, v.32, p.181-191, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00497-018-00354-5>

ALLEM, A.C.; 2002. **The origins and taxonomy of cassava**. In: HILLOCKS, R.J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A.C. (Eds.), *Cassava: Biology, Production and utilization*. CABI Publishing. Wallingford, UK, p. 345.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. **Cassava: Biology, Production and Utilization**, v. 1, p. 67-89, 2002.

ALVES, A.B. **O Cultivo da Mandioca em Roraima**. Embrapa Roraima, Sistema de Produção, Ed.2, p. 1-52. 2023. ISSN 1809-2675 2

BAGUMA, J.K.; MUKASA, S. B.; NUWAMANYA, E.; ALICAI, T.; Omongo, C.; HYDE, P.T.; SETTER, T.L.; OCHWO-SSEMAKULA, M.; ESUMA, W.; KANAABI, M.; IRAGABA, P.; BAGUMA, Y.; KAWUKI, R.S. Flowering and fruit-set in cassava under extended red-light photoperiod supplemented with plant-growth regulators and pruning. **BMC Plant Biology**, v.23, n.335, p.2-17, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04349-x>

BÄURLE, I.; DEAN, C. The timing of developmental transitions in plants. **Cell**, v.125, p.655-663, 2006. doi 10.1016/j.cell.2006.05.005

BAYATA, A. Review on nutritional value of cassava for use as a staple food. **Science Journal of Analytical Chemistry**, v.7, n.4, p.83-91, 2019. doi: 10.11648/j.sjac.20190704.12

BAZZO, Raquel. **IAC colhe bons resultados no melhoramento de mandioca**. (2007).

CARDOSO, C. E. L., SOUZA, J. D. S., GAMEIRO, A. H. **Aspectos econômicos e mercado**. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca, p. 41-70, 2006.

CARDOSO, C.E.L.; SOUZA, J.S. **Aspectos agro-econômicos da cultura da mandioca: potencialidades e limitações**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. 27 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos, 86)

CEBALLOS, H.; KULAKOW, P.; HERSHEY, C. Cassava Breeding: Current Status, Bottlenecks and the Potential of Biotechnology Tools. **Tropical Plant Biol.** v. 5, p.73–87, 2012. DOI 10.1007/s12042-012-9094-9

CEBALLOS, H.; IGLESIAS, C. A.; PÉREZ, J. C.; DIXON, A. G. Cassava breeding: opportunities and challenges. **Plant molecular biology**, v. 56, n. 4, p. 503-516, 2004. doi: 10.1007/s11103-004-5010-5.

CEBALLOS, H.; JARAMILLO, J. J.; SALAZAR, S.; PINEDA, L. M.; CALLE, F.; SETTER, T. Induction of flowering in cassava through grafting. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 9, n. 2, p.19-29, 2017. doi: 10.5897/JPBCS2016.0617

CEBALLOS, H.; OKOGBENIN, E.; PÉREZ, J.C.; BERCERRA, L. A.; DEBOUCK D. Cassava. In: Bradshaw J. Root and tuber crops. **Springer**, v.7, p.53-96, 2010. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92765-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92765-7_2)

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA, 2019. **Indicadores, Boletim da Mandioca** (online). Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/mandioca.aspx>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – **CONAB**, 2017 (acesso em novembro 2023). **Mandioca: raiz, farinha e fécula – Conjuntura Mensal** – fevereiro 2017 - Conab (online). Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>

CORDEIRO, Z. J. M. **Cultivo da mandioca na região Centro sul do Brasil**. 2003.

CRUZ, J.L.; ALVES, A.A.C.; LECAIN, D.R.; ELLIS, D.D.; MORGAN, J.A. Elevated CO<sub>2</sub> concentrations alleviate the inhibitory effect of drought on physiology and growth of cassava plants. **Scientia Horticulturae**, v. 210, p. 122–129, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.012>

CRUZ, J.L.; LECAIN, D.R.; ALVES, A.A.C.; FILHO, M.A.C.; COELHO, E.F. Elevated CO<sub>2</sub> reduces whole transpiration and substantially improves root production of cassava grown under water deficit. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n.12, p. 1623-1634, 2018. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1446523>

DANKWA, K. O.; PEPRAH, B. B. Industrialization of cassava sector in Ghana: progress and the role of developing high starch cassava varieties. **Ghana Journal of Agricultural Science**, v. 54, n. 2, p. 79-85, 2019.

DANQUAH, J.A.; ASANTE, I. K.; ADUENING, J.M.; AGYARE, R. Y.; GRACEN, V. E.; OFFEI, S.K. Genotypic variability in some morpho-physiological traits in different environments and their relationship with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root yield. **Windawi- International Journal of Agronomy**, p.19, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/5871351>

DIDONET, A.D. Importância do período de pré-floração na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p.512, 2010. ISSN 1983-4063

DINIZ, M.S.; OLIVEIRA, A.M.G.; COUTINHO, S.C.; SANTANA, M.A. **Comportamento de variedades de mandioca nos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália - BA** [recurso eletrônico]. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1809-5003.; n. 35).

DUMET, D.; KORIE, S.; ADEYEMI, A. Cryobanking Cassava Germplasm at IITA. **Acta Horticulturae**, v. 908, p. 439-446, 2011.

EL-SHARKAWY, M.A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, p.162-186, 2012.

EL-SHARKAWY. M.A. Global warming: causes and impacts on agroecosystems productivity and food security with emphasis on cassava comparative advantage in the tropics/subtropics. 2014. **Global Warming and impacts on agroecosystem**, p. 178.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 06 de outubro 2022.

FARIAS, A. R. N.; SOUZA, L. S.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. **Aspectos Socioeconômicos e Agrônômicos da Mandioca**. 1ª ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006.

FUKUDA, W.M.G., CAVALCANTI, J.; FUKUDA, C.; COSTA, I.R.S. **Variabilidade genética e melhoramento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) In: Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. (on line). Versão 1.0. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido/Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, nov., 1999. Disponível em: Acesso em: fev. 2024.

FUKUDA, W. M. G. **Banco de germoplasma de mandioca: manejo, conservação e caracterização**. Cruz das Almas: EMBRAPA - CNPMF, p.103, 1996.

FUKUDA, W. M. G.; SILVA, S. O.; IGLESIAS, C. Cassava Breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.617-638, 2002.

FUKUDA, W.M.G.; PORTO, M.C.M. A mandioca no Brasil. In: Hershey, C.H. (ed.). **Mejoramiento genético de la yuca en América Latina**, Cali, Colombia. CIAT, 1991. p. 15-42.

GRANER, E. A. **Notas sobre florescimento e frutificação da mandioca.** 1942.

HOWELER, R.; LUTALADIO, N.; THOMAS, G. **Save and grow: cassava. A guide to sustainable production intensification.** FAO, p. 129, 2013.

KAWANO, K. Factors affecting efficiency of hybridization and selection in cassava. **Crop Science**, v. 18, n.3, p. 373-376, 1978.

KIMBALL B. A.; KOBAYASHI, K.; BINDI, M. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. **Advances in Agronomy**, v.77, p.293-368, 2002.

KOUAKOU, J.; NANGA, S.N.; PLAGNE-ISMAIL, C.; PALI, A.M.; OGNAKOSSAN, K.E. Cassava Production and Processing. **Collection pro-agro**, p.5-39, 2016. ISBN (CTA): 978-92-9081-597-6

LIMA, A. C. C.; SANTOS, V.S. Autofecundação em mandioca. **Ciências em Tempo de Crise**, p.30. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.2020.

MALLIKARJUNA, B.P.; VISWANATHA, K.P.; SAMINENI, S.; GAUR, P.M. Association of flowering time with phenological and productivity traits in chickpea. **Euphytica**, v.215, n.77, p.9, 2019.

MATTOS, P.L.P.; FARIAS, A.R.N.; FERREIRA, F.J. **Mandioca: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília (DF).** Embrapa Informação Tecnológica.; 2006. 176 p.

OKOGBENIN, E.; PORTO, M. C. M. EGESI, C.; MBA, C.; ESPINOSA, E.; SANTOS, L. G.; OSPINA, C.; MARÍN, J.; BARRERA, E.; GUTIÉRREZ, J.; EKANAYAKE, I.; IGLESIAS, C.; FREGENE, M. A. Marker-assisted introgression of resistance to cassava mosaic disease into Latin American germplasm for the genetic improvement of cassava in Africa. **Crop Science**, v. 47, p. 1895-1904, 2007.

OLIVEIRA, E. J.; DOS SANTOS, P. E. F.; PIRES, A. J. V.; TOLENTINO, D. C.; DA SILVA SANTOS, V. Selection of cassava varieties for biomass and protein production in semiarid areas from Bahia. **Bioscience Journal**, v. 32, p.661-669, 2016.

OLUWASANYAI, D.N.; GISEL, A.; STAVOLONE, L.; SETTERI, T.L. Environmental responsiveness of flowering time in cassava genotypes and associated transcriptome changes. **Plos One**, v.16, n.7, p.24, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253555>

PEREIRA, I.A. Florescimento da cana: Um buquê de prejuízos. **Canal Jornal da Bioenergia**, USP - ESALQ. 2012.

ROSENTHAL, D. M.; ORT, D. R. Examining cassava's potential to enhance food security under climate change. **Tropical Plant Biology**, v.5, p.30-38, 2012.

SANTOS, A.D.; SOUSA, M. B.; ALVES, A.A.C.; OLIVEIRA, E.J. Environmental factors influence the production of flowers and fruits of cassava. **Scientia Horticulturae**, v.323, n.1, p.18, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112498>

SANTOS, A.D.; SOUSA, M. B.; ALVES, A.A.C.; OLIVEIRA, E.J. Flowering induction in cassava using photoperiod extension premature pruning and plant. **PLOS ONE**, v.18, n.10, p.18, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292385>

SILVA, L. E. B.; DOS SANTOS, J. K. B.; BARBOSA, J. P. F.; LIMA, L. L. C.; DE SALES SILVA, J. C. Aspectos gerais e peculiaridades sobre mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Diversitas Journal**, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2018.

SILVA, R.M.; BANDEL, G.; FARALDO, M.I.F.; MARTINS, P.S. Biologia reprodutiva de etnovarietades de mandioca. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.101-107, 2001. doi: 10.1590/S0103-90162001000100016

SOUSA, M. B.; ANDRADE, L. R. B.; SOUZA, E. H.; ALVES, A. A. C.; OLIVEIRAI, E. J. Reproductive barriers in cassava: Factors and implications for genetic improvement. **Plos One**, v.16, n.11, p.27, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260576>

SOUZA, L. S.; ALVES, A. A.C.; OLIVEIRA, E. J. Phenological diversity of flowering and fruiting in cassava germplasm. **Scientia Horticulturae**, v.265, p.8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.10925>

SOUZA, L.S.; DINIZ, R.P.; NEVES, R.J.; CUNHA, A.A.; OLIVEIRA, E.J. Grafting as a strategy to increase flowering of cassava. **Scientia Horticulturae**, v.240, p. 544-551, 2018. doi: 10.1016/j.scienta.2018.06.070

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v.35, p.730-740, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300041>

VALLE, T.L.; LORENZI, J.O. **Varietades melhoradas de mandioca como instrumento de inovação, segurança alimentar, competitividade e sustentabilidade: contribuições do instituto agrônomo de campinas (IAC)**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 31, n. 1, p. 15-34, 2014.

## CAPÍTULO 1

**INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE E CORRELAÇÕES ENTRE OS  
ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E DE FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO EM  
MANDIOCA**

## INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE E CORRELAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E DE FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO EM MANDIOCA

**RESUMO:** Esse estudo aborda os desafios do melhoramento genético da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), focando na variabilidade genética relacionada à capacidade de florescimento e frutificação, além da influência de fatores climáticos nesse processo. Os objetivos incluíram avaliar a variabilidade genética e as correlações entre florescimento/frutificação e atributos produtivos das raízes. Foram realizados dois experimentos: o primeiro com 290 genótipos e o segundo com 343, dos quais 87 foram comuns entre eles. As avaliações foram mensais, entre o 4º e o 12º mês após o plantio, e incluíram medições do número de flores masculinas (NFM), flores femininas (NFF) e frutos (NFr), além de notas de florescimento em uma escala de 0 a 3. Ao final do período de 12 meses, análises agronômicas foram realizadas para avaliar a produção e a qualidade das raízes. O estudo utilizou análises de correlação entre florescimento e atributos agronômicos, regressões cúbicas entre variáveis climáticas e florescimento, além de uma análise discriminante de componentes principais (DAPC). Os resultados indicaram uma ampla variabilidade genética nas características de florescimento e frutificação. A interação entre genótipo e ambiente foi significativa, com a variância ambiental tendo maior impacto sobre NFM e NFF, enquanto a variância residual afetou NFr. Os valores de herdabilidade ( $H^2$ ) para NFr, NFM e NFF foram de 0,32, 0,47 e 0,31 no primeiro experimento, reduzindo no segundo para 0,32, 0,26 e 0,17, respectivamente. Na análise conjunta, a  $H^2$  reduziu para NFr (0,27) e NFM (0,02), enquanto aumentou para NFF (0,59). Aproximadamente 76% dos genótipos mostraram alta estabilidade no florescimento, e 86% apresentaram florescimento precoce. O aumento da temperatura, variando de 25 °C a 29 °C, e a precipitação entre 100 e 200 mm foram associadas à diminuição do número de flores e frutos no segundo experimento. Não foram encontradas correlações significativas entre florescimento e atributos de produção, mas houve forte correlação entre características de florescimento e frutificação. Este estudo é crucial para compreender a influência dos fatores climáticos no florescimento e para o planejamento de cruzamentos em programas de melhoramento da mandioca.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz; Melhoramento Genético; Variabilidade Genética; Variáveis Climáticas.

## **GENOTYPE × ENVIRONMENT INTERACTION AND CORRELATIONS BETWEEN AGRONOMIC ATTRIBUTES AND FLOWERING AND FRUITING IN CASSAVA**

**ABSTRACT:** This study examines the challenges associated with the genetic improvement of cassava (*Manihot esculenta* Crantz), focusing on the genetic variability related to flowering and fruiting capacity, as well as the influence of climatic factors on these processes. The main objectives were to evaluate genetic variability and the correlations between flowering/fruiting and the yield traits of the roots. Two experiments were conducted: the first involved 290 genotypes, while the second included 343 genotypes, with 87 being common to both. Monthly evaluations were carried out from the 4th to the 12th month after planting, measuring the number of male flowers (NFM), female flowers (NFF), and fruits (NFr), along with flowering scores on a scale of 0 to 3. At the end of the 12-month period, agronomic analyses were conducted to assess root production and quality. The study employed correlation analyses between flowering and yield traits, cubic regressions between climatic variables and flowering, as well as discriminant analysis of principal components (DAPC). The results revealed a broad genetic variability in flowering and fruiting characteristics. A significant interaction between genotype and environment was observed, with environmental variance having a greater impact on NFM and NFF, while residual variance influenced NFr. Heritability values ( $H^2$ ) for NFr, NFM, and NFF were 0.32, 0.47, and 0.31 in the first experiment, decreasing in the second to 0.32, 0.26, and 0.17, respectively. In the joint analysis,  $H^2$  decreased for NFr (0.27) and NFM (0.02), while it increased for NFF (0.59). Approximately 76% of the genotypes exhibited high stability in flowering, and 86% demonstrated early flowering. An increase in temperature, ranging from 25 °C to 29 °C, and precipitation between 100 and 200 mm were associated with a reduction in the number of flowers and fruits in the second experiment. No significant correlations were found between flowering and yield traits, but strong correlations were observed between flowering and fruiting characteristics. This study is vital for understanding how climatic factors influence flowering and for planning breeding strategies in cassava breeding programs.

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz; Genetic Improvement; Genetic Variability; Climatic Variables.

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), originou-se na América do Sul (ALLEM, 2002; OLSEN, 2004) e posteriormente foi intercambiada para Ásia e África, assumindo grande importância principalmente nas regiões tropicais (CEBALLOS *et al.*, 2010). Atualmente nessas regiões, a mandioca ocupa a terceira posição em termos de importância econômica logo após o arroz e o milho, sendo cultivada para o consumo humano e animal e mais recentemente tem ampliado seu uso como matéria prima em diversos segmentos industriais (TONUKARI, 2004), como indústria alimentícia, cosmética, farmacêutica, metalúrgica, biocombustíveis (produção de etanol), papel e têxtil, mineração e ração animal (CARDOSO *et al.*, 2006; DANKWA; PEPRAH, 2019). Por ser uma espécie que apresenta capacidade de adaptação a diversos tipos de clima e solo (EGESI *et al.*, 2007), a mandioca é comumente cultivada em zonas marginais com solos de baixa fertilidade e escassez hídrica (BAYATA, 2019), garantindo fonte de renda e subsistência aos produtores que residem nestas regiões como alternativa aos desafios climáticos (SOUSA *et al.*, 2021).

