

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO NA CULTURA DA  
MANDIOCA**

**LEONARDO SILVA SOUZA**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
AGOSTO - 2018**

# **INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO NA CULTURA DA MANDIOCA**

**LEONARDO SILVA SOUZA**

Engenheiro Agrônomo

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Fitotecnia).

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

**Coorientador:** Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**AGOSTO - 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S729i Souza, Leonardo Silva.  
Indução de florescimento na cultura da mandioca /  
Leonardo Silva Souza.\_ Cruz das Almas, BA, 2018.  
115f.; il.

Orientador: Eder Jorge de Oliveira.  
Coorientador: Alfredo Augusto Cunha Alves.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo  
da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e  
Biológicas.

1.Mandioca – Cultivo. 2.Mandioca – Regulador de  
crescimento. 3.Enxertia – Análise. I.Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais  
e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.682

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas – UFRB.  
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário – CRB5 / 1615).  
Os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO NA CULTURA DA  
MANDIOCA**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE  
LEONARDO SILVA SOUZA**

Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Examinador Interno (Orientador)Examinador Externo

Prof. Dr. Elvis Lima Vieira  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Examinador Interno

Prof. Dr. José Carlos de Cerqueira Moraes  
Universidade Estadual da Bahia / UNEB  
Examinador Externo

Dr. Maurício Antonio Coelho Filho  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
Examinador Externo

Prof. Dr. Yuri Caires Ramos  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Examinador Externo

## DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha esposa Teresa, aos meus filhos, Lara e Helio, à minha mãe Celly, ao meu pai Helio (*in memoria*), às minhas irmãs e em especial ao meu irmão Wander (*in memoria*).

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

A minha esposa Teresa Aparecida Soares de Freitas e meus filhos Lara de Freitas Souza e Helio de Freitas Souza pelos sentimentos e emoções que nunca tinha vivido e pelo amor e carinho.

A minha mãe Celly Antonia da Silva Souza e meu pai Helio dos Anjos Souza (*in memoriam*) pela criação, apoio em todos os momentos e exemplos de vida e a todos os meus familiares que, de alguma forma, me deram apoio e me incentivaram nessa jornada.

A minha sogra Dinha e meu sogro Moacyr (*in memoriam*), pelas orações e acolhimentos.

Ao professor e orientador Dr. Eder Jorge de Oliveira pela confiança, ensinamento e por dividir seus conhecimentos, pelo apoio e, principalmente, pelos desafios propostos que elevaram meus conhecimentos tornando-me um profissional melhor capacitado.

Ao pesquisador Coordenador Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves pela disponibilidade, presteza, paciência, amizade, ensinamentos, incentivo, adiantadas sugestões e orientações e, principalmente, pela confiança e parceria nos trabalhos.

À Profa. Dra. Edna Lobo Machado, pelos ensinamentos, incentivos e apoio durante o estágio docência.

Ao pós-doutorando Dr. Rafael Parreira Diniz pelas orientações, ensinamentos, sinceridade e companheirismo. A pós-doutoranda Dra. Selma pela amizade e incentivo.

Aos pesquisadores, estagiários e funcionários dos Laboratórios da Embrapa Mandioca e Fruticultura pela disponibilidade de sempre estarem disponíveis quando necessário, em especial a Cinara pelo pronto atendimento em todos os pedidos.

A todos meus colegas de pós-graduação em especial a Reiza por ter me auxiliado e incentivado nos trabalhos de campo, e Cátia pela parceria.

A CAPES (pela bolsa) e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelos ensinamentos.

À equipe de funcionários da Embrapa Mandioca e Fruticultura pelo auxílio nas atividades de campo, sempre disponíveis quando precisei. Em especial ao Magno, Tonhão, Jorge da Silva, Tibério pelo constante apoio.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura por disponibilizar toda estrutura física e apoio financeiro, imprescindíveis para o desenvolvimento dos trabalhos.

A todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigado!