A mandioca é uma importante fonte de carboidratos, sendo em média capaz de produzir cerca de 40% e 25% a mais desse elemento, por área, em comparação com o arroz e milho, respectivamente (TONUKARI, 2004). Embora todas as partes da planta possam ser utilizadas para uso econômico, o principal produto comercial da mandioca é a raiz. De acordo com FAO, a produção mundial em 2022 foi de aproximadamente 330,4 milhões de toneladas, plantadas em 28,2 milhões de hectares (FAOSTAT, 2022). Entretanto, a produtividade da mandioca é bastante variável, a exemplo da variação brasileira de 7,33 t ha<sup>-1</sup> e 23,65 t ha<sup>-1</sup> a nos estados da Bahia e Paraná, respectivamente (IBGE, 2022). As razões dessa discrepância nacional em termos de produtividade de raízes, pode ser devido às diferenças no nível de tecnificação da produção e o uso de variedades melhoradas. Portanto, como um dos componentes essenciais à maior produtividade de raízes, o uso de variedades melhoradas e de alta performance agrônômica tem sido uma demanda crescente do setor produtivo, sobretudo para atender a demanda de mandioca para fins industriais de processamento e transformação, sobretudo em produtos de maior valor agregado (FAO, 2021).

Comercialmente, a mandioca é comumente propagada via assexuada, por meio de segmentos do caule, comumente chamados de manivas, que mantem as

características genéticas da planta matriz na geração seguinte. Entretanto, a mandioca também pode ser propagada via sexuada, por meio de sementes botânicas (ABRIL *et al.*, 2019). Os melhoristas utilizam esse método de reprodução para realizar cruzamentos controlados com parentais selecionados a fim de desenvolver novas combinações genotípicas que podem tornar o desempenho agrônômico desses genótipos superior aos dos parentais, quando utilizadas técnicas adequadas de seleção (IBRAHIM *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2021). Apesar disso, existem diversos fatores que prejudicam a utilização de parentais elites em blocos de cruzamentos, como a ausência ou baixa taxa de florescimento, além da falta de sincronização do período de produção de flores masculinas e femininas nos diferentes genótipos de mandioca (CEBALLOS *et al.*, 2017). Alguns clones de mandioca apresentam florescimento precoce, ou seja, 4 a 5 meses após o plantio (MAP), enquanto outros florescem tardiamente aos 8 a 10 MAP (CEBALLOS *et al.*, 2017), ou não chegam a florescer, sobretudo quando cultivados em regiões de baixa altitude.

Outro fator limitante é que a capacidade de floração está diretamente relacionada à ramificação das hastes, ou seja, quanto maior no número de ramificações, maior o número de flores produzidas (CEBALLOS *et al.*, 2017; ALVES, 2002; SOUZA *et al.*, 2018). Por outro lado, a preferência dos agricultores por cultivares de porte ereto, com ausência de ramificação, ou que ramifiquem em alturas elevadas, tendem a reduzir o potencial de uso desses genótipos como parentais em blocos de cruzamento (CEBALLOS *et al.*, 2017). Portanto, existe o desafio de selecionar parentais com elevados valores de melhoramento para as características chaves de seleção, que floresçam em sincronia com outros genótipos para realização dos cruzamentos, e que ainda sejam capazes de gerar populações segregantes com indivíduos que tenham porte ereto ou ramificações em alturas mais elevadas (> 1,60m) para uso no sistema de produção como novas cultivares, principalmente em regiões que demandam maior mecanização dos plantios.

Outro aspecto crucial é a influência dos fatores ambientais no entendimento do florescimento em mandioca, para que seja possível fazer com que o início da floração ocorra sob condições e épocas em que o clima seja mais apropriado para os cruzamentos (SOUSA *et al.*, 2021). Os fatores que influenciam o florescimento em mandioca ainda são pouco explorados, porém, estudos recentes mostram que os fatores genéticos e ambientais como temperatura, precipitação e fotoperíodo podem afetar o desempenho da floração e da frutificação em variedades de mandioca

(CEBALLOS *et al.*, 2011; ADEYEMO *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2020). Estudos têm reportado a existência de correlações entre a floração e características relacionadas à produtividade de diversas espécies, principalmente em cereais e outras espécies produtoras de grãos (DIDONET, 2010; MALLIKARJUNA *et al.*, 2019). Entretanto, existe carência de estudos relacionados a influência da floração em características de produtividade e qualidade de raízes em espécies tuberosas, como é o caso da mandioca.

O conhecimento limitado sobre os fatores ambientais e variações genéticas que influenciam o florescimento da mandioca têm dificultado a exploração dos recursos genéticos da espécie no processo de melhoramento e, com isso, a obtenção de ganhos genéticos para produção de raízes, resistência a fatores bióticos e tolerância a estresses ambientais (SOUZA *et al.*, 2020). No processo de avaliação do germoplasma de mandioca é possível identificar ampla variação para florescimento e para características morfoagronômicas e de produtividades (SOUZA *et al.*, 2010; 2020; ARELLANO *et al.*, 2020; AMARULLAH, 2021; CARVALHO *et al.*, 2022). Com isso, é possível selecionar genótipos úteis do ponto de vista agrônomo e que ao mesmo tempo sejam capazes de gerar progênes com maior número de indivíduos. Desse modo, o presente estudo tem como objetivos *i)* avaliar a variabilidade genética da capacidade de florescimento e frutificação; *ii)* avaliar a interação genótipo × ambiente e a influência dos fatores climáticos no florescimento; *iii)* estimar parâmetros genéticos correlacionando informações de arquitetura de plantas e florescimento com atributos produtivos no germoplasma de mandioca.

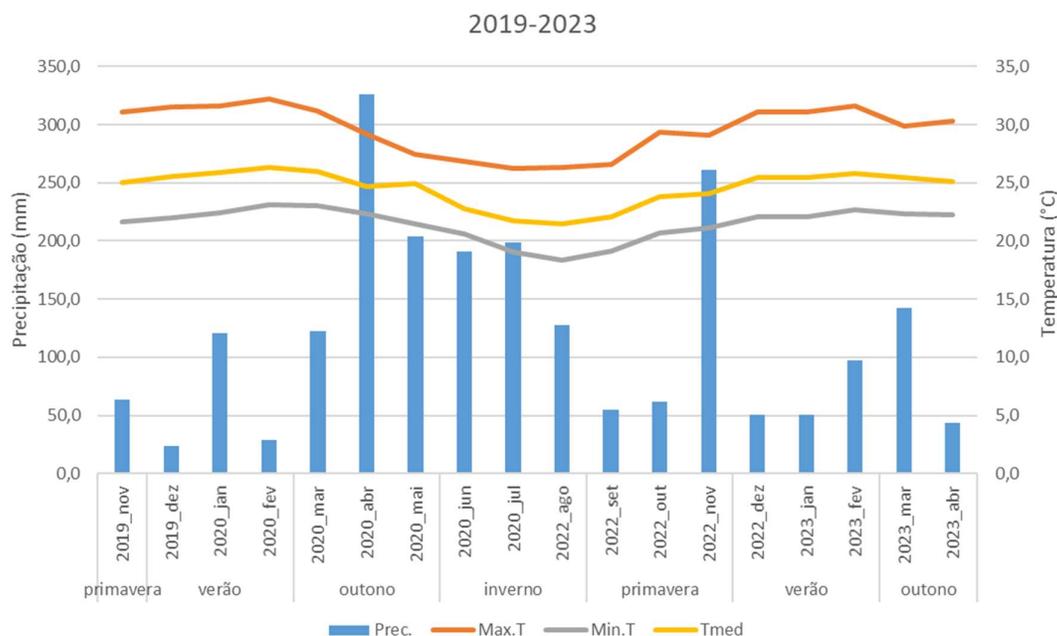
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material vegetal e caracterização ambiental dos experimentos

Foram avaliados dois ensaios de campo.

**Experimento 1:** conduzido no período de novembro de 2019 a julho de 2020 (safra de 2019/2020) na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura (latitude 12° 39' 25" S, longitude 39° 07' 27" W, 226 m de altitude) localizado no município de Cruz das Almas, BA, Brasil sendo composto por 290 genótipos de mandioca, incluindo variedades melhoradas e crioulas (Tabela suplementar S1 e S2). A precipitação pluvial total durante o período de avaliação foi de 1279 mm (Figura 1). A variação mensal de precipitação foi de 24 mm, registrada em dezembro de 2019

durante o verão, a 326 mm, com ocorrência no outono, em abril de 2020. A temperatura média variou de 21,7 °C a 26,4 °C, com temperaturas mais elevadas durante o verão, entre os meses de fevereiro e março e temperaturas amenas entre abril e junho.



**Figura 1.** Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima, mínima e média registrados mensalmente no período de avaliação dos ensaios do germoplasma de mandioca para atributos de florescimento, entre novembro de 2019 a abril de 2023 em Cruz das Almas, BA, Brasil.

**Experimento 2:** conduzido no período de agosto de 2022 a abril de 2023 (safra de 2022/2023), na área experimental pertencente à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB (Cruz das Almas, BA, Brasil, latitude 12° 40' 10.6" S, longitude 39° 04' 26.4" W, 226 m de altitude). Neste experimento foram avaliados 343 genótipos, incluindo variedades melhoradas e crioulas (Tabela suplementar S1 e S2). Durante o período de condução do experimento a precipitação total foi de 888 mm (Figura 1). Novembro de 2022, foi o mês com maior volume de chuva (261 mm), enquanto o menor volume (43,7 mm) foi registrado em abril de 2023. A temperatura média variou entre 21,5 °C e 25,8 °C, com temperaturas mais elevada durante o verão (meses de dezembro a março) e temperaturas mais amenas no inverno (julho a setembro).

No total, 546 genótipos foram avaliados, sendo 87 genótipos em comum nos dois experimentos (Tabelas S1 e S2). Para o plantio dos experimentos, utilizou-se manivas sementes medindo de 15 a 20 cm de comprimento com média de oito gemas, retiradas do terço médio de plantas com 12 meses de idade e que apresentaram boas condições fitossanitárias. O plantio foi realizado em sulcos de aproximadamente 10 cm de profundidade, em solo arado e gradeado, com as manivas dispostas horizontalmente. O espaçamento utilizado foi de 0,90 m entre linhas e de 0,80 m entre plantas, com parcelas compostas por duas linhas com 10 plantas em cada, totalizando 20 plantas por parcela. O delineamento experimental utilizado nos dois ensaios foi em blocos aumentados (DBA), com 15 testemunhas distribuídos em 14 blocos para o experimento 1 e 15 blocos para o experimento 2. As testemunhas foram os tratamentos regulares (repetidos nos blocos) e o restante dos genótipos os tratamentos não regulares. A escolha dos acessos foi realizada com base nas avaliações de florescimento do Ensaio 1 e potencial germinativo. As testemunhas utilizadas nos dois ensaios foram as mesmas: BR-11-24-156; BGM-2097; BRS-Verdinha; BRS Tapioqueira; BRS Novo Horizonte; BRS Mulatinha; BR-11-34-41; BRS Amansa Burro; BRS Gema de Ovo; BRS Dourada; BRS CS01; BRS Poti Branca; BGM-2339; BRS 399; BGM-2151. Os tratos culturais como controle de plantas invasoras e pragas e adubação de cobertura foram realizados de acordo com as recomendações de Souza *et al.* (2006).

## 2.2 Avaliação do florescimento

As avaliações de florescimento e frutificação foram realizadas mensalmente em três plantas por parcela experimental (dispostas no centro da parcela, devidamente identificadas), a partir do quarto mês após o plantio (MAP). Em ambos os experimentos foram realizadas nove avaliações mensais dos quatro aos 12 MAP.

A característica qualitativa nota de florescimento foi avaliada seguindo a escala de notas para incidência de florescimento utilizada por Souza *et al.* (2018), em que: 0 – para plantas com ausência de flores; 1 - plantas com baixo índice de florescimento (uma a duas inflorescências, com até quatro flores femininas e/ou 20 masculinas); 2 - florescimento mediano (duas ou três inflorescências, com até quatro flores femininas e/ou 20 a 30 masculinas); 3 - florescimento abundante, com mais de 3 inflorescências, e mais de quatro flores femininas e 30 masculinas. Com base nessa escala foram obtidas outras três características: a) Nota média de floração (NM) considerando a

média das avaliações mensais para cada genótipo; b) Nota ponderada pela floração precoce (NP), cujo maiores pesos foram atribuídos aos genótipos que floresceram precocemente (os pesos foram atribuídos em sequência decrescente de 18 – 2), de acordo com Souza *et al.* (2018); e c) Nota média de florescimento (NMF), considerando o somatório das notas de florescimento do genótipo por planta, por MAP.

As características quantitativas avaliadas foram: a) contagem do número de flores femininas na parcela (NFF); b) contagem do número total de flores masculinas na parcela (NFM); e c) contagem do número total de frutos (NFr) na parcela. Estas avaliações consistiram na contagem de todas as flores e frutos presentes em cada uma das três plantas avaliadas por parcela. As inflorescências avaliadas por mês eram sinalizadas, a fim de evitar repetições na contagem das inflorescências no mês posterior.

### 2.3 Avaliação de características agronômicas

No período da colheita, aos 12 MAP, foram avaliadas sete características agronômicas: Altura da planta (API, cm); Número de hastes por planta (NHas); Porte da planta (PPI, escala de 1-5); Teor da matéria seca nas raízes (DMC, mensurada em % utilizando balança hidrostática, de acordo com Kawano *et al.* (1987); Produtividade da parte aérea (PPA, t ha<sup>-1</sup>); Produtividade de raízes (PTR, t ha<sup>-1</sup>); e Retenção foliar (RFol, escala 1-5).

### 2.4 Análises estatísticas

Os dados fenotípicos foram analisados de forma individual e conjunta, a fim de obter estimativas da interação genótipo × ambiente (G×A). Foi utilizado o seguinte modelo misto para análise individual:  $y = X_b + Z_g + Wmap + e$ , em que:  $y$  é o vetor de observações fenotípicas;  $b$  é o vetor de efeitos fixos (média geral e efeito de blocos);  $g$  é o vetor de efeitos de genótipo considerado como aleatório;  $map$  é o vetor de efeitos fixos do mês de avaliação, e  $e$  é o vetor de erros aleatórios.  $X$ ,  $Z$  e  $W$  são matrizes de incidência, que associam os parâmetros não conhecidos  $b$ ,  $g$  e  $map$  ao vetor de dados  $y$ .

Para a análise conjunta, foi utilizado o modelo misto:  $y = X_b + Z_g + W_p + I_{gp} + Wmap + e$ , em que:  $b$  é o vetor de efeitos fixos (média geral e efeito de blocos);  $g$  é o

vetor de efeitos de genótipo considerado como aleatório;  $p$  é o vetor de efeitos fixos de ambiente;  $gp$  é o vetor de efeito aleatório da interação genótipo  $\times$  ambiente e  $map$  é o vetor de efeitos fixos do mês de avaliação.  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $I$  são matrizes de incidência, que associam os parâmetros não conhecidos  $b$ ,  $g$ ,  $p$ ,  $gp$  e  $map$  ao vetor de dados  $y$ . Para o fator ambiente, considerou-se o local e o ano de avaliação.

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidas pelo pacote *lme4* (BATES *et al.*, 2015) do software R versão 4.3.2 (R CORE TEAM, 2024). O teste F foi usado para testar os efeitos fixos e o teste da razão de verossimilhança (LRT) para os efeitos aleatórios a \*5% e \*\*1% de significância. Os melhores preditores lineares não viesados - BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) foram estimados para os dados de florescimento/frutificação e dados agronômicos.

Uma análise de regressão cúbica foi realizada para relacionar as informações de florescimento e frutificação com as variáveis climáticas de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima, média e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ). Os BLUEs temporais, considerando o efeito de MAP das características NFF, NFM e NFr foram utilizados nessa análise de regressão. Além disso, foram obtidas as correlações de Spearman entre as características de florescimento/frutificação e os dados agronômicos acessados.

Os genótipos foram agrupados com base na análise discriminante de componentes principais discriminantes (DAPC), identificando padrões de agrupamento do conjunto de dados multivariados, utilizando o pacote *adegenet* (JOMBART *et al.*, 2010), do software R versão 4.3.2 (R CORE TEAM, 2024).

### 3. Resultados

#### 3.1 Características gerais do florescimento

Considerando os 87 genótipos que foram avaliados nos dois experimentos, 10% não floresceram e os demais floresceram em pelo menos um dos experimentos. Esses genótipos foram classificados quanto a estabilidade do florescimento e encontram-se detalhados na Tabela S1. A maioria dos genótipos (76%) apresentou alta estabilidade (florescimento nos dois anos de avaliação) e os demais (24%), floresceram em apenas um experimento. Além disso, 86% dos genótipos apresentaram florescimento precoce (até o 4<sup>o</sup> MAP).

Já em relação aos 90 genótipos avaliados em apenas um experimento (20%) não floresceram durante os 9 meses de avaliação (4<sup>o</sup> ao 12<sup>o</sup> MAP) (Tabela S2). Os

demais (366) foram classificados quanto a precocidade de florescimento. A maioria apresentou florescimento precoce (73,2%), seguido por florescimento intermediário (entre o 5º e 10º MAP) (24,3%), e tardio (aos 11º e 12º MAP) (2,5%).

### 3.2 Análise de deviance para atributos de florescimento e frutificação em mandioca

Houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os genótipos para as características de florescimento e frutificação em mandioca avaliadas para os dois experimentos (Tabela 1). Este resultado indica a existência de variabilidade genética no germoplasma avaliado para as características produção de flores masculinas (NFM), flores femininas (NFF) e frutos (NFr).

**Tabela 1.** Análise de deviance individual e conjunta e herdabilidade no sentido amplo ( $H^2$ ) para as características quantitativas avaliadas: número de frutos por planta (NFr), número de flores masculinas por planta (NFM), número de flores femininas por planta (NFF) ao longo de dois anos de avaliação (2019/2020 e 2022/2023), considerando as avaliações mensais do 4º ao 12º mês após plantio (MAP).