# SUMÁRIO

Página

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**REFERENCIAL TEÓRICO**

**ARTIGO 1**

ENXERTIA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DO FLORESCIMENTO EM MANDIOCA .....20

**ARTIGO 2**

EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO NA INDUÇÃO FLORAL E EM CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS NA CULTURA DA MANDIOCA .....51

**ARTIGO 3**

DIVERSIDADE FENOLÓGICA DE FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO NO GERMOPLASMA DE MANDIOCA .....79

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**.....107

## **INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO NA CULTURA DA MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)**

Autor: Leonardo Silva Souza  
Orientador: Eder Jorge de Oliveira  
Coorientador: Alfredo Augusto Cunha Alves

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo aumentar o conhecimento sobre a indução de florescimento e sua sincronização na cultura da mandioca. Para isso, foram avaliadas algumas estratégias como: i) indução do florescimento com uso da enxertia, ii) aplicação de reguladores de crescimento de plantas e avaliação agrônômica dos genótipos provenientes da sua aplicação, e iii) entendimento diversidade fenológica de floração e frutificação no germoplasma de mandioca. Na primeira estratégia utilizou-se os genótipos: (1) BRS Formosa: variedade com baixa taxa de florescimento; (2) BGM0823: genótipo de germoplasma com alta taxa de florescimento; e (3) FLA05-02: genótipo de *Manihot flabellifolia* com alta taxa de florescimento. A técnica de enxertia de garfagem em fenda cheia foi realizada com os seguintes tratamentos: 1) Auto0823, AutoFLA e AutoFormosa: auto-enxertia dos genótipos BGM0823, FLA05-02 e BRS Formosa, respectivamente; 2) BGM0823, FLA05-02 e BRS Formosa não enxertados e; 3) enxertia dos genótipos, sendo o primeiro o enxerto e o segundo o porta-enxerto: BGM0823 / BRS Formosa; BGM0823 / FLA05-02; FLA05-02 / BRS Formosa; FLA05-02 / BGM0823; BRS Formosa / BGM0823 e BRS Formosa / FLA05-02. Na segunda estratégia foram utilizadas plantas das variedades BRS Kiriris, BRS Formosa, BRS Poti Branca e IAC-90 de baixo florescimento, submetidas a diferentes concentrações de Cloreto de Chlormequat (25, 50 e 100 mg L<sup>-1</sup>) via pulverização foliar e do Paclobutrazol (100, 150 e 250 mg) via solo, além do controle (sem aplicação), com posterior avaliação agrônômica destas plantas. Na terceira estratégia, variáveis ambientais como: temperatura, precipitação, umidade relativa e fotoperíodo foram utilizadas para avaliar suas correlações com o florescimento e a frutificação de 1032 genótipos de mandioca. O uso da enxertia foi eficiente tendo o BGM0823 como porta-enxerto para induzir o florescimento na cultura da mandioca. A aplicação dos reguladores de crescimento de plantas não apresentou efeito na indução no florescimento das variedades estudadas e as plantas de mandioca submetidas aos tratamentos reduziu seu desempenho agrônômico, sobretudo para a conversão de matéria seca das raízes da variedade IAC-90 em relação ao controle, e Altura das plantas de todas as variedades. O ciclo reprodutivo da mandioca variou bastante em função dos genótipos. Também é possível identificar genótipos com florescimento prolongado, mesmo com condições climáticas adversas. Das variáveis climáticas, o fotoperíodo é a mais importante para explicar o florescimento em alguns grupos de genótipos.