	Componentes de variância	GL	NFr	NFM	NFF	
Experimento 1 (2019/2020)	Genética (G) <sup>(r)</sup>	1	8,01*	62,43*	4,88*	
	MAP <sup>(f)</sup>	8	1820,88*	2419,20*	409,62*	
	Bloco <sup>(f)</sup>	13	23,95	243,41	28,75	
	Erro	1	16,95	71,19	11,09	
	Herdabilidade ( $H^2$ )			0,32	0,47	0,31
	Média			1,89	4,16	1,33
Experimento 2 (2022/2023)	Genética (G) <sup>(r)</sup>	1	5,22*	251,69*	3,02*	
	MAP <sup>(f)</sup>	8	350,52*	4405,47*	155,02*	
	Bloco <sup>(f)</sup>	14	27,61	2259,93	25,03	
	Erro	1	8,0	412,11	6,99	
	Herdabilidade ( $H^2$ )			0,32	0,26	0,17
	Média			2,07	15,18	1,51
Análise conjunta	Genética (G) <sup>(r)</sup>	1	2,70*	83,22*	2,41*	
	Ano (A) <sup>(f)</sup>	1	2,34 <sup>ns</sup>	34823,76*	22,46 <sup>ns</sup>	
	Interação G × A <sup>(r)</sup>	1	12,95*	7317,42*	2,39*	
	MAP <sup>(f)</sup>	8	352,96*	3836,49*	376,23*	
	Bloco <sup>(f)</sup>	14	34,16	1225,59	16,79	
	Erro	1	13,56	274,79	8,92	
	Herdabilidade ( $H^2$ )			0,27	0,02	0,59
Média			2,0	10,57	1,43	

GL: grau de liberdade; <sup>(r)</sup> Efeitos aleatórios; <sup>(f)</sup> Efeitos fixos; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F para efeitos fixos e pelo teste LRT para efeitos aleatórios.

De modo geral a herdabilidade no sentido amplo ( $H^2$ ) foi de baixa a média magnitude ( $>0,30$ ), o que indica que embora as características associadas à produção de flores masculinas, femininas e frutos tem forte influência ambiental, ainda existe uma fração da variação genética que pode ser utilizada para o melhoramento da espécie e métodos de seleção com teste de progênie. Os valores da  $H^2$  dos ensaios individuais para NFr, NFM e NFF foram de 0,32, 0,47 e 0,31, respectivamente, para o experimento 1 e de 0,32, 0,26 e 0,17, respectivamente, para o experimento 2. Na análise conjunta, houve uma redução da magnitude da  $H^2$  para NFr (0,27) e NFM (0,02). Já para NFF, houve um elevado aumento da  $H^2$  passando a ter uma magnitude mediana (0,59).

O desempenho médio dos genótipos de mandioca para as características NFM, NFF e NFr nos dois anos de avaliação é apresentado na Tabela 1. Os genótipos avaliados durante o experimento 1 apresentaram menores médias (1,89 frutos, 4,16 flores masculinas e 1,33 flores femininas) em relação ao experimento 2 (2,07 frutos, 15,18 flores masculinas e 1,51 flores femininas).

De acordo com a análise conjunta, a variância de ambiente (ano) foi maior que a variância genética, da interação  $G \times A$  e da residual para NFM e NFF (Tabela 1), indicando o expressivo efeito do ano de plantio no desempenho dessas características. Já para NFr houve uma predominância da variância residual, demonstrando a forte influência de fatores não controláveis em relação as diferenças provocadas por fatores genéticos. No geral, os fatores ambientais apresentaram maior influência do que as diferenças genéticas entre os genótipos para características de florescimento.

A análise das características nota média (NM), nota ponderada (NP) e nota média de florescimento (NMF), também demonstrou a existência de diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os genótipos avaliados (Tabela 2). Contudo, a interação  $G \times A$  não foi significativa para as características avaliadas, sugerindo que os efeitos genotípicos para atributos de florescimento e frutificação foram relativamente estáveis nos dois experimentos.

As  $H^2$  das características NM e NP foram mais elevadas no experimento 2 (0,52 e 0,54, respectivamente) em comparação com o experimento 1 (0,43 e 0,50, respectivamente) (Tabela 2), enquanto os valores de  $H^2$  para NM e NMF da análise conjunta foram superiores à análise individual, ou seja, 0,97 e 0,96, respectivamente. Já para NP os valores de  $H^2$  se mantiveram estáveis e de média magnitude (variação

entre 0,50 e 0,54). Além disso, o efeito de ambiente foi significativo ( $p < 0,05$ ) na análise conjunta o que também reforça a influência do período de avaliação nos resultados obtidos para essas três características.

**Tabela 2.** Análise de deviance individual e conjunta e herdabilidade no sentido amplo ( $H^2$ ) para as características qualitativas de florescimento, nota média (NM), nota ponderada (NP) e nota média de florescimento (NMF) ao longo de dois anos de avaliação (2019/2020 e 2022/2023), considerando as avaliações mensais do 4º ao 12º mês após plantio (MAP).

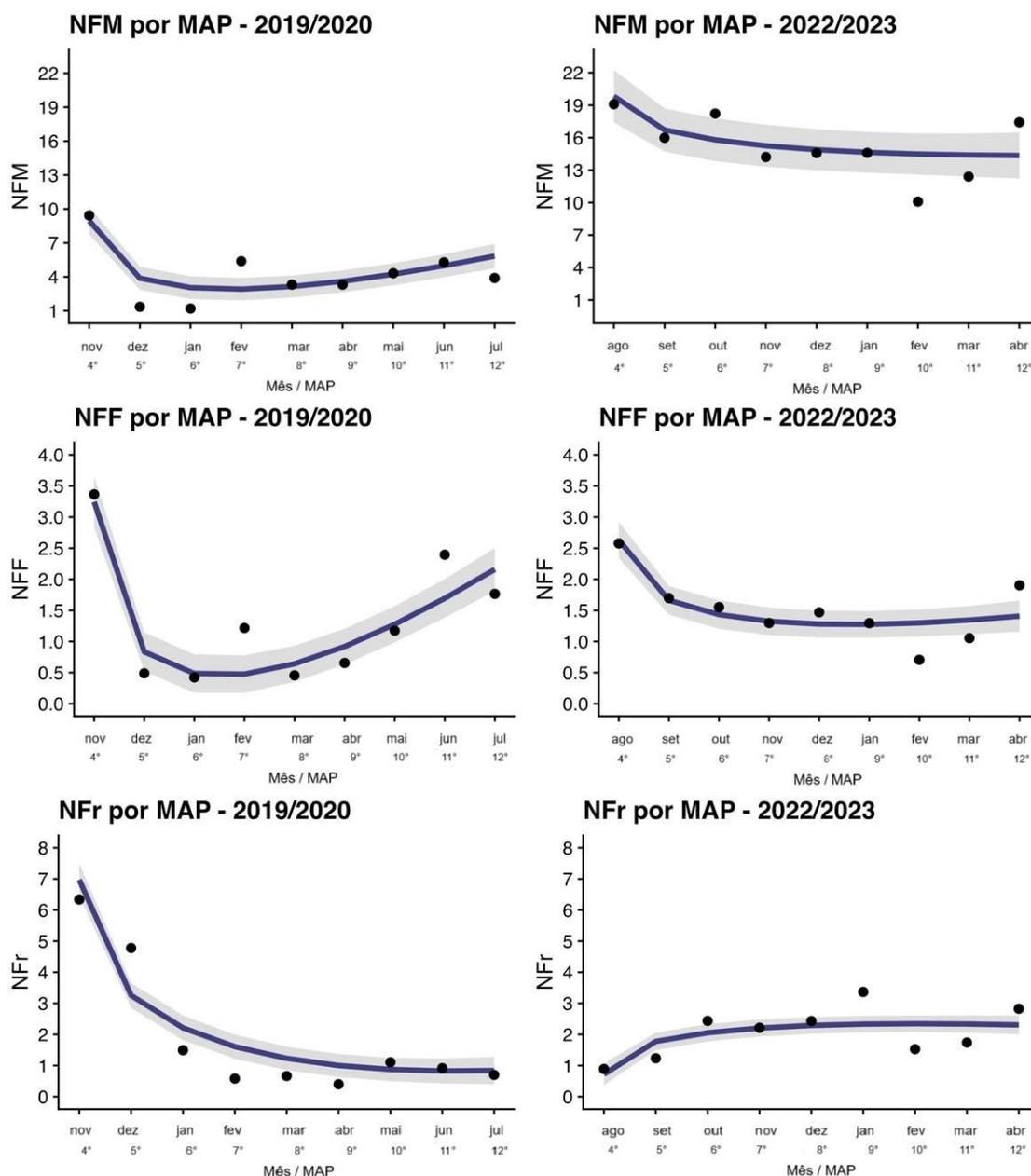
	Componentes de variância	GL	NM	NP	NMF
Experimento 1 (2019/2020)	Genética (G) <sup>(r)</sup>	1	0,15*	1267,68*	4,09*
	Bloco <sup>(f)</sup>	13	0,24	1840,73	3,02
	Erro		0,20	1280,15	3,14
	Herdabilidade ( $H^2$ )		0,43	0,50	0,57
	Média		0,38	35,39	2,00
Experimento 2 (2022/2023)	Genética (G) <sup>(r)</sup>	1	0,16*	1706,15*	4,06*
	Bloco <sup>(f)</sup>	14	0,47	5797,63	15,33
	Erro		0,15	1455,74	5,45
	Herdabilidade ( $H^2$ )		0,52	0,54	0,43
	Média		0,80	76,1	5,32
Análise conjunta	Genética (G) <sup>(r)</sup>	1	0,17*	1400,82*	4,01*
	Ambiente (A) <sup>(f)</sup>	1	15,23*	155612,5*	978,48*
	Interação G×A <sup>(r)</sup>	1	0,02 <sup>ns</sup>	2455,6 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Bloco <sup>(f)</sup>	14	0,38	4756,54	18,39
	Erro		0,17	1460,39	4,55
	Herdabilidade ( $H^2$ )		0,97	0,52	0,96
	Média		0,62	59,07	3,93

GL: grau de liberdade; <sup>(r)</sup> Efeitos aleatórios; <sup>(f)</sup> Efeitos fixos; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F para efeitos fixos e teste LRT para efeitos aleatórios.

### 3.3 Performance média da produção de flores e frutos durante o período experimental

De modo geral, houve variação na produção de flores e frutos nos diferentes meses de avaliação dos experimentos (Figura 2). Para o experimento 1, o período de maior produção de flores femininas (3,4 flores em média) e masculinas (9,9 flores em média) ocorreu no 4º MAP (novembro de 2019 – primavera). Por outro lado, após esse mês a produção de flores reduziu entre o 5º ao 9º MAP, exceto o 7º MAP. Após esse período a produção de flores voltou a aumentar, principalmente as masculinas. Em relação ao NFr, os resultados indicam que maior frutificação ocorreu entre o 4º e 5º MAP (média de 6,3 e 4,8 frutos, respectivamente), coincidindo com o período de maior

produção de flores, além de indicar que o florescimento começou de forma precoce antes do 4º MAP.



**Figura 2** - Média da produção de flores e frutos de mandioca do 4º ao 12º mês após o plantio (MAP) para as características NFM (número de flor masculina), NFF (número de flor feminina) e NFr (número de frutos), avaliado no germoplasma de mandioca em experimentos conduzidos nas safras de 2019/2020 (novembro de 2019 a julho de 2020) e 2022/2023 (agosto de 2022 a abril de 2023).

No experimento 2, houve florescimento precoce, uma vez que no 4º MAP foram observadas em média 2,6 flores femininas e 19,0 flores masculinas (agosto de 2022),

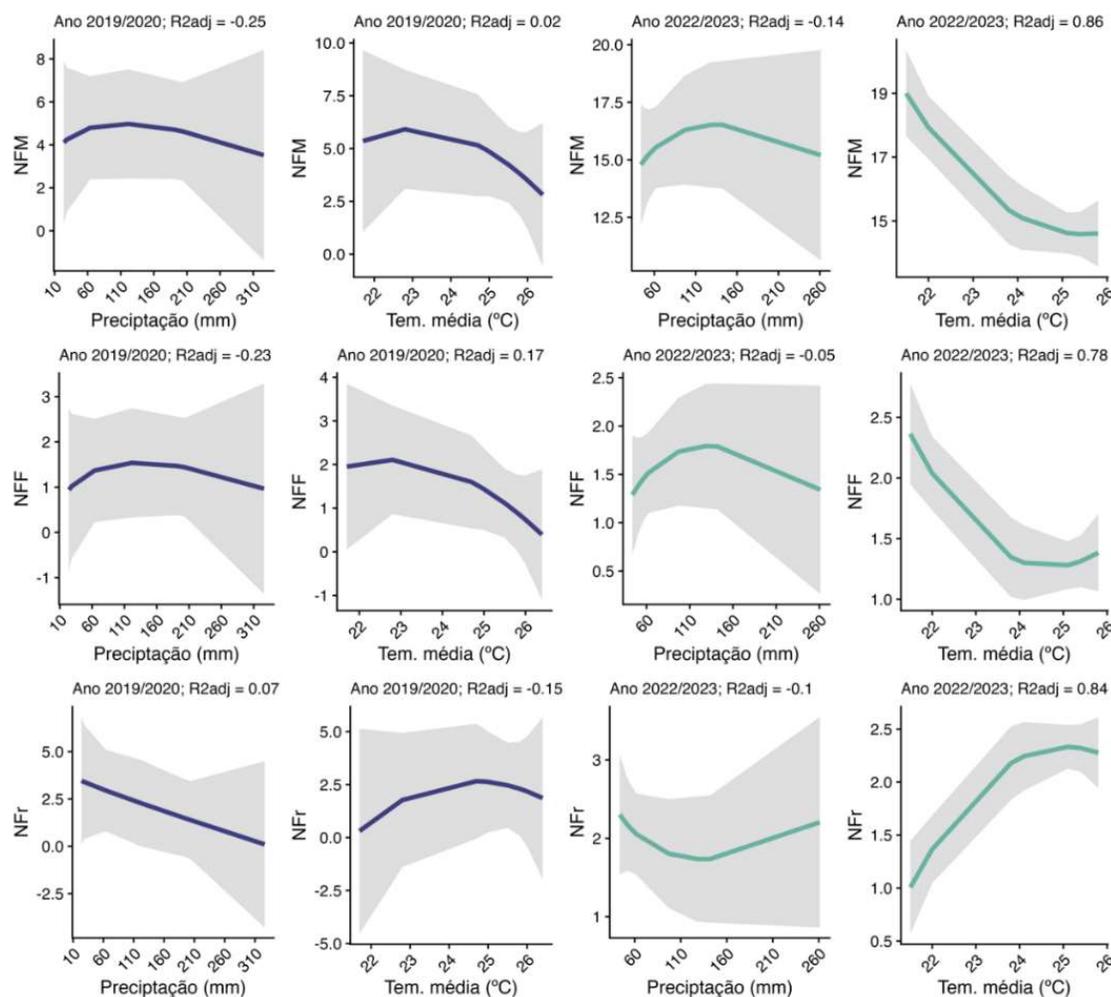
com uma leve redução nesses valores a partir do 5º MAP, mantendo-se constante até o 9º MAP (Figura2). No 10º MAP (fevereiro de 2023) houve uma redução significativa na produção de flores (0,8 femininas e 10,0 masculinas), com um progressivo aumento nos meses seguintes (março e abril de 2023). A maior produção de frutos ocorreu no 9º MAP (média de 3,5 frutos). Em contrapartida, a menor frutificação foi registrada no 4º MAP, indicando que o florescimento ocorreu de forma mais tardia em relação ao experimento 1.

### **3.4 Relação entre o florescimento e frutificação com variáveis climáticas**

As relações entre a capacidade de florescimento e frutificação com as variáveis climáticas (precipitação pluvial e temperatura média) durante o período experimental estão apresentadas na Tabela S3 e Figura 3. A análise de regressão cúbica resultou em alto ajuste da regressão ( $R^2$  entre 0,78 e 0,86) da variável temperatura média para as características NFr, NFF e NFM para o ano de 2022/2023.

O aumento da temperatura média foi responsável pela redução na produção de flores, sobretudo na safra 2022/2023, enquanto que a produção de frutos aumentou, o que pode ser explicado pelo fato de que a sua colheita geralmente ocorre entre 60 e 70 dias após a polinização, o que coincide com a saída do inverno e entrada da primavera, cujas temperaturas tendem a aumentar. Entretanto, essa tendência não foi observada na safra 2019/2020, possivelmente pelo fato de que a primavera dessa safra apresentou maiores temperaturas máximas e menor precipitação acumulada em comparação com a safra 2022/2023 (Figura 1), o que tende a afetar fortemente o florescimento de mandioca.

De modo geral, temperaturas diárias média entre 21,5 °C e 24 °C favoreceram a produção de flores. Para os demais cenários não foi possível observar relação significativa entre precipitação pluvial e as características de florescimento (Figura 3). Isto sugere que a variação da precipitação pluvial não foi um fator que influenciou diretamente na produção de flores e frutos. Seu efeito mais direto pode estar associado à redução da temperatura média do ambiente, conforme observado na Figura 1.

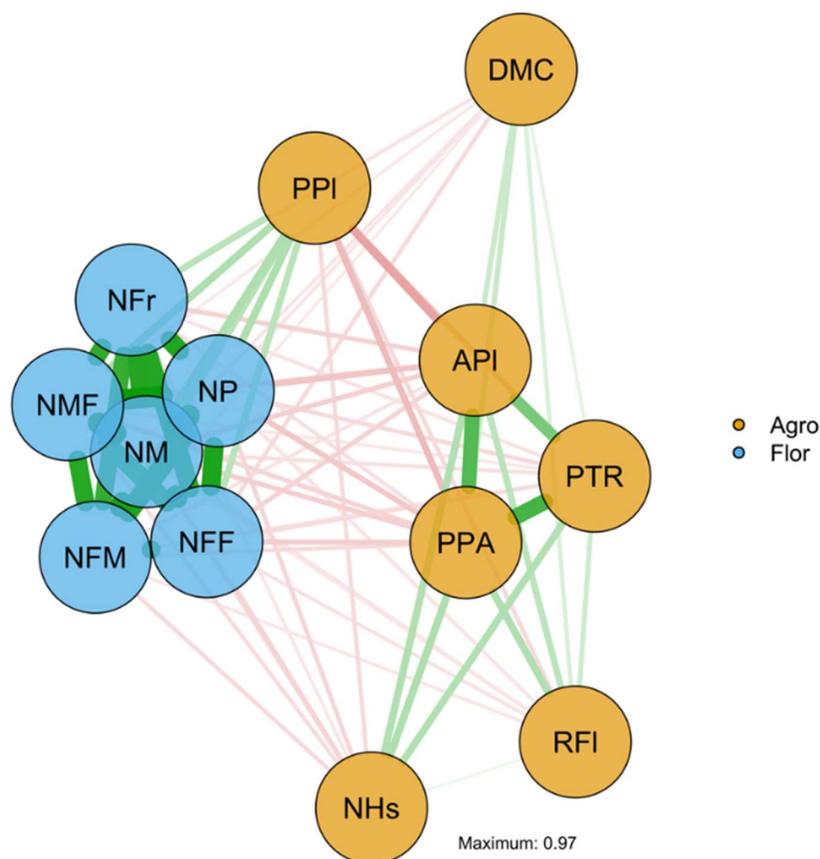


**Figura 3.** Regressão cúbica das variáveis climáticas (precipitação e temperatura média) para número de flor feminina (NFF), número de flor masculina (NFM) e número de fruto (NFr), nos dois experimentos (2019/2020 e 2022/2023). A linha azul refere-se a linha de regressão cúbica para 2019/2020 e a linha verde é a linha de regressão cúbica para 2022/2023, enquanto a área cinza refere-se ao intervalo de confiança da regressão.

### 3.5 Correlações fenotípicas entre as características de florescimento / frutificação e atributos agrônômicos

De acordo com a rede construída com base nas principais correlações significativas entre as características de florescimento/frutificação e agrônômicas, houve uma nítida separação entre esses tipos de características (Figura 4). Elevadas correlações significativas (linha verde mais espessa) entre as características de florescimento/frutificação e entre PTR x PPA, PTR x API e API x PPA foram identificadas. Por outro lado, as relações entre as características de florescimento e

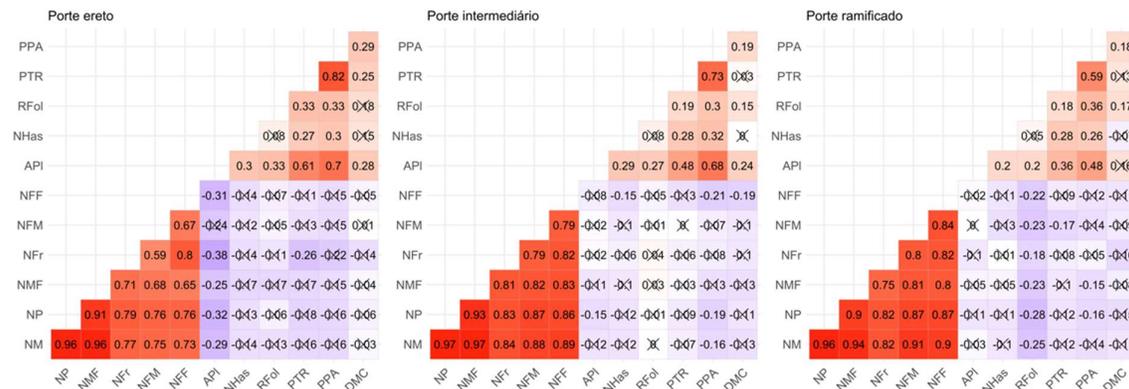
agronômicas foram negativas, mas não significativas, pela análise de rede regularizada de correlações parciais.



**Figura 4.** Rede regularizada de correlações parciais entre características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos em genótipos de mandioca. A espessura das linhas representa a intensidade das correlações, enquanto a cor verde e vermelha representa correlações positivas e negativas, respectivamente. NFM: número de flor masculina; NFF: número de flor feminina; NFr: número de fruto; NM: nota média; NP: nota ponderada; NMF: nota média de florescimento; API: altura da planta; DMC: teor de matéria seca; NHS: número de hastes; PPA: produtividade da parte aérea; PPI: porte da planta; PTR: produtividade de raízes; RFI: retenção foliar.

Para verificar a influência do porte de planta nas correlações entre as características, os genótipos de mandioca foram classificados em três grupos quanto ao porte, sendo porte ereto (plantas eretas sem ramificações ou com ramificações acima de 1,60 m de altura), porte intermediário (plantas eretas, mas com ramificações entre 1,20 e 1,60 m) e porte ramificado (plantas com várias bifurcações e ramificações abaixo de 1,20) (Figura 5). Essa classificação, confirmou a existência de correlações positivas e de elevada magnitude (variação entre 0.59 e 0.96) entre as características

de florescimento/frutificação, além disso, demonstrou que essas correlações foram mais elevadas à medida que as plantas são mais ramificações. Nesse sentido, as correlações entre plantas de porte intermediário variaram entre 0,79 e 0,97 e com porte ramificado a variação foi entre 0,75 a 0,96.



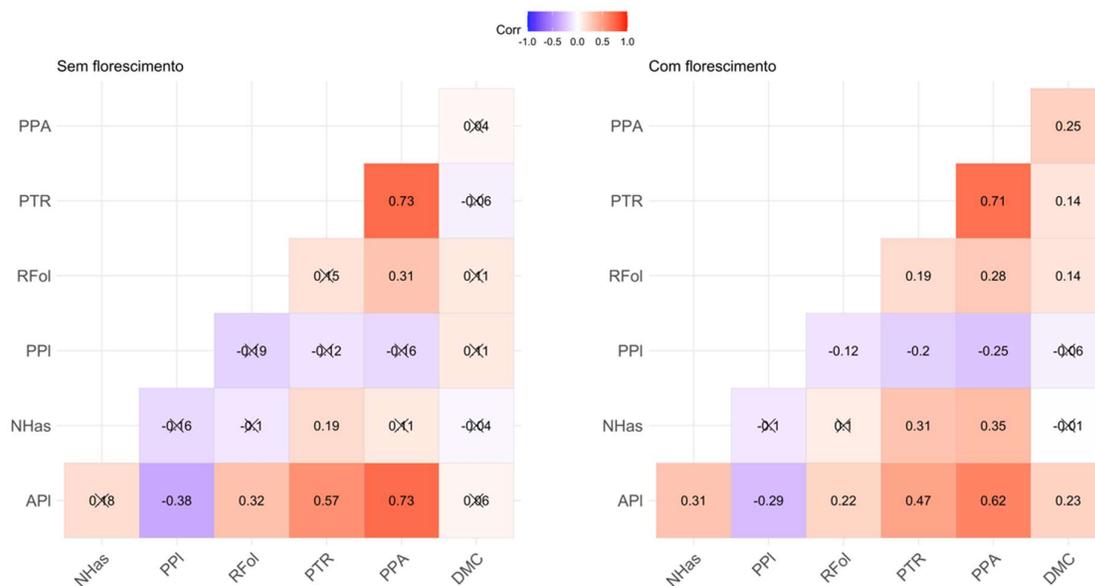
**Figura 5.** Correlações fenotípicas pelo método de Spearman em genótipos de porte ereto, intermediário e ramificado para características de florescimento/frutificação e atributos agrônômicos no germoplasma de mandioca. NFM: número de flor masculina; NFF: número de flor feminina; NFr: número de fruto; NM: nota média; NP: nota ponderada; NMF: nota média de florescimento; API: altura da planta; DMC: teor de matéria seca; NHas: número de hastas; PPA: produtividade da parte aérea; PTR: produtividade de raízes; RFol: retenção foliar. O símbolo x nos coeficientes indica correlações não significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Para genótipos de porte ereto, houveram correlações significativas entre API × (NFF, NFr, NMF, NP e NM) com variação entre -0,25 e -0,38 e entre PTR × NFr (-0,26) (Figura 5). Em plantas de porte intermediário e ramificado as correlações negativas entre API e características de florescimento não foram elevadas, possivelmente pelo fato de que plantas que ramificam tendem a ter menor API. Em plantas de porte intermediário as principais correlações significativas foram entre NHs × NFF, PPA × NM, NP e NFF (variação entre -0,21 a -0,15). Nos genótipos de mandioca com porte mais ramificado, as correlações entre as características de florescimento e retenção foliar (Rfol) foram inversas ao que foi observado para API, ou seja, mesmo de baixa magnitude, as correlações entre Rfol × (NFF, NFM, NFr, NMF, NP e NM) variaram entre -0,18 a -0,28, indicando que o aumento do florescimento em genótipos de mandioca mais ramificados tende a reduzir a retenção foliar.

Foi observada uma variação nas correlações entre os atributos agrônômicos PTR × PPA, API × PTR e API × PPA, considerando o porte da planta. Correlações

positivas e de alta magnitude entre estas características diminuíram à medida que o porte agrônômico variou de ereto a ramificado (Figura 5). As correlações entre PTR × PPA foram de 0,82, 0,73 e 0,59 nos genótipos de porte ereto, intermediário e ramificado, já para API × PTR esses valores foram de 0,61, 0,48 e 0,36; e entre API × PPA foram de 0,70, 0,68 e 0,48, respectivamente.

Em relação às correlações fenotípicas entre os atributos agrônômicos, levando-se em consideração a classificação em genótipos que floresceram e não floresceram em pelo menos um ano de avaliação, observaram-se correlações positivas significativas entre API × PPA, bem como para PTR × PPA, para os dois grupos de genótipos (Figura 6). As correlações entre API × PPA foram de 0,73 e 0,62, em genótipos sem e com florescimento, respectivamente. Já entre PTR × PPA as correlações foram similares para os dois grupos de genótipos (0,71 e 0,73).



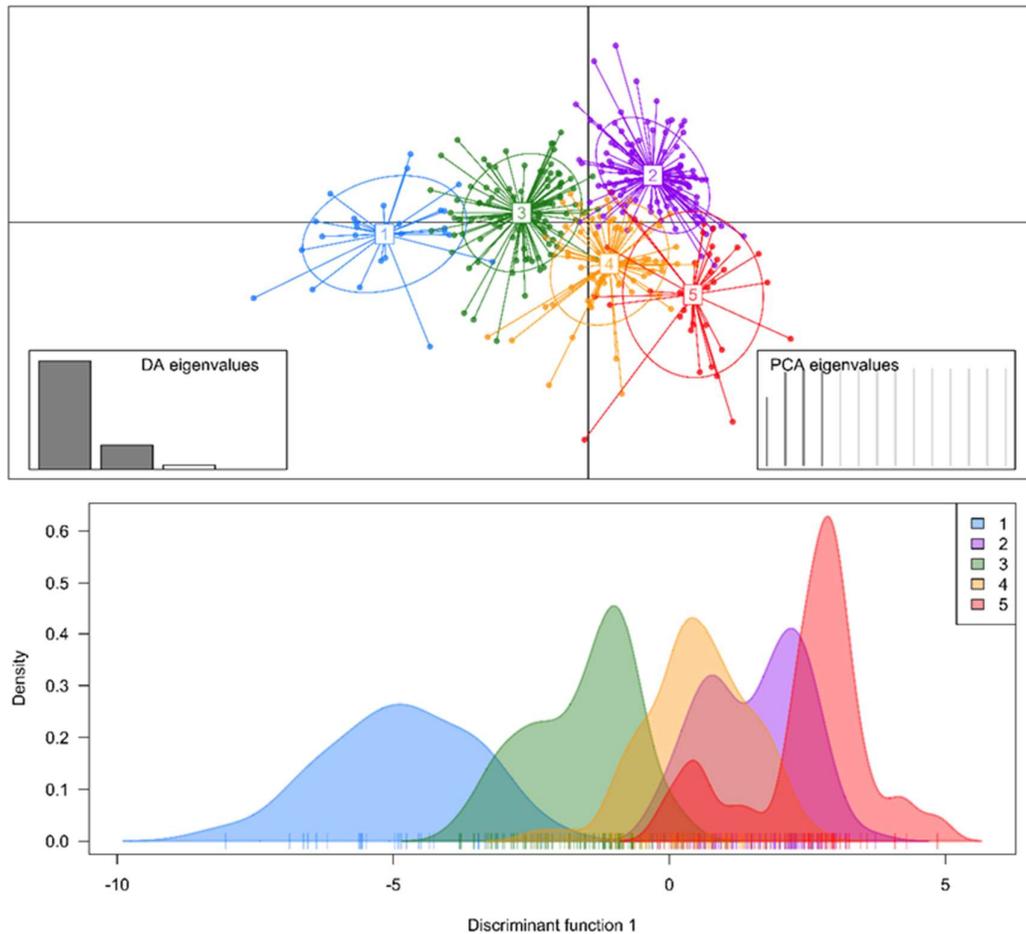
**Figura 6.** Correlações fenotípicas pelo método de Spearman entre as características agrônômicas no germoplasma de mandioca, considerando o agrupamento dos genótipos de mandioca em com e sem florescimento. API: altura da planta; DMC: teor de matéria seca; NHas: número de hastes; PPA: produtividade da parte aérea; PPI: porte da planta; PTR: produtividade de raízes; RFol: retenção foliar. O símbolo × nos coeficientes indica correlações não significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Para as correlações entre API × RFol em plantas sem florescimento o coeficiente de correlação foi de 0,32, já nos genótipos com florescimento, essa correlação foi menor (0,22). Para a correlação API × PTR, houve a mesma tendência em plantas sem florescimento, cujo coeficiente de correlação foi de 0,57, ao passo

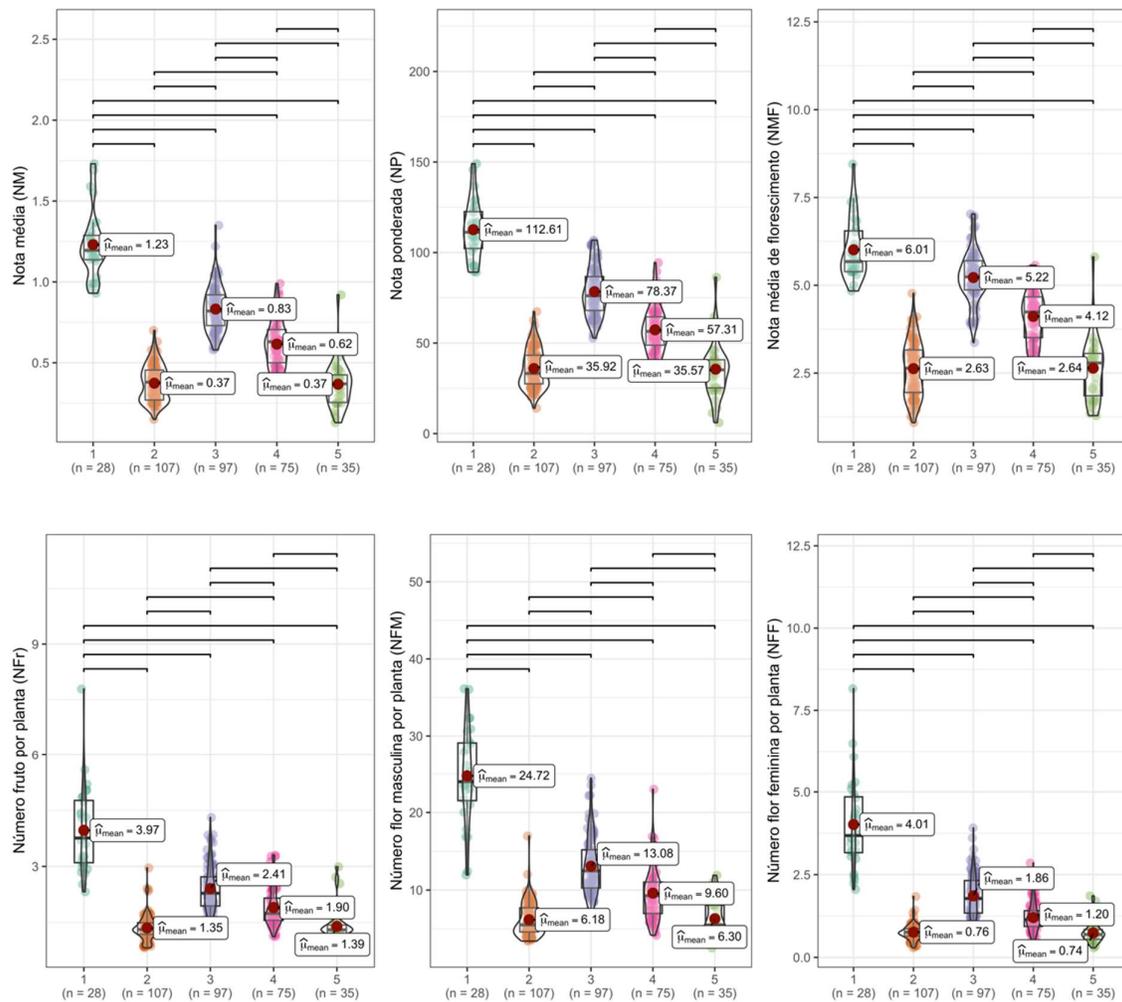
que para genótipos com florescimento essa correlação foi de menor magnitude (0,47). Para RFol × PPA foi observada correlação positiva de baixa magnitude de 0,31 e 0,28 para genótipos sem e com florescimento, respectivamente. Algumas correlações positivas de baixa magnitude foram encontradas entre os atributos produtivos apenas para o grupo de genótipos que apresentaram florescimento, sendo: API × DMC (0,23), RFol × PTR (0,19), PPA × DMC (0,25), e PTR × DMC (0,14).