**Palavras chave:** *Manihot* spp., enxertia, reguladores de crescimento, fenologia.



## **FLOWER INDUCTION IN CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz)**

Author: Leonardo Silva Souza

Advisor: Eder Jorge de Oliveira

CoAdvisor: Alfredo Augusto Cunha Alves

**ABSTRACT:** This work aimed to increase knowledge on flowering induction and its synchronization in cassava. Some strategies were evaluated: i) flowering induction by grafting, ii) application of plant growth regulators, and iii) phenological diversity of flowering and fruiting in cassava germplasm. In the first strategy the following genotypes were used: (1) BRS Formosa: variety with low flowering rate; (2) BGM0823: genotype with high flowering rate; and (3) FLA05-02: genotype of *Manihot flabellifolia* with high flowering rate. Grafting technique was performed to the following treatments: 1) Auto0823, AutoFLA and AutoFormosa: autografting of genotypes BGM0823, FLA05-02 and BRS Formosa, respectively; 2) BGM0823, FLA05-02 and BRS Formosa not grafted and; 3) grafting of the genotypes, the first being the graft and the second the rootstock: BGM0823 / BRS Formosa; BGM0823 / FLA05-02; FLA05-02 / BRS Formosa; FLA05-02 / BGM0823; BRS Formosa / BGM0823 and BRS Formosa / FLA05-02. In the second strategy, plants of BRS Kiriris, BRS Formosa, BRS Poti Branca and IAC-90, low flowering varieties, were submitted to different concentrations of Chlormequat Chloride (25, 50 and 100 mg L<sup>-1</sup>) via spraying and Paclobutrazol (100, 150 and 250 mg) via soil, besides the control (without application). In the third strategy, environmental variables such as air temperature, rainfall, air relative humidity and photoperiod were used to evaluate their correlation with flowering and fruiting of 1032 cassava genotypes. The use of grafting was efficient with BGM0823 as a rootstock to induce flowering in cassava. The application of plant growth regulators had no effect on the induction of flowering in the varieties evaluated. The growth regulators reduced the agronomic performance of plants, especially for root dry matter of IAC-90 variety and plant height of all varieties. The reproductive cycle of cassava varied greatly depending on the genotypes. It was also possible to identify genotypes with prolonged flowering, even in adverse climatic conditions. From the climatic variables, the photoperiod was the most important to explain the flowering performance.

**Keywords:** *Manihot* spp, grafting, growth regulators, phenology.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Panorama geral da cultura da mandioca

Mesmo sendo uma espécie nativa do Brasil, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) possui boa adaptação de cultivo em países tropicais e subtropicais (Wanapat et al., 2006), com destaque para regiões tropicais da África, Ásia e América Latina, cujos usos da mandioca variam de alimento básico de subsistência a mercados de alto valor agregado (Wanapat; Khampa, 2007).

A produção mundial de mandioca no ano de 2016 foi de 277,10 milhões de toneladas. Desse total, aproximadamente 21,08 milhões de toneladas foram produzidas no Brasil, classificado como terceiro maior produtor de mandioca, atrás apenas da Tailândia e Nigéria com 31,16 e 57,13 milhões de toneladas respectivamente (FAO, 2018). A produção de mandioca no Brasil em 2017 foi de aproximadamente 20,90 milhões de toneladas, o que representou uma redução de 0,86% frente ao ano de 2016. Por outro lado, o crescimento médio da produção ocorreu no Amapá (+12,1%), e também na região nordeste com 1,5% (IBGE, 2017).

No Brasil, ela é, para agricultura familiar, uma das mais importantes culturas de subsistência sendo fonte de calorias principalmente nas regiões Norte e Nordeste (Xavier et al., 1999). As raízes são consumidas *in natura* quando cozidas ou fritas, ou então utilizadas em massas de bolo, purê e suflê. Após processamento das raízes seja em casas de farinhas ou em indústrias, são obtidos produtos como a farinha e o amido que é denominado de fécula, polvilho ou goma (Borges et al., 2002).

Além da alimentação humana, a mandioca é destinada para o consumo animal. É rica em energia encontrada principalmente nas raízes, no entanto, sua parte aérea, popularmente conhecida como ramas, é fonte de proteínas de alto teor de digestibilidade (Silva et al., 2018). O uso da mandioca pode representar uma possibilidade para alimentação animal de baixo custo se as variedades apresentarem uma alta produção de biomassa foliar (Oliveira et al., 2016). A parte aérea também pode ser usada para produção de silagem (Cardoso; Souza, 2002).