### **3.6 Análise discriminante de componentes principais (DAPC) para as características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos**

A DAPC foi realizada considerando dados fenotípicos de florescimento/frutificação e agronômicos. Os genótipos de mandioca foram agrupados em cinco grupos distintos (Figura 7). De modo geral, os principais atributos dos genótipos do Grupo 1 (28 genótipos) foram notas de floração mais elevadas (média = 1,23), genótipos precoces (média = 112,61), maior produção de frutos e de flores masculinas e femininas (média = 3,97; 24,72; 4,01, respectivamente) (Figura 8), enquanto os genótipos do Grupo 2 (107 genótipos) apresentaram notas de floração mais baixas (média = 0,37), genótipos com maior tendência a florescimento tardio (média = 35,92), produção intermediária de frutos (média = 1,35), baixa produção de flores femininas (média = 0,76) e produção intermediária de flores masculinas (média = 6,18). O Grupo 3 (97 genótipos) e Grupo 4 (75 genótipos) foram compostos por genótipos que apresentam relativa similaridade entre as características de florescimento, sendo caracterizado por genótipos com notas intermediárias de floração (NM, média=0,62), não apresentam florescimento precoce nem tardio, e possuem números intermediários de flores masculinas e femininas (média = 9,60 e 1,20, respectivamente). O Grupo 5 (35 genótipos) possui genótipos com notas baixas de floração (média = 0,62), florescimento tardio (média = 57,31), menor produção de frutos (média = 1,39), produção intermediária de flores masculinas (média = 6,3) e baixa produção de flores femininas (média = 1,20), em comparação com os demais grupos.

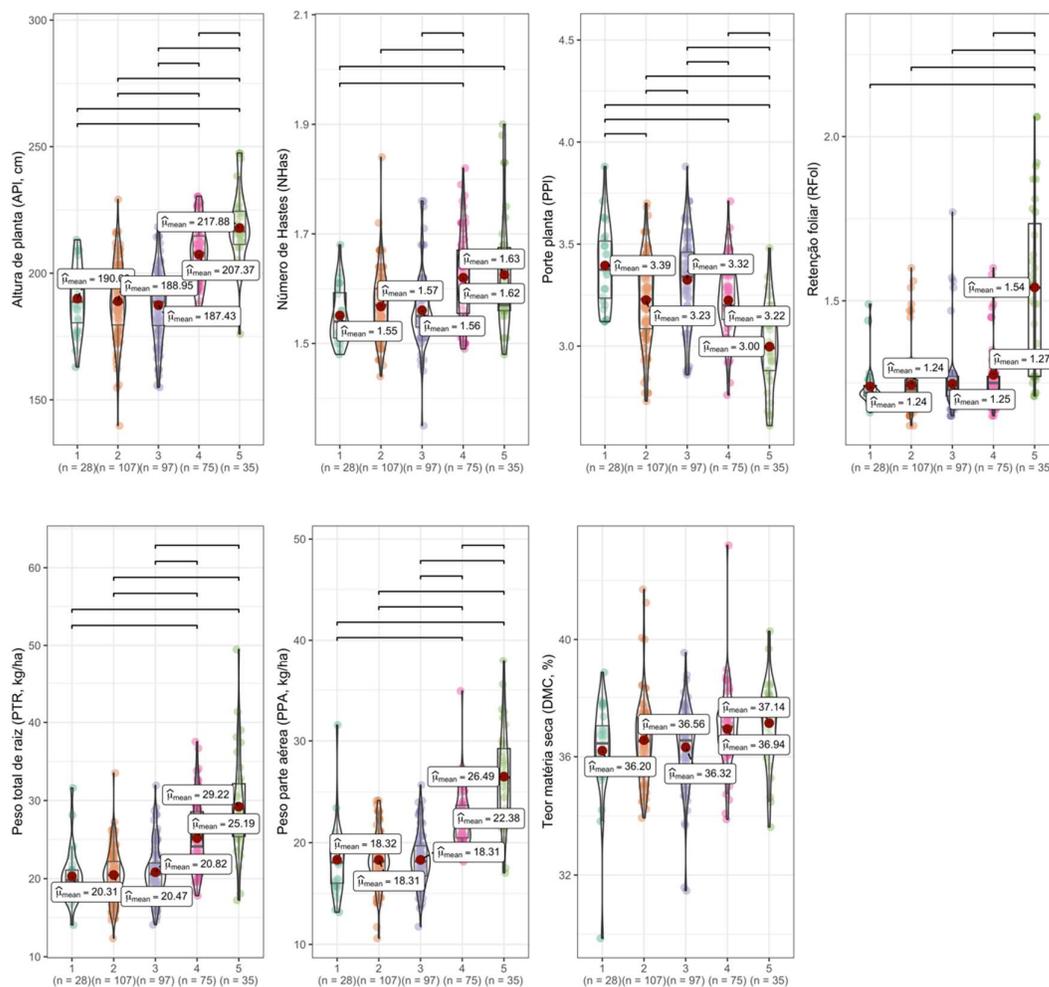


**Figura 7:** Análise discriminante dos componentes principais (DAPC) dos genótipos de mandioca considerando dados fenotípicos de florescimento/frutificação e atributos agrônômicos e de qualidade de raiz. A proximidade entre os grupos no gráfico indica o nível de similaridade entre eles com base nas características analisadas.



**Figura 8.** Gráficos boxplot dos cinco grupos de genótipos formados pela análise discriminante de componentes principais (DAPC), considerando as características qualitativas e quantitativas de florescimento e frutificação. Nota média (NM); Nota ponderada (NP); Nota média de florescimento (NMF); Número de frutos (NFr); Número de flor masculina (NFM); Número de flor feminina (NFF). Método p-valores ajustados de Holm a 5% de probabilidade.

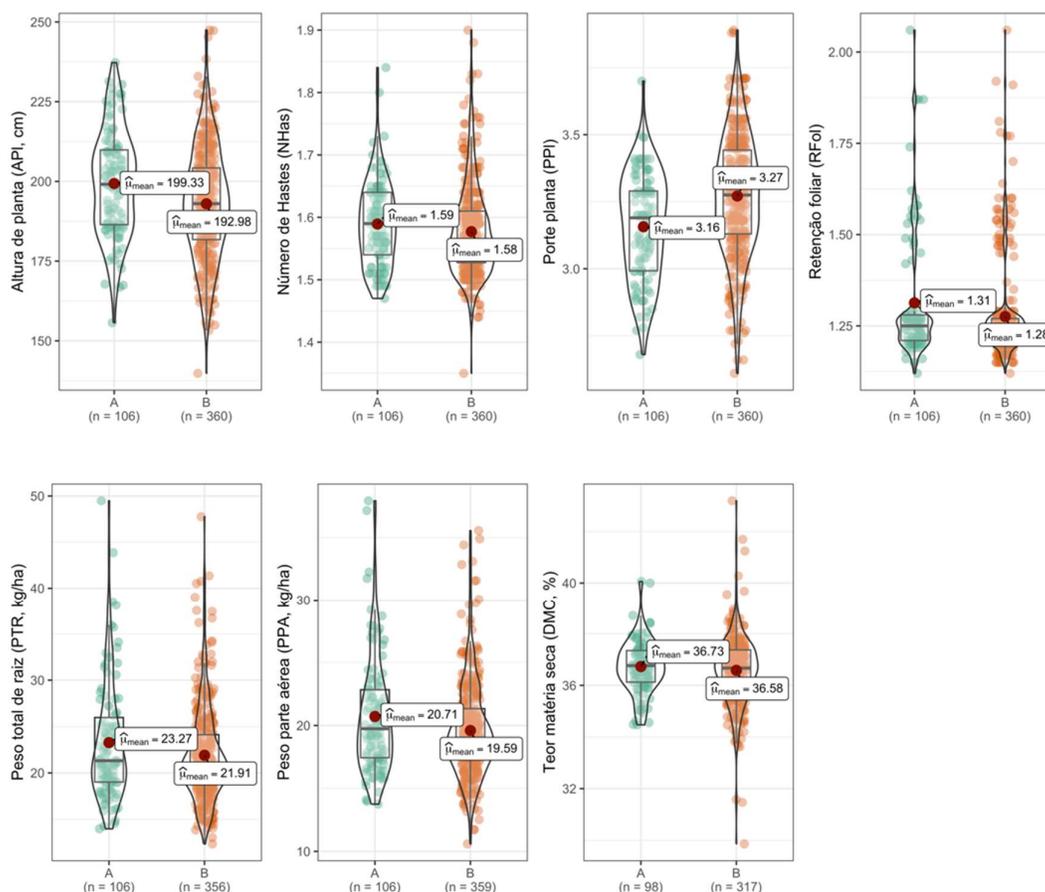
Em relação as características agrônômicas (Figura 9), de modo geral, os genótipos pertencentes aos Grupos 1, 2 e 3 apresentaram desempenho similar para as características API, NHa, PTR, PPA e DMC, enquanto que os genótipos dos Grupos 4 e 5 apresentaram maiores valores para API, NHa, PTR e PPA. Para DMC não houve diferença significativa entre os valores médios dos cinco grupos.



**Figura 9** - Gráficos boxplot para cinco grupos de genótipos formados pela análise discriminante de componentes principais (DAPC), considerando as características agrônômicas dos genótipos de mandioca. Altura de planta (API); Número de hastes (NHAs); Porte da planta (PPI); Retenção foliar (Rfol); Produtividade de raízes (PTR); produtividade da parte aérea (PPA); Teor de matéria seca (DMC). Método p-valores ajustados de Holm a 5% de probabilidade.

Além do agrupamento baseado na DAPC, foi avaliada a influência da capacidade de florescimento nos atributos agrônômicos, por meio do agrupamento dos genótipos de mandioca em basicamente dois grupos distintos: Grupo A - genótipos sem florescimento nos dois anos de avaliação e Grupo B - genótipos que apresentaram florescimento em pelo menos um ano de avaliação (Figura 10). Apenas com base nesse critério de classificação dos genótipos de mandioca, não houve diferenças significativas entre as médias das características agrônômicas avaliadas nos dois grupos. Apesar disso, verificou-se a presença de diversos genótipos no Grupo B que mesmo tendo porte ereto ou com ramificações mais altas apresentaram

algum tipo de florescimento e produção de frutos, indicando que nem sempre clones com esse tipo de arquitetura de plantas deixam de florescer.



**Figura 10.** Gráficos boxplot para dois grupos de genótipos de mandioca (Grupo A - genótipos sem florescimento nos dois anos de avaliação; e Grupo B - genótipos que apresentaram florescimento em pelo menos um ano de avaliação), considerando as características agrônômicas dos genótipos de mandioca. Altura de planta (API); Número de hastes (NHAs); Porte da planta (PPI); Retenção foliar (RFol); Produtividade de raízes (PTR); produtividade da parte aérea (PPA); Teor de matéria seca (DMC). Método p-valores ajustados de Holm a 5% de probabilidade.

## 4. Discussão

### 4.1 Variabilidade genética e estabilidade para características de florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca

A variabilidade para características associadas ao florescimento em mandioca precisa ser melhor explorada nos programas de melhoramento de mandioca, de forma a otimizar a geração de populações segregantes, sobretudo quanto ao aumento do

número de indivíduos produzidos por progênie, seja por meio de cruzamentos controlados ou polinização natural. Atualmente existe um número muito reduzido de sementes produzidas por progênie o que limita a seleção e obtenção de ganhos genéticos, considerando a reduzida recombinação em populações de menor tamanho. Além disso, o conhecimento da variação do florescimento em mandioca pode ajudar na sincronização dos cruzamentos (CEBALLOS *et al.*, 2017), sobretudo de parentais com alto valor de melhoramento.

No presente estudo foi observada uma ampla variação para características de florescimento. No experimento 1 (2019/2020), a variação média de produção de flores femininas por planta ao longo dos diferentes meses de avaliação foi de 0,5 a 3,4 e de 0,9 a 2,6 no experimento 2. Por outro lado, a variação média de flores masculinas nos experimentos 1 e 2 foi de 1,5 a 9,9 e de 10,1 a 19,0, respectivamente. Baguma *et al.* (2023), em um estudo realizado com 20 genótipos de mandioca (10 com florescimento precoce, e 10 com florescimento tardio) avaliados em dois anos até os 12 MAPs, reportaram variação de 0,0 a 0,9 flores femininas em genótipos que florescem precocemente e variação de 0,0 a 0,7 para genótipos com florescimento tardio. Em outro estudo, Ibrahim *et al.* (2020) investigaram a produção de flores de seis genótipos elite em quatro níveis de ramificação, sendo reportada variação de 0,26 a 168,33 flores masculinas e de 0,0 a 16,52 para flores femininas, considerando a média de flores entre os genótipos para cada nível de ramificação.

A variação observada para o florescimento e frutificação dos genótipos entre diferentes estudos pode ser explicada por uma combinação de fatores relacionados a diferenças genéticas (genótipos diferentes e diversidade genética), período de avaliação, condições climáticas e ambientais (como tipo de solo e manejo agrícola), diferentes metodologias de avaliação (diferenças no número de amostras), além da presença da interação G×A. O número restrito de genótipos avaliados na literatura, contrasta com o grande número de genótipos avaliados no presente estudo. Contudo, a menor amostra de genótipos avaliados por esses autores pode ter limitado a observação da variação genética para o florescimento e frutificação presente na espécie.

Em estudo similar, Souza *et al.* (2020), também encontraram ampla variabilidade genética para florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca ao longo dos diferentes meses de cultivo. Estes autores reportaram que nos primeiros meses de avaliação poucos genótipos produziram flores, sendo que do 3º ao 5º MAP

33% dos genótipos produziram flores, a partir do 6º MAP 40% produziram flores e frutos de forma abundante, sendo que, do 7º ao 9º MAP 14% dos genótipos floresceram e exibiram florescimento baixo. Do 10º ao 12º MAP apenas 4% dos genótipos floresceram.

Em relação às variâncias, nosso estudo demonstrou que apesar da variância genética ser significativa para os dois anos de avaliação, a variância residual foi mais elevada e de maior magnitude para todas as características de florescimento e frutificação. Isso sugere, que além de existir fatores genéticos controlando a expressão do florescimento e frutificação desses genótipos, outros fatores desconhecidos, como fatores ambientais e climáticos podem estar atuando na expressão fenotípica dessas características não atribuídas aos efeitos gênicos.

Du *et al.* (2021), avaliaram a interação G×A para características relacionadas ao tempo de floração em duas populações de milho, considerando dois anos e localizações diferentes. Os autores relataram que a variância genotípica e variância devido o ambiente foi significativa ( $<0,001$ ), sugerindo diferenças genéticas para essas características e indicando que além dos efeitos gênicos estarem influenciando essas características, os efeitos ambientais também estão. Por sua vez, Lopez *et al.* (2019) estudaram as influências genéticas e ambientais no período de floração da oliveira em quatro condições agroclimáticas diferentes da Andaluzia, no sul da Espanha. Grande parte da variabilidade encontrada nos parâmetros fenológicos de floração deveu-se à influência do ambiente. Já para os parâmetros de qualidade da floração, a maior parte da variabilidade foi de origem genética. Para todas as características, a interação G×A foi significativa. Sendo que a maioria dos genótipos avaliados apresentou baixa estabilidade para a maioria das características avaliadas.

Estudos relacionados à interação G×A para características de florescimento em mandioca, podem influenciar significativamente as ações do programa de melhoramento genético da espécie, sobretudo na obtenção de progênies nos blocos de cruzamento. Estudos como este permitem identificar quais genótipos apresentam maior estabilidade de florescimento em diferentes ambientes para serem utilizados como genitores e, assim, maximizar a probabilidade de obter progênies com características desejáveis. No presente estudo, dos 87 genótipos que foram avaliados nos dois experimentos e que floresceram, a grande maioria (76%) apresentaram alta estabilidade (florescimento nos dois anos de avaliação) e precocidade nos dois experimentos. Portanto, se portadores de características agrônômicas desejáveis

para o melhoramento de mandioca, esse tipo de germoplasma tem alto potencial para uso em blocos de cruzamentos mantendo a sincronização de florescimento. Os genótipos BGM-0006; BGM-0440; BGM-0030; BGM-0047; BGM-0498; BGM-0052; BGM-0507; BGM-0076; BGM-0087; BGM-0089; BGM-0536; BGM-0560; BGM-0609; BGM-0661; BGM-0893; BGM-0945; BGM-0959; BGM-0967; BGM-1511; BGM-1604; BGM-1606; BGM-1675; BGM-2047, dentre outros, apresentaram esse tipo de comportamento ao longo das avaliações.