A mandioca também possui aplicabilidade em diferentes segmentos industriais, fazendo com que essa cultura apresente elevada importância e alto potencial de exploração econômica. O amido da mandioca pode servir como matéria prima em indústrias alimentícia, metalúrgica, de mineração, de construção, cosmética, farmacêutica, de papel e papelão, têxtil etc, podendo ser utilizada como alternativas de mercado para de álcool (Cardoso et al., 2006).

### **Melhoramento genético da mandioca: objetivos e entraves**

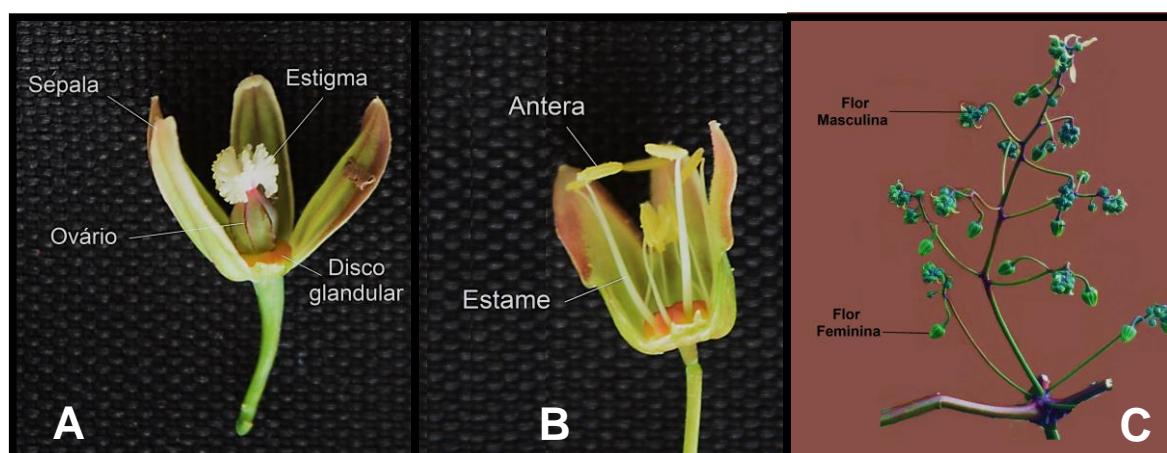
Os programas de melhoramento genético da mandioca estão envolvidos no processo contínuo de busca por novas cultivares que tenham adaptação ampla e elevado desempenho agrônomo. Os melhoristas de mandioca em todo o mundo visam elevar o rendimento e torná-la resistente às doenças e melhorar a qualidade e o valor nutritivo da espécie (Ceballos et al., 2010; Sayre et al., 2011).

De acordo Alves (2006), a mandioca pode ser usada em diferentes tipos de sistemas de produção. Para pequenos produtores, ela geralmente é cultivada como uma cultura de subsistência, pois apresenta tolerância a solos pobres, baixa utilização de insumos agrícolas, além de desenvolver bem em condições climáticas adversas. Por outro lado, observa-se que a cadeia de produção de mandioca tem expandido e que plantios em larga escala já são observados em diferentes países.

Na prática, o melhoramento da mandioca apresenta algumas dificuldades que limitam o ganho com a seleção, dentre os quais destacam-se a limitada ou ausência de florescimento em genótipos de interesse, assim como a falta de sincronização do florescimento. Provavelmente, ajustes na fase reprodutiva dessa cultura, com emprego de técnicas de indução floral, podem ser uma alternativa para promover a diferenciação das gemas, em condições desfavoráveis a indução. A sincronização do florescimento em plantas de mandioca traria benefícios positivos contribuindo no planejamento de cruzamento de variedades elite; na produção de populações segregantes e na potencialização do uso da seleção genômica (Ceballos et al., 2017).