#### **4.2. Influência dos fatores climáticos e ambientais na produção de flores e frutos**

O conhecimento limitado sobre as condições ambientais e climáticas que favorecem o florescimento e frutificação da mandioca, torna-se um fator complicador para o melhoramento genético da espécie. Informação sobre as condições que favorecem o início do florescimento é essencial para garantir o sucesso na elaboração de um programa de cruzamentos, possibilitando a escolha da melhor época para maximizar a probabilidade de sucesso na obtenção de sementes (ZENG *et al.*, 2006). Considerando a ampla faixa de cultivo da mandioca em nível mundial e em vista às variações climáticas globais e as adversidades relacionadas ao seu florescimento, que prejudicam o processo de melhoramento genético da espécie, é importante que as instituições de pesquisa realizem avaliações do seu germoplasma para conhecer os fatores que condicionam o sucesso reprodutivo da mandioca e ainda permitam identificar os acessos menos suscetíveis às variações ambientais (SOUSA *et al.*, 2021).

No presente estudo, houve diferenças entre os dois períodos experimentais quanto a produção de flores e frutos e as variáveis climáticas (precipitação pluvial e temperatura média). Esta variação na intensidade de florescimento e frutificação dos genótipos em cada período pode ser explicada por fatores genéticos dos próprios genótipos e pela influência ambiental e climática de cada período, que em conjunto podem ter afetado a fenologia floral e provocado essa variação fenotípica para florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca (SOUZA *et al.*, 2020). Especificamente no nosso trabalho, 24% dos genótipos avaliados (nos dois experimentos) apresentaram inconstância no florescimento (florescerem em um ano e não em outro). Portanto, além das variáveis climáticas, outros fatores aleatórios, podem ter influenciado na variação do florescimento e frutificação nos dois anos

experimentais. Mesmo tendo tomado todo o cuidado na manutenção das mesmas condições de manejo nos dois anos de avaliação, pode ter havido alguma diferença na disponibilidade de nutrientes, competição intra-parcela não controlada, incidência de pragas ou doenças, além da competição com plantas daninhas (ADEYEMO *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2024).

De modo geral, o maior pico de florescimento ocorreu de forma precoce durante a primavera nos dois anos de avaliação. No segundo mês de avaliação (5º MAP, que coincidiu com o final da primavera) do experimento 1 houve uma considerável redução na produção de flores até o 9º MAP. A produção de flores voltou a aumentar no final do outono onde as temperaturas diárias começaram a reduzir. Já no experimento 2, houve uma redução mais sutil na produção de flores a partir do primeiro mês de avaliação, se mantendo constante durante o período de condução do experimento. Essa diferença entre os experimentos, pode ser devido ao fato de que os primeiros meses do experimento 2 coincidirem com o período inverno/primavera, período no qual a temperatura tende a ser menor. Ou seja, o aumento da temperatura (25 °C a 29 °C) e períodos com precipitação pluvial entre 100 e 200 mm provocam a redução no número de flores e frutos. Já períodos com uma faixa de temperatura média entre 22 °C e 24 °C, foram os mais favoráveis para a produção de flores e frutos.

Em relação a produção de frutos, períodos com precipitação pluvial acima de 120 mm e temperatura acima de 29 °C levaram a uma maior taxa de aborto e conseqüentemente a uma menor produção de frutos. Esses resultados corroboram dados recentes sobre a fenologia floral da mandioca, cujos relatos demonstraram que altas temperaturas (entre 30 e 34 °C) induzem o aborto das flores e reduzem o número de flores femininas por inflorescência e a formação de sementes (SOUZA *et al.*, 2021). Adeyemo *et al.* (2019) reportaram que variedades de mandioca tiveram o florescimento reduzido em temperaturas mais elevadas, na faixa de 31 a 34°C, e tiveram um bom desempenho de floração em temperaturas diárias e noturnas de 22 a 25 °C. Souza *et al.* (2020), também relataram que genótipos de mandioca apresentaram maior floração sob temperaturas mais elevadas em algumas épocas do ano (~25 °C). De acordo com Alves (2006), a faixa de temperatura mais adequada para floração da mandioca está em torno de 24 °C, além de ser também dependente de fatores genéticos e de outras variáveis climáticas. Além da temperatura, alguns autores mencionam que o fotoperíodo também está relacionado a regulação de genes associados à expressão floral, promovendo a redução ou estimulando o florescimento

em determinados genótipos de mandioca (ADEYEMO *et al.*, 2019). Santos *et al.* (2024) avaliaram a performance de florescimento de 35 genótipos de mandioca em seis épocas de plantio distintas. Os autores observaram diferenças ao longo das épocas avaliadas, indicando a influência ambiental na expressão da floração em mandioca. A terceira época de plantio (período seco), propiciou a floração precoce, aproximadamente dois meses após o plantio e maior produção de flores. Genótipos de mandioca plantados no final do período chuvoso apresentaram floração reduzida. Além disso, estes autores demonstraram que a temperatura e os graus-dia acumulados são fatores ambientais correlacionados com o aumento da floração da mandioca. Estes resultados reforçam a hipótese de que as variáveis climáticas interferem na performance de floração e frutificação da mandioca e que o planejamento adequado do período e locais de plantação pode maximizar a produção de sementes.

A falta de relação entre o florescimento/frutificação e a variação climática (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e precipitação) no experimento 1 em contraste ao experimento 2, pode ser explicada por diversos fatores, incluindo diferenças na sensibilidade dos genótipos aos fatores climáticos, variações na intensidade e em padrões de variação climática entre os dois anos. É possível que os genótipos de mandioca tenham apresentado maior sensibilidade às variáveis climáticas durante o experimento 2, ou mesmo diferenças nos padrões de florescimento considerando o próprio genótipo, já que nem todos os clones foram comuns aos dois ensaios.

Estudos em outras espécies vegetais mostram que a estabilidade do florescimento em diferentes períodos pode variar significativamente com base em variáveis ambientais como temperatura, fotoperíodo e precipitação. Os genótipos podem responder de maneira distinta as mesmas condições ambientais, o que pode explicar as variações entre os anos de avaliação do presente estudo (LEE *et al.*, 2023). Tun *et al.* (2021) reportou a importância da interação entre fatores como temperatura e fotoperíodo que podem alterar o tempo de florescimento de período para período. Além disso, um estudo com *Brassica Napus* sugere que diferenças genéticas podem levar respostas distintas ao clima entre diferentes anos ou locais (XU *et al.*, 2023).

### **4.3 Correlação entre as características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos de produtividade**

Estudos prévios investigaram a relação entre o florescimento e características relacionadas a produtividade em algumas espécies vegetais. Os resultados destas pesquisas indicam que em culturas produtoras de grãos como o feijão (DIDONET, 2010) e grão-de-bico (MALLIKARJUNA *et al.*, 2019) a quantidade de flores produzidas está diretamente associada à produtividade e qualidade de grãos. Já para a cana-de-açúcar, o florescimento é uma característica que afeta negativamente a produtividade da cultura (PEREIRA, 2012), reduzindo a qualidade e quantidade de açúcar no caule, aumentando a formação de fibras, dificultando o manejo agrícola (ARALDI *et al.*, 2010).

Em mandioca, estudos têm sido realizados para investigar correlações entre características agronômicas, resposta à irrigação e efeito de épocas de colheita em atributos produtivos (SOUZA *et al.*, 2010; LESSA *et al.*, 2019), além da relação entre caracteres morfológicos e fisiológicos associados à produtividade (AMARULLAH, 2021). Considerando que a melhoria da produtividade e da qualidade de raízes de mandioca é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético da cultura, é interessante que estudos como estes sejam direcionados à espécie. Entretanto, ainda não há relatos sobre a influência de atributos associados à floração sobre características agronômicas e qualidade de raízes, especialmente se genótipos com vários níveis de ramificação e, portanto, com maior taxa de florescimento tendem a ser mais produtivos do que genótipos de porte mais ereto, em função da maior capacidade fotossintética desse tipo de planta. Portanto, conforme é de nosso conhecimento, esse é o primeiro relato desse tipo de estudo em mandioca.

De modo geral, os estudos de correlação entre as características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos, demonstraram haver uma clara separação dos genótipos de mandioca quanto a estes tipos de caracteres, ou seja, ausência de correlações significativas entre quaisquer variáveis de florescimento e de produção. Por outro lado, como era de se esperar as características de florescimento/frutificação foram intimamente relacionadas em função das correlações positivas e de magnitude mediana a alta (0, 59 a 0, 96). Além disso, verificou-se que essas correlações foram mais elevadas em genótipos com maior nível de bifurcação (porte ramificado). Este resultado, ajuda a comprovar que o florescimento dos genótipos de mandioca está diretamente correlacionado à ramificação das hastes (CEBALLOS *et al.*, 2017, SOUZA *et al.*, 2018). Na literatura, foi observado que o nível

e o momento da ramificação influenciam na disponibilidade e na fertilidade das flores. Ibrahim *et al.*, (2020) relataram variação no momento da ramificação das hastes entre os genótipos estudados, e recomendam a utilização de diferentes datas de plantio para diferentes genótipos, a fim de garantir a sincronização do florescimento.

Em relação às características agrônômicas e de qualidade de raiz houveram correlações significativas, mas de baixa magnitude (variação entre -0,38 a -0,15) com algumas características de florescimento e frutificação dependendo do porte da planta. Por exemplo, em genótipos de porte ereto a altura de planta apresentou correlações negativas com NFF, NFr, NMF, NP e NM (variação entre -0,25 e -0,38) e o peso total de raiz com NFr (-0,26). Essas correlações negativas demonstram que plantas que ramificam tendem a ter menor altura de planta. Além disso, quanto maior o número de ramificações maior o número de flores, e nesse caso, foi observado que o maior número de flores tende a reduzir a retenção foliar (Rfol × NFF, NFM, NFr, NMF, NP e NM, com variação entre -0,18 a -0,28). No entanto, deve-se ressaltar que essas correlações apesar de significativas são de baixa magnitude.

Algumas correlações significativas entre os atributos agrônômicos também variaram conforme o porte da planta. À medida que o porte da planta variou entre ereto, intermediário e ramificado as correlações entre algumas características foram reduzidas, a exemplo de PTR × PPA (0.82, 0.73 e 0.59, respectivamente), API × PTR (0.61, 0.48 e 0.36, respectivamente) e API × PPA (0.70, 0.68 e 0.48, respectivamente). Portanto, no caso específico da correlação PTR × PPA, o porte das plantas pode mudar o índice de colheita, sendo que plantas mais eretas tenderam a ter respostas mais similares em relação a PTR e PPA. Situação semelhante também foi encontrada nas correlações entre API × (PTR e PPA), na qual plantas mais altas, também tendem a ter maior correlação com a produtividade de raízes e da parte aérea. Portanto, nosso estudo demonstrou que o porte das plantas de mandioca pode contribuir para diferenças na arquitetura das plantas e na distribuição da biomassa das plantas de mandioca. Plantas mais altas que tendem a ter porte mais ereto também tenderam a apresentar maior correlação com atributos produtivos como PTR e PPA.

De modo geral, plantas mais altas tenderam a ter maior produção de biomassa aérea, o que pode correlacionar-se com uma maior produtividade de raízes, devido a existência de maior área foliar para fotossíntese, fornecendo mais energia para o crescimento das raízes. Rós *et al.* (2011), relataram que a cultivar IAC 14, que atinge alturas de até 272 cm, também apresentou um bom desempenho em termos de

produtividade de raízes. Estes autores também relataram que duas cultivares (Espeto e Fécula Branca) apresentaram as menores produções quanto ao peso da parte aérea, considerando que a maioria das plantas dessas variedades caracterizou-se por poucas ramificações, além do baixo porte. Os autores também destacaram que genótipos de mandioca muito ramificados podem apresentar menor rendimento de raízes em função de espaçamentos de plantio mais reduzido, pois necessitam de maior área para desenvolver suas ramificações e, conseqüentemente, produzir fotoassimilados (RÓS *et al.*, 2011).

Vieira *et al.* (2014), também reportaram correlação significativa entre altura da planta e o peso da parte aérea, porém de baixa magnitude ( $r = 0,22$ ). A correlação positiva entre a altura de planta e o peso da parte aérea indica que quanto mais alta a planta, maior será o peso da parte aérea devido a maior massa de hastes e de folhas (CACH *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2007), embora fatores genéticos e ambientais como variações na disponibilidade de água e nutrientes, podem afetar as relações entre a produtividade de raiz, peso da parte aérea e altura da planta (AMARULLAH, 2021).

Com base nas correlações entre os atributos agronômicos, considerando o florescimento dos genótipos de mandioca, verificou-se que todas as correlações entre os atributos agronômicos foram mais evidentes para o grupo de plantas que não apresentam florescimento. É possível que as plantas que não florescem tendem a direcionar maior quantidade de nutrientes para o desenvolvimento de raízes.

#### **4.4 Similaridade fenotípica para características de florescimento/frutificação e atributos agronômicos**

A DAPC foi utilizada para identificar padrões de similaridade fenotípica no conjunto de características de floração, frutificação e atributos agronômicos, tendo como resultado o agrupamento do germoplasma de mandioca em cinco grupos. Essa classificação dos genótipos favorece o manejo da hibridação nos campos de cruzamento, contribuindo para a otimização na geração de novas progênies visando o desenvolvimento de variedades melhoradas (SOUZA *et al.*, 2018). Após a definição das características desejáveis e seleção dos parentais com altos valores de melhoramento, os genótipos podem ser plantados em períodos diferentes a fim de coincidir suas épocas de pico de floração, garantindo que a hibridização ocorra com sincronização máxima da floração (SOUZA *et al.*, 2020).

Com uma compreensão clara da estrutura genética dos genótipos de mandioca, os programas de melhoramento genético podem ser mais eficientes na seleção de genótipos promissores e na condução de cruzamentos controlados, reduzindo assim o tempo e os recursos necessários para desenvolver novas variedades. Estudos como este, possibilitam a realização de inferências precisas sobre o florescimento dos genótipos, a exemplo dos grupos que possuem a maior capacidade de produzir flores e frutos (grupo 1), grupos que não apresentam alto florescimento e frutificação (grupo 2 e 5), grupos formados por genótipos com florescimento precoce (grupo 1 e 2), ou os que apresentam florescimento tardio (grupo 4 e 5). Em estudo similar, Souza *et al.* (2020), reportaram o agrupamento do germoplasma de mandioca em sete grupos distintos, considerando características de floração e frutificação. Estes autores identificaram grupos com floração precoce (8,5% dos acessos); floração abundante (0,6% dos acessos); e floração reduzida (54% dos acessos).

Com base nos resultados alcançados neste estudo, sugere-se que estudos posteriores sejam direcionados aos 28 genótipos alocados no grupo 1, considerando que apresentou desempenho superior em termos de florescimento e frutificação. Além disso, os genótipos floresceram de forma mais precoce em comparação aos demais grupos. Entretanto, é preciso ponderar sobre a existência de genótipos elite do programa de melhoramento alocados nos demais grupos. O fato destes genótipos elites não apresentarem boa capacidade de florescimento, faz com que seja preciso estabelecer alternativas para induzir a produção de flores, a exemplo do uso de técnicas específicas de indução do florescimento. Ibrahim *et al.* (2020) recomendam a aplicação de reguladores de crescimento, com extensão do fotoperíodo e plantio em locais em condições mais adequadas de florescimento, realização de plantios em épocas que permitam as plantas estarem no seu máximo vigor fisiológico nos momentos de maior propensão ao florescimento (a exemplo da primavera). Baguma *et al.* (2023) também relataram que o RLE associado a PGR e poda possibilita o aumento na produção de flores da mandioca.

Em relação ao agrupamento para características agronômicas, houve algumas diferenças significativas pontuais entre grupos, para todas as características avaliadas. Essas diferenças são relevantes pois permitem selecionar genótipos com características específicas de interesse agrônomo, como a capacidade de retenção foliar, rendimento de raiz, produção de biomassa da parte aérea, produção de matéria

seca, altura e ramificação de plantas. Foi possível identificar grupos com padrão similar de distribuição das características agrônômicas, e grupos que são mais discrepantes em relação aos demais, a exemplo dos grupos 1, 4 e 5. Os principais atributos que caracterizam o grupo 1 são plantas com alturas mais reduzidas (~190cm), menor número de hastes por planta (~1,55), menor escore para porte das plantas (3,39), menor produtividade de raiz (20,31 t.ha<sup>-1</sup>) e menor produtividade da parte aérea (18,32 t.ha<sup>-1</sup>). Os grupos 4 e 5 foram formados por genótipos com tendência a terem maior altura de planta (207,37 e 217,88 cm, respectivamente), maior número de hastes por planta (1,62 e 1,63, respectivamente), plantas com menor porte (3,32 e 3,00, respectivamente), maior capacidade de retenção foliar (1,27 e 1,54, respectivamente), e maiores produtividades de raízes (m=25,19 e 26,49, respectivamente), e parte aérea (m=22,38 e 26,49, respectivamente).

## 5. Conclusão

O germoplasma de mandioca apresentou ampla variação para as características de florescimento e frutificação ao longo dos anos de avaliação, sendo influenciado por fatores genéticos e fatores ambientais. O componente da interação também foi bastante pronunciado indicando que as estratégias de melhoramento devem considerar tanto a seleção de genótipos com bom desempenho em diversas condições ambientais quanto a necessidade do desenvolvimento de práticas agrônômicas específicas para maximizar o florescimento e frutificação em diferentes ambientes.

A associação das variáveis climáticas (temperatura e precipitação), mostrou que durante o experimento 2, o florescimento foi influenciado pela variação da temperatura média, enquanto a frutificação é influenciada pela variação da temperatura média e indiretamente pela precipitação pluvial. Portanto, a implementação de campos de cruzamento deve levar em consideração essas informações para que seja possível, coincidir o período de máximo vigor fisiológico das plantas com períodos do ano mais adequados para a produção de flores de forma a otimizar a geração de progênies.

O agrupamento do germoplasma de mandioca em cinco grupos distintos quanto as características de florescimento/frutificação e características agrônômicas, contribui para estudos de conservação e uso destes recursos genéticos para fins de melhoramento. Os genótipos pertencentes ao Grupo 1 apresentaram alta performance

de floração e frutificação ao longo dos 12 MAP, além de apresentarem florescimento mais precoce.

Foi possível identificar genótipos com alta estabilidade para florescimento e que exibiram floração precoce, como por exemplo: BGM-0006; BGM-0440; BGM-0030; BGM-0047; BGM-0498; BGM-0052; BGM-0507; BGM-0076; BGM-0087; BGM-0089; BGM-0536; BGM-0560; BGM-0609; BGM-0661; BGM-0893; BGM-0945; BGM-0959; BGM-0967; BGM-1511; BGM-1604; BGM-1606; BGM-1675; BGM-2047. Estes e outros genótipos que apresentaram estas características podem ser selecionados para utilização como progenitores em blocos de cruzamentos, afim de manter a sincronização do florescimento.

Não houve correlações significativas e de alta magnitude entre características relacionadas ao florescimento/frutificação com atributos agronômicos em mandioca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL, R.L.N.; PINEDA, L.M.; WASEK, I.; WEDZONY, M.; CEBALLOS, H. Reproductive biology in cassava: stigma receptivity and pollen tube growth. **Communicative & Integrative Biology**, p.96-111, v.12, n.1, 2019. <https://doi.org/10.1080/19420889.2019.1631110>
- ADEYEMO, O.S.; HYDE, P.T.; SETTER, T. L. Identification of FT Family genes that respond to photoperiod, temperature and genotype in relation to flowering in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Reproduction**, v.32, p.181-191, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00497-018-00354-5>
- ALLEM, A.C. **The origins and taxonomy of cassava**. Embrapa, Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília-DF, p.16, 2002.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: SOUZA, L. da S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P. de; FUKUDA, W. M. G. (ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p. 139-162 ,2006.
- ALVES, A.A.C. **Botânica e fisiologia da mandioca**. Em Hillocks RJ, Thresh JM, Bellotti AC. Mandioca: biologia, produção e utilização.: Reino Unido: Cabi Publishing; 2002. p.67–89.
- AMARULLAH. **Morphological, physiological and agronomic characteristics of cassava superior variety of coastal lands**. IOP Publishing, v.748, p. 13, 2021. doi:10.1088/1755-1315/748/1/012030. doi:10.1088/1755-1315/748/1/012030
- ARALDI, R.; SILVA, F.M.L.; ONO, E.O.; RODRIGUESI, J. D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.40, n.3, p. 695-602, 2010. ISSN 0103-8478
- ARELLANO, J.L.D.R.; MÁRQUEZ, I.M.; OVALLE, O.R.L.; RIVERA, N.A.; LÓPEZ, G.I.B.; MEZA, P.A. Morphoagronomic and industrial performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm for the production of starch and solid byproducts. **Agriculture and Food**, v.5(4), p.617–634, 2020. DOI: 10.3934/agrfood.2020.4.617.
- BAGUMA, U.K.; MUKASA, S.B.; NUWAMANYA, E.; ALICAI, T.; OMONGO, C.; HYDE, P.T.; SETTER, T.L.; SSEMAKULA, M. O.; ESUMA, W.; KANAABI, M.; IRAGABA, P.; BAGUMA, Y.; KAWUKI, R.S. Flowering and fruit-set in cassava under extended red-light photoperiod supplemented with plant-growth regulators and pruning. **BMC Plant Biology**, v.23, n.235, p.2-17. 2023. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04349-x>

- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. "Fitting Linear Mixed- Effects Models Using lme4." **Journal of Statistical Software**, v. 67, n.1, p. 1- 48, 2015. doi: 10.18637/jss.v067.i01.
- BAYATA, A. Review on nutritional value of cassava for use as a staple food. **Science Journal of Analytical Chemistry**, v.7, n.4, p.83-91, 2019. doi: 10.11648/j.sjac.20190704.12
- CACH, N.T.; LENIS, J.I.; PEREZ, J.C.; MORANTE, N.; CALLE. F.; CEBALLOS, H. Inheritance of useful traits in cassava grow in subhumid conditions. **Plant Breeding**, v.125, p.177-182, 2006.
- CARDOSO, C. E. L., SOUZA, J. D. S., GAMEIRO, A. H. **Aspectos econômicos e mercado**. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca, p. 41-70, 2006.
- CARVALHO, R.R.B.; SOUSA, M.B.; OLIVEIRA, L. A.; OLIVEIRA, E.J. **Phenotypic diversity and selection in biofortified cassava germplasm for yield and quality root traits**. V.218. n.173, p. 20, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03125-6>
- CEBALLOS, H.; KULAKOW, P.; HERSHEY, C. Cassava Breeding: Current Status, Bottlenecks and the Potential of Biotechnology Tools. **Tropical Plant Biol.** v. 5, p.73–87, 2012. DOI 10.1007/s12042-012-9094-9
- CEBALLOS, H.; JARAMILLO, J. J.; SALAZAR, S.; PINEDA, L. M.; CALLE, F.; SETTER, T. Induction of flowering in cassava through grafting. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 9, n. 2, p.19-29, 2017. doi: 10.5897/JPBCS2016.0617
- CEBALLOS, H.; OKOGBENIN, E.; PÉREZ, J. C.; LÓPEZ-VALLE, L. A. B.; DEBOUCK, D. Cassava. In: Root and tuber crops. **Springer**, New York, NY. p.53-96, 2010.
- DANKWA, K.O.; PEPRAH, B. B. Industrialization of cassava sector in Ghana: progress and the role of developing high starch cassava varieties. **Ghana Journal of Agricultural Science**, v. 54, n. 2, p. 79-85, 2019.
- DIDONET, A.D. Importância do período de pré-floração na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p.512, 2010. ISSN 1983-4063
- DU, L.; ZHANG, H.; XIN, W.; MA, K.; DU, D.; YU, C.; LIU, Y. Dissecting the Genetic Basis of Flowering Time and Height Related-Traits Using Two Doubled Haploid Populations in Maize. **Plants**, v. 10, n. 1585, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10081585>

EGESI, C.N.; P. ILONA.; OGBE, F.O.; AKORODA, M.; DIXON, A. Genetic Variation and Genotype 3 Environment Interaction for Yield and Other Agronomic Traits in Cassava in Nigeria. **Agronomy Journal**, v. 99, 2007. doi:10.2134/agronj2006.0291

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 05 de fevereiro 2024.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat– Statistics Database. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> Acesso em: set. 2022.

GOMES, C.N.; CARVALHO, S.P.; JESUS, M.A.S.; CUSTÓDIO, T.N. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1121-1130, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800008>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: IBGE | Portal do IBGE | IBGE. Acesso em: fevereiro/ 2024.

IBRAHIM, Y.; BAGUMA, Y.; ABINCHA, W.; GIBSON, P.; EDEMA, R.; BISIKWA, J. Flowering problems and their possible solution in cassava breeding. **Journal of Scientific Agriculture**, v.4, p.83-89, 2020. doi: 10.25081/jsa.2020.v4.6220.

JOMBART, T.; DEVILLARD, S.; BALLOUX, F. Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations. **BMC genetics**, v.11, n. 1, p. 1-15, 2010. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-94>.

KAWANO, K.; FUKUDA, W. M. G.; CENPUKDEE, U. Genetic and environmental effects on dry matter content of cassava root. **Crop Science**, v. 27, n. 1, p. 69-74, 1987.

LEE , Z.; KIM, S.; CHOI, S.J.; JOUNG, E.; KWON, M.; PARK, H.J.; SHIM, J.S. Regulation of flowering time by environmental factors in plants. **Plants**, v.12, n. 3680, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12213680>

LESSA, L.S; LEDO, C.A.S; SANTOS, V.S. Effect of harvesting times on agronomic characteristics of industrial cassava genotypes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, p. 1-6, 2019. doi:10.5039/agraria.v14i2a5647

MALLIKARJUNA, B.P.; VISWANATHA, K.P.; SAMINENI, S.; GAUR, P.M. Association of flowering time with phenological and productivity traits in chickpea. **Euphytica**, v.215, n.77, p.9, 2019.

OLSEN, K. M. SNPs, SSRs and inferences on cassava's origin. **Plant Molecular Biology**, v. 56, n. 4, p. 517-526, 2004. doi:10.1007/s11103-004-5043-9

PEREIRA, I.A. Florescimento da cana: um buquê de prejuízos. **Canal Jornal da Bioenergia**, USP, 2012.

R CORE TEAM. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RÓS, A.B.; HIRATA, A.C.S.; ARAÚJO, H.S.; NARITA, N. Crescimento, fenologia e produtividade de cultivares de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 552-558, 2011. ISSN 1983-4063

SANTOS, A.D.; SOUSA, M.B.; ALVES, A.A.C.; OLIVEIRA, E.J. Environmental factors influence the production of flowers and fruits of cassava. **Scientia Horticulturae**, v. 323, p.18, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112498>.

SOUSA, M. B.; ANDRADE, L. R. B.; SOUZA, E. H.; ALVES, A. A. C.; OLIVEIRAI, E. J. Reproductive barriers in cassava: Factors and implications for genetic improvement. **Plos One**, v.16, n.11, p.27, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260576>

SOUZA, M.J.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N.; VASCONCELOS, R.C.; SEDIYAMA, T.; MAGALHÃES, O.M. Características agrônômicas da mandioca relacionadas à interação entre irrigação, épocas de colheita e cloreto de mepiquat. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 45-53, 2010. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i1.720.

SOUZA, L. S.; ALVES, A. A.C.; OLIVEIRA, E. J. Phenological diversity of flowering and fruiting in cassava germplasm. **Scientia Horticulturae**, v.265, p.8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.10925>

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S.; GOMES, J.C. Exigências edáficas da cultura da mandioca. In: SOUZA, L.S.; FARIAS, A.R.N.; MATTOS, P.L.P.; FUKUDA, W.M.G. (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p.70-214, 2006.

SOUZA, L.S.; DINIZ, R.P.; NEVES, R.J.; CUNHA, A.A.; OLIVEIRA, E.J. Grafting as a strategy to increase flowering of cassava. **Scientia Horticulturae**, v.240, p. 544-551, 2018.

TONUKARI, N.J. Cassava and the future of starch. **Electronic Journal of Biotechnology**. 2004;7(1). DOI: 10.4067/S0717-34582004000100003

TUN, W., YOON, J., JEON, J.S.; GYNHEUNG, A.N. Influence of Climate Change on Flowering Time. **Journal of Plant Biology**, v. 64, p.193–203, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12374-021-09300-x>

VIEIRA, E.A.; FREITAS FIALHO, J.F.; CARVALHO, L.J.CB. Correlação fenotípica entre caracteres agronômicos em população segregante de mandioca de mesa. **Revista Ceres**, v. 61, n.4, p. 523-529, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461040011>.

XU, Y.; KONG, X.; GUO, Y.; WANG, R.; YAO, X.; CHEN, X.; YAN, T.; WU, D.; LU, Y.; DONG, J.; ZHU, Y.; CHEN, M.; CEN, H.; JIANG, X. Structural variations and environmental specificities of flowering time-related genes in *Brassica napus*. **Theor Appl Genet**, v.136, n. 42, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04326-w>

ZENG, Q.; ZHAO, Z. H.; ZHAO, S. Q. Signal pathways of flowering time regulation in plant. **Hereditas**, v. 28, n. 8, p. 1031-1036, 2006.

## MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela S1.** Estabilidade do florescimento de 87 genótipos de mandioca avaliados nos dois anos de cultivo (2019 e 2022).

<b>Genótipos</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Característica</b>	<b>Genótipos</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Característica</b>
BGM-0006	Alta	Precoce	BGM-0440	Alta	Precoce
BGM-0022	Baixa	Intermediário	BGM-0462	Baixa	Precoce
BGM-0029	Baixa	Intermediário	BGM-0467	Baixa	Intermediário
BGM-0030	Alta	Precoce	BGM-0474	Sem flor	-
BGM-0031	Baixa	Precoce	BGM-0480	Baixa	Precoce
BGM-0044	Sem flor	-	BGM-0484	Sem flor	-
BGM-0047	Alta	Precoce	BGM-0498	Alta	Intermediário
BGM-0050	Baixa	Intermediário	BGM-0507	Alta	Precoce
BGM-0052	Alta	Precoce	BGM-0509	Sem flor	-
BGM-0065	Sem flor	-	BGM-0512	Baixa	Intermediário
BGM-0076	Alta	Precoce	BGM-0514	Baixa	Intermediário
BGM-0087	Alta	Precoce	BGM-0517	Alta	Precoce
BGM-0089	Alta	Precoce	BGM-0521	Alta	Intermediário
BGM-0091	Baixa	Intermediário	BGM-0523	Sem flor	-
BGM-0133	Alta	Precoce	BGM-0536	Alta	Precoce
BGM-0134	Alta	Precoce	BGM-0560	Alta	Precoce
BGM-0138	Baixa	Precoce	BGM-0609	Alta	Precoce
BGM-0140	Alta	Precoce	BGM-0661	Alta	Precoce
BGM-0144	Alta	Precoce	BGM-0893	Alta	Precoce
BGM-0150	Baixa	Precoce	BGM-0945	Alta	Precoce
BGM-0151	Sem flor	-	BGM-0959	Alta	Precoce
BGM-0152	Baixa	Tardio	BGM-0967	Alta	Precoce
BGM-0157	Alta	Precoce	BGM-1511	Alta	Precoce
BGM-0161	Alta	Precoce	BGM-1604	Alta	Precoce
BGM-0164	Alta	Precoce	BGM-1606	Alta	Precoce
BGM-0168	Baixa	Precoce	BGM-1675	Alta	Precoce
BGM-0184	Alta	Precoce	BGM-2047	Alta	Precoce
BGM-0186	Alta	Precoce	BGM-2048	Sem flor	-
BGM-0190	Alta	Precoce	BGM-2055	Sem flor	-
BGM-0195	Alta	Precoce	BGM-2059	Alta	Precoce
BGM-0220	Alta	Precoce	BGM-2061	Alta	Precoce
BGM-0236	Alta	Precoce	BGM-2063	Baixa	Precoce
BGM-0239	Alta	Precoce	BGM-2065	Sem flor	-
BGM-0242	Sem flor	-	BGM-2066	Alta	Precoce
BGM-0247	Alta	Intermediário	BGM-2072	Alta	Precoce
BGM-0268	Alta	Precoce	BGM-2073	Alta	Precoce
BGM-0277	Alta	Precoce	BGM-2074	Alta	Precoce
BGM-0283	Alta	Precoce	BGM-2078	Alta	Precoce
BGM-0290	Baixa	Precoce	BGM-2080	Alta	Precoce
BGM-0308	Alta	Precoce	BGM-2081	Alta	Precoce
BGM-0366	Alta	Precoce	BGM-2086	Sem flor	-
BGM-0383	Alta	Precoce	BRS-399	Alta	Precoce
BGM-0437	Baixa	Precoce	BRS-Mulatinha	Alta	Precoce
BGM-0439	Baixa	Intermediário			

\*Estabilidade alta: Genótipos que floresceram nos dois anos de cultivo; Estabilidade baixa: Genótipos que floresceram em apenas um ano de cultivo. Precoce: início do florescimento até 4 meses após o plantio (MAP); Intermediário: início do florescimento entre 5 e 10 MAP; Tardio: início do florescimento entre 11 e 12 MAP.