## Florescimento de mandioca

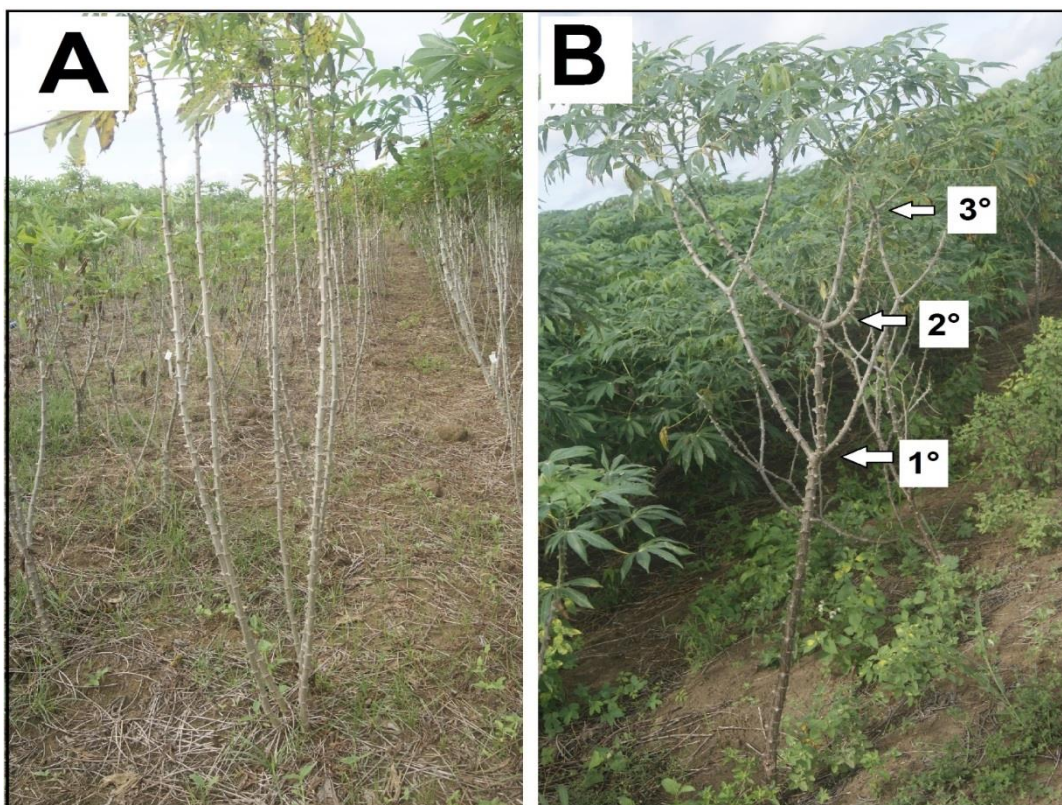
O início do florescimento em mandioca é geralmente acompanhado pela germinação de brotos laterais abaixo da inflorescência que darão continuidade ao crescimento normal da planta (Alves, 2002). Esses brotos são as ramificações onde a inflorescência (racemo ou panícula) ocorre ao longo da junção entre os ramos, sendo a ramificação possivelmente uma condição prévia que marca o início da floração. As flores da mandioca seguem a conformação de espécies monóicas nas quais as masculinas (estaminadas) ocupam a parte basal da inflorescência e as femininas (pistiladas) estão presentes na parte superior da inflorescência (Figura 1C). O fenômeno da protoginia ocorre quando as flores femininas estão receptivas de 10 a 14 dias antes da maturação das flores masculinas (Figura 1A, B). Assim, a polinização na mandioca geralmente ocorre pela ação de insetos e é cruzada em função da protoginia (Alves, 2002). O conhecimento sobre a fisiologia e a bioquímica da floração na mandioca ainda é incipiente.