**Tabela S2.** Características do florescimento em genótipos de mandioca avaliados em apenas um ano de avaliação.

Genótipos	2019	2022	Característica	Genótipos	2019	2022	Característica
Aipim-Ze-Marcos	x		Precoce	BGM-0123	x		Precoce
BGM-0004	x		Intermediário	BGM-0124	x		Precoce
BGM-0005	x		Precoce	BGM-0126		x	Precoce
BGM-0011	x		Precoce	BGM-0145	x		Precoce
BGM-0014		x	Precoce	BGM-0148	x		Precoce
BGM-0017	x		Precoce	BGM-0150-A	x		Precoce
BGM-0018	x		Sem flor	BGM-0150-B	x		Sem flor
BGM-0019		x	Precoce	BGM-0152-B	x		Intermediário
BGM-0020		x	Precoce	BGM-0155	x		Sem flor
BGM-0021	x		Precoce	BGM-0156	x		Sem flor
BGM-0022-TB	x		Sem flor	BGM-0158	x		Precoce
BGM-0022-TR	x		Sem flor	BGM-0162	x		Sem flor
BGM-0024		x	Precoce	BGM-0162-A	x		Precoce
BGM-0028	x		Sem flor	BGM-0162-B	x		Precoce
BGM-0032	x		Sem flor	BGM-0163	x		Sem flor
BGM-0035	x		Intermediário	BGM-0167	x		Sem flor
BGM-0036	x		Sem flor	BGM-0169	x		Sem flor
BGM-0037	x		Sem flor	BGM-0171		x	Sem flor
BGM-0040	x		Sem flor	BGM-0174		x	Sem flor
BGM-0042	x		Precoce	BGM-0178	x		Sem flor
BGM-0046	x		Intermediário	BGM-0179	x		Sem flor
BGM-0048	x		Precoce	BGM-0199	x		Intermediário
BGM-0054		x	Precoce	BGM-0202		x	Intermediário
BGM-0056	x		Sem flor	BGM-0204	x		Precoce
BGM-0058	x		Intermediário	BGM-0205	x		Sem flor
BGM-0060	x		Precoce	BGM-0208	x		Intermediário
BGM-0061		x	Precoce	BGM-0209	x		Sem flor
BGM-0062		x	Precoce	BGM-0210	x		Intermediário
BGM-0063	x		Precoce	BGM-0211	x		Precoce
BGM-0066	x		Precoce	BGM-0212	x		Sem flor
BGM-0067	x		Precoce	BGM-0213		x	Precoce
BGM-0069	x		Intermediário	BGM-0215	x		Sem flor
BGM-0070	x		Sem flor	BGM-0216	x		Precoce
BGM-0073	x		Intermediário	BGM-0222	x		Precoce
BGM-0075		x	Precoce	BGM-0226	x		Sem flor
BGM-0080	x		Precoce	BGM-0235	x		Sem flor
BGM-0083	x		Sem flor	BGM-0237	x		Intermediário
BGM-0084	x		Sem flor	BGM-0238	x		Intermediário
BGM-0085	x		Precoce	BGM-0240	x		Sem flor
BGM-0088	x		Precoce	BGM-0246	x		Sem flor
BGM-0090		x	Precoce	BGM-0248	x		Precoce
BGM-0093	x		Precoce	BGM-0249	x		Sem flor
BGM-0094	x		Precoce	BGM-0249(A.Marag)	x		Precoce
BGM-0096	x		Sem flor	BGM-0252	x		Precoce
BGM-0098		x	Intermediário	BGM-0254	x		Intermediário
BGM-0100	x		Sem flor	BGM-0257		x	Precoce
BGM-0106	x		Precoce	BGM-0260	x		Intermediário
BGM-0115		x	Sem flor	BGM-0261	x		Precoce
BGM-0115-TB		x	Sem flor	BGM-0267	x		Precoce
BGM-0117	x		Precoce	BGM-0282	x		Precoce
BGM-0119	x		Precoce	BGM-0285	x		Precoce
BGM-0120		x	Precoce	BGM-0289		x	Precoce
BGM-0121		x	Precoce	BGM-0294		x	Precoce
BGM-0122	x		Intermediário	BGM-0304		x	Precoce

Continuação...

<b>Genótipos</b>	<b>2019</b>	<b>2022</b>	<b>Característica</b>	<b>Genótipos</b>	<b>2019</b>	<b>2022</b>	<b>Característica</b>
BGM-0315	x		Precoce	BGM-0544		x	Sem flor
BGM-0323	x		Precoce	BGM-0550		x	Precoce
BGM-0326		x	Sem flor	BGM-0551		x	Precoce
BGM-0336	x		Precoce	BGM-0561		x	Intermediário
BGM-0342		x	Precoce	BGM-0570		x	Tardio
BGM-0349	x		Precoce	BGM-0576		x	Sem flor
BGM-0352		x	Precoce	BGM-0579		x	Intermediário
BGM-0356	x		Precoce	BGM-0585		x	Sem flor
BGM-0357	x		Precoce	BGM-0587	x		Sem flor
BGM-0358		x	Precoce	BGM-0592		x	Precoce
BGM-0359	x		Sem flor	BGM-0593		x	Intermediário
BGM-0364	x		Precoce	BGM-0598		x	Intermediário
BGM-0369		x	Precoce	BGM-0603		x	Sem flor
BGM-0380	x		Precoce	BGM-0606		x	Precoce
BGM-0386		x	Intermediário	BGM-0607	x		Precoce
BGM-0388	x		Precoce	BGM-0618		x	Sem flor
BGM-0396		x	Precoce	BGM-0630		x	Intermediário
BGM-0399		x	Sem flor	BGM-0631		x	Precoce
BGM-0407		x	Precoce	BGM-0635		x	Intermediário
BGM-0413		x	Precoce	BGM-0648		x	Intermediário
BGM-0414		x	Precoce	BGM-0654		x	Sem flor
BGM-0420	x		Sem flor	BGM-0657	x		Precoce
BGM-0421		x	Sem flor	BGM-0659		x	Intermediário
BGM-0424		x	Precoce	BGM-0662		x	Tardio
BGM-0425	x		Intermediário	BGM-0664		x	Precoce
BGM-0426		x	Precoce	BGM-0671		x	Precoce
BGM-0427	x		Sem flor	BGM-0673		x	Sem flor
BGM-0428	x		Sem flor	BGM-0677		x	Intermediário
BGM-0435	x		Sem flor	BGM-0678		x	Intermediário
BGM-0436	x		Precoce	BGM-0679		x	Sem flor
BGM-0441	x		Intermediário	BGM-0680		x	Intermediário
BGM-0442	x		Sem flor	BGM-0682		x	Sem flor
BGM-0443	x		Precoce	BGM-0685		x	Precoce
BGM-0444	x		Precoce	BGM-0694		x	Intermediário
BGM-0448	x		Precoce	BGM-0700		x	Tardio
BGM-0449	x		Sem flor	BGM-0703		x	Precoce
BGM-0451	x		Precoce	BGM-0707		x	Precoce
BGM-0460		x	Precoce	BGM-0708	x		Precoce
BGM-0461	x		Intermediário	BGM-0714		x	Intermediário
BGM-0465	x		Intermediário	BGM-0715		x	Sem flor
BGM-0468	x		Precoce	BGM-0718		x	Precoce
BGM-0470	x		Intermediário	BGM-0726		x	Precoce
BGM-0471	x		Sem flor	BGM-0728	x		Precoce
BGM-0472		x	Precoce	BGM-0729		x	Precoce
BGM-0476	x		Sem flor	BGM-0741		x	Precoce
BGM-0489	x		Sem flor	BGM-0783		x	Intermediário
BGM-0495		x	Precoce	BGM-0805		x	Intermediário
BGM-0500	x		Sem flor	BGM-0806		x	Precoce
BGM-0510		x	Precoce	BGM-0808		x	Precoce
BGM-0511	x		Precoce	BGM-0812		x	Intermediário
BGM-0520	x		Sem flor	BGM-0831	x		Precoce
BGM-0527		x	Precoce	BGM-0848		x	Intermediário
BGM-0541		x	Precoce	BGM-0851		x	Precoce
BGM-0543		x	Precoce	BGM-0857		x	Intermediário

Continuação...

<b>Genótipos</b>	<b>2019</b>	<b>2022</b>	<b>Característica</b>	<b>Genótipos</b>	<b>2019</b>	<b>2022</b>	<b>Característica</b>
BGM-0858		x	Precoce	BGM-1162		x	Precoce
BGM-0863	x		Precoce	BGM-1164		x	Precoce
BGM-0869		x	Tardio	BGM-1168		x	Intermediário
BGM-0872		x	Intermediário	BGM-1180		x	Intermediário
BGM-0882		x	Sem flor	BGM-1196		x	Precoce
BGM-0889		x	Precoce	BGM-1198		x	Precoce
BGM-0894		x	Intermediário	BGM-1203		x	Precoce
BGM-0905		x	Tardio	BGM-1213		x	Precoce
BGM-0912	x		Precoce	BGM-1217		x	Intermediário
BGM-0914		x	Sem flor	BGM-1226		x	Precoce
BGM-0918		x	Precoce	BGM-1243		x	Precoce
BGM-0922		x	Precoce	BGM-1248		x	Precoce
BGM-0925		x	Precoce	BGM-1249	x		Precoce
BGM-0935		x	Precoce	BGM-1251	x		Sem flor
BGM-0936		x	Precoce	BGM-1251-RM	x		Precoce
BGM-0941	x		Precoce	BGM-1259		x	Precoce
BGM-0942	x		Precoce	BGM-1262		x	Precoce
BGM-0943	x		Precoce	BGM-1265		x	Precoce
BGM-0946		x	Precoce	BGM-1268		x	Precoce
BGM-0948		x	Intermediário	BGM-1284		x	Intermediário
BGM-0949		x	Intermediário	BGM-1294		x	Precoce
BGM-0957		x	Precoce	BGM-1300		x	Tardio
BGM-0962		x	Intermediário	BGM-1305		x	Precoce
BGM-0968		x	Precoce	BGM-1309		x	Precoce
BGM-0971		x	Precoce	BGM-1323		x	Sem flor
BGM-0972		x	Intermediário	BGM-1325		x	Precoce
BGM-0974		x	Precoce	BGM-1327		x	Sem flor
BGM-0978		x	Precoce	BGM-1328		x	Precoce
BGM-0980		x	Precoce	BGM-1335		x	Precoce
BGM-0986		x	Intermediário	BGM-1345		x	Intermediário
BGM-0992		x	Precoce	BGM-1358		x	Precoce
BGM-0993		x	Sem flor	BGM-1362		x	Sem flor
BGM-0996		x	Precoce	BGM-1363		x	Sem flor
BGM-0998		x	Intermediário	BGM-1364		x	Precoce
BGM-1025		x	Precoce	BGM-1369		x	Precoce
BGM-1031		x	Precoce	BGM-1400		x	Intermediário
BGM-1042		x	Tardio	BGM-1403		x	Intermediário
BGM-1043		x	Precoce	BGM-1414		x	Precoce
BGM-1044		x	Precoce	BGM-1415		x	Precoce
BGM-1055		x	Precoce	BGM-1419		x	Intermediário
BGM-1079		x	Precoce	BGM-1432		x	Intermediário
BGM-1081		x	Precoce	BGM-1451		x	Precoce
BGM-1082		x	Intermediário	BGM-1452		x	Precoce
BGM-1091		x	Intermediário	BGM-1453		x	Precoce
BGM-1103		x	Precoce	BGM-1454		x	Precoce
BGM-1105		x	Intermediário	BGM-1457		x	Intermediário
BGM-1118		x	Precoce	BGM-1468	x		Sem flor
BGM-1119		x	Precoce	BGM-1472		x	Precoce
BGM-1127		x	Intermediário	BGM-1475		x	Intermediário
BGM-1130		x	Intermediário	BGM-1489		x	Intermediário
BGM-1139		x	Precoce	BGM-1497	x		Sem flor
BGM-1140		x	Precoce	BGM-1498	x		Precoce
BGM-1141		x	Precoce	BGM-1503	x		Precoce
BGM-1148		x	Precoce	BGM-1507	x		Sem flor

Continuação...

<b>Genótipos</b>	<b>2019</b>	<b>2022</b>	<b>Característica</b>	<b>Genótipos</b>	<b>2019</b>	<b>2022</b>	<b>Característica</b>
BGM-1515		x	Intermediário	BGM-1784		x	Precoce
BGM-1516		x	Precoce	BGM-1811		x	Precoce
BGM-1520	x		Intermediário	BGM-1819		x	Precoce
BGM-1521		x	Precoce	BGM-1847		x	Intermediário
BGM-1527		x	Intermediário	BGM-1884		x	Precoce
BGM-1549		x	Intermediário	BGM-1942		x	Precoce
BGM-1552		x	Sem flor	BGM-1957		x	Precoce
BGM-1579	x		Precoce	BGM-1962		x	Precoce
BGM-1585	x		Precoce	BGM-2020		x	Precoce
BGM-1586	x		Precoce	BGM-2022		x	Intermediário
BGM-1598		x	Precoce	BGM-2028		x	Precoce
BGM-1605		x	Intermediário	BGM-2030		x	Precoce
BGM-1609	x		Precoce	BGM-2032		x	Precoce
BGM-1610	x		Precoce	BGM-2043	x		Intermediário
BGM-1622	x		Sem flor	BGM-2044	x		Precoce
BGM-1627	x		Precoce	BGM-2053		x	Intermediário
BGM-1628	x		Precoce	BGM-2057	x		Precoce
BGM-1631		x	Precoce	BGM-2058	x		Sem flor
BGM-1634	x		Sem flor	BGM-2060	x		Sem flor
BGM-1639		x	Precoce	BGM-2064		x	Precoce
BGM-1643	x		Intermediário	BGM-2069	x		Precoce
BGM-1645		x	Intermediário	BGM-2076		x	Precoce
BGM-1646		x	Sem flor	BGM-2079	x		Precoce
BGM-1649		x	Sem flor	BGM-2082	x		Sem flor
BGM-1656	x		Precoce	BGM-2083	x		Precoce
BGM-1657		x	Precoce	BGM-2085	x		Precoce
BGM-1658	x		Precoce	BGM-2097		x	Precoce
BGM-1660		x	Intermediário	BGM-2105		x	Precoce
BGM-1662	x		Precoce	BGM-2140	x		Precoce
BGM-1666	x		Precoce	BGM-2151		x	Precoce
BGM-1668	x		Precoce	BGM-2160	x		Precoce
BGM-1672		x	Precoce	BGM-2161	x		Precoce
BGM-1679	x		Precoce	BGM-2163	x		Precoce
BGM-1684		x	Precoce	BGM-2165	x		Precoce
BGM-1685		x	Intermediário	BGM-2166	x		Precoce
BGM-1697		x	Precoce	BGM-2167	x		Precoce
BGM-1701		x	Intermediário	BGM-2168	x		Precoce
BGM-1703		x	Intermediário	BGM-2169	x		Precoce
BGM-1710		x	Intermediário	BGM-2170	x		Precoce
BGM-1725		x	Intermediário	BGM-2172	x		Sem flor
BGM-1726		x	Sem flor	BGM-2174	x		Intermediário
BGM-1727		x	Precoce	BGM-2175	x		Sem flor
BGM-1728		x	Intermediário	BGM-2182	x		Precoce
BGM-1732		x	Precoce	BGM-2183	x		Tardio
BGM-1733		x	Precoce	BGM-2184	x		Precoce
BGM-1734		x	Precoce	BGM-2185	x		Tardio
BGM-1744		x	Precoce	BGM-2186	x		Precoce
BGM-1747		x	Precoce	BGM-2187	x		Intermediário
BGM-1748		x	Precoce	BGM-2209	x		Sem flor
BGM-1754		x	Precoce	BGM-2210	x		Precoce
BGM-1766		x	Intermediário	BGM-2234	x		Precoce
BGM-1769		x	Precoce	BGM-2236	x		Sem flor
BGM-1772		x	Precoce	BGM-2255		x	Precoce
BGM-1777		x	Precoce	BGM-2270	x		Precoce

Continuação...

Genótipos	2019	2022	Característica	Genótipos	2019	2022	Característica
BGM-2276	x		Sem flor	BRS-Tapioqueira		x	Precoce
BGM-2279		x	Intermediário	BRS-Verdinha		x	Precoce
BGM-2339		x	Precoce	Cacau	x		Precoce
BR-11-24-156		x	Precoce	Equador72	x		Precoce
BR-11-34-41		x	Precoce	IAC-12	x		Precoce
BRS-Amansa-Burro		x	Precoce	JoselitoA2	x		Sem flor
BRS-Caipira	x		Sem flor	Manzhartil	x		Precoce
BRS-CS01		x	Precoce	Miambao	x		Precoce
BRS-Dourada		x	Precoce	Nuomi	x		Precoce
BRS-Gema-de-Ovo		x	Precoce	SE-2	x		Precoce
BRS-Novos-Horizonte		x	Precoce	SE-3	x		Precoce
BRS-Poti-Branca		x	Intermediário	Tailandia	x		Sem flor

Precoce: início do florescimento até 4 meses após o plantio (MAP); Intermediário: início do florescimento entre 5 e 10 MAP; Tardio: início do florescimento entre 11 e 12 MAP.

**Tabela S3.** Análises de regressão cúbica para número de flor feminina (NFF), número de flor masculina (NFM) e número de fruto (NFr) e variáveis climáticas (precipitação e temperatura média) nos dois experimentos (2019/2020 e 2022/2023).

Característica	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	F	p-value
Ano 2019/2020 - Precipitação (mm)				
NFr	0,30	0,06	1,28	0,34
NFM	0,06	-0,25	0,19	0,83
NFF	0,07	-0,23	0,24	0,79
Ano 2019/2020 - Temperatura média				
NFr	0,14	-0,15	0,48	0,64
NFM	0,26	0,02	1,08	0,4
NFF	0,37	0,17	1,80	0,24
Ano 2022/2023 - Precipitação (mm)				
NFr	0,18	-0,10	0,65	0,56
NFM	0,14	-0,14	0,51	0,63
NFF	0,21	-0,05	0,82	0,48
Ano 2022/2023 - Temperatura média				
NFr	0,88	0,83	21,57	0
NFM	0,89	0,86	25,63	0
NFF	0,84	0,78	15,30	0