**Figura 1.** Ilustração da morfologia de flores de mandioca. A - Flor feminina; B - Flor masculina; C - Componentes do racemo.

De acordo com Alves (2002), o florescimento em alguns genótipos nunca foi observado. Entretanto, de acordo com Cock (2012), as flores não são importantes na produção comercial da espécie, pois é mais uma fonte de dreno para planta de mandioca, não sendo também importantes do ponto de vista de

reprodução comercial, já que a propagação ocorre, predominantemente, de forma assexuada. Na mandioca o florescimento depende do genótipo e das condições ambientais (Ceballos et al., 2010). Estes últimos autores apontam ainda que a preferência dos agricultores é por plantas eretas e que não ramifiquem, esse fato dificulta o cruzamento entre clones elites, já que a formação das inflorescências é dependente da ramificação (Figura 2).



**Figura 2.** Ilustração de plantas de mandioca. A = planta ereta; B = planta ramificada com três níveis de ramificação que apresentaram inflorescências.

No que diz respeito à transição floral, todas as plantas superiores compartilham de alguns mecanismos comuns que controlam a mudança do crescimento vegetativo para o crescimento reprodutivo no meristema das gemas apicais do caule. Essa transição do estágio vegetativo para o de florescimento requer reprogramação genética do meristema caulinar, que está sob a influência de um processo complexo de fatores endógenos, como também de fatores ambientais (Sung; Amasino, 2004; Lee; Lee, 2010; Ha, 2014).

Pesquisas visando acelerar ou aumentar o número de flores e sementes usam a enxertia como ferramenta para promover a transferências de elementos móveis por toda a planta, tais como água, nutrientes e proteínas (Mudge et al., 2009).

Em relação ao uso de reguladores de crescimento de plantas, o cloreto de chlormequat tem sido utilizado com bastante sucesso quando aplicado em diferentes estádios fisiológico das plantas de pinho Chinese (*Pinus tabuliformis*), tendo promovido o aumento na reprodução com elevação na produção de sementes (Zhao et al., 2011). Por outro lado, o paclobutrazol (PBZ) é usado como mais um mecanismo para propiciar a floração por meio da promoção da paralisação do crescimento vegetativo e redução do alongamento da brotação, tendo ação de inibição da biossíntese das giberelinas (Mouco; Albuquerque, 2005).

Recentemente Ceballos et al. (2017) relataram que a enxertia de genótipos com baixo florescimento em porta-enxertos com florescimento precoce e abundante não alterou em nada a performance de florescimento durante o crescimento do ciclo de enxertia. Entretanto, os mesmos autores indicaram que quando as manivas oriundas das hastes enxertadas foram plantadas em novo ciclo no campo, observaram-se ramificações mais precoce e aumento considerável no número de flores, frutos e sementes em relação às não enxertadas.

Assim, as técnicas para indução floral na mandioca utilizando reguladores de crescimento de plantas, enxertia e fotoperíodo podem contribuir para que variedades de mandioca com dificuldade de florescimento superem esse problema. Nesse sentido, essas ferramentas podem auxiliar o desenvolvimento de cruzamentos entre variedades, possibilitando a geração de maior número de sementes por cruzamento.

### **Indução floral na cultura da mandioca via enxertia**

A enxertia de plantas tem origem na China há mais de dois mil anos (Wang, 2011), sendo constantemente aperfeiçoada. Ela é utilizada como método de propagação assexuada na produção agrícola visando elevar a resistência a

doenças, melhorar a qualidade, aumentar a produção e elevar o a produção de flores trazendo benefícios econômicos para vários tipos de plantas como árvores frutíferas e flores. A técnica da enxertia é utilizada com maior intensidade na fruticultura, permitindo a reprodução integral do genótipo que apresenta características desejáveis (Sakata et al., 2005).

A enxertia pode ser definida como uma fusão natural ou deliberada de partes das plantas de modo que haja continuidade vascular e que esteja estabelecida entre ambas (Pina; Errea, 2005).

A borbulhia consiste em juntar uma pequena porção das cascas de planta (enxerto), apresentando uma gema, no tronco com ou sem lenho, em outra planta (porta enxerto) (Fachinello et al., 2005). Esses autores apontam que existem diversas formas de se realizar a enxertia de borbulhia a depender da forma de corte da gema. A encostia é um método que consiste na união lateral de duas plantas com sistemas radiculares independentes, ou seja, até o sucesso da enxertia o enxerto e porta-enxerto são mantidos (Fachinello et al., 2005). Por outro lado, a garfagem é um método de enxertia que utiliza a retirada de uma porção de ramo, denominada garfo ou de enxerto, em forma de bisel ou cunha, apresentando duas ou mais gemas, para ser inserida no porta-enxerto ou cavalo (Fachinello et al., 2005). A enxertia de garfagem pode ser dividida de diferentes formas: garfagem no topo em fenda cheia; fenda lateral; inglês simples; inglês complicado.

A garfagem em fenda cheia é determinada por um corte longitudinal no sentido do diâmetro do porta-enxerto após a decepa do mesmo, e em seguida corta-se o enxerto em forma de cunha e o coloca de forma que a região do câmbio dos dois materiais fique com as estrutura anatômicas bem ancoradas (Fachinello et al., 2005). A garfagem em fenda-lateral tem a possibilidade de ser feita com enxertos e porta-enxertos de diferentes diâmetros. A técnica consiste em se fazer um corte longitudinal próximo ao córtex do porta-enxerto já decepado. O corte do enxerto deve ser como o de garfagem de topo em fenda cheia, tendo como diferença o corte que expõe o cambio ou córtex.

A garfagem do tipo inglês simples consiste em se fazer dois cortes iguais em bisel tanto no enxerto como no porta-enxerto, sendo que os enxertos devem possuir diâmetro similar ao do porta-enxerto. Em seguida, une-se as duas partes

com uma fita plástica transparente, sendo esta retirada após o pegamento da enxertia, o que ocorre cerca de 45 a 60 dias após a realização do processo (Junqueira et al., 2006). Na garfagem do tipo inglês complicado são feitos dois cortes em cada parte da enxertia (enxerto e porta-enxerto) sendo um em bisel e outro reto longitudinalmente de forma que se encontrem e fiquem fixados.

Outro método que tem sido introduzido em pesquisas é a micro-enxertia que consiste em utilizar segmentos de haste explantados *in vitro* (Wang, 2011).

A técnica de enxertia pode ser utilizada para promover o florescimento e produção de sementes em diversas plantas. Neste sentido, altas taxas de produção de flores, além da precocidade tem sido constatada para as culturas do pessegueiro (*Pyrus L.*), ameixeira (*Prunus domestica L.*) (Nava et al., 2009; Rato et al., 2008), araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.)) (Wendling, 2011), curcubitáceas (Aloni et al., 2010), melancia (*Citrullus lanatus*) (Sakata et al., 2005).

Em mandioca estudos recentes têm buscado desenvolver métodos de enxertia para fomentar o florescimento em mandioca. Pesquisa realizada por Ceballos et al. (2017) com objetivo de induzir o florescimento em mandioca utilizando como ferramenta a enxertia em condições de campo, revelou ausência de florescimento de cultivares de floração tardia ou que não apresentavam floração, quando enxertadas em porta-enxertos de cultivar com florescimento profuso e precoce.

Em outro estudo realizado em estufa, genótipos transgênicos que apresentavam floração abundante foram enxertados em genótipos com baixa floração, e os resultados indicaram que nenhum dos tratamentos induziu o florescimento (Bull et al., 2017).

Em pesquisas envolvendo a fisiologia do florescimento, a técnica de enxertia tem sido extensivamente utilizada para verificar a transferência de elementos móveis nas plantas (Mudge et al., 2009). Nesse contexto, destacam-se os estudos sobre a transferência de substâncias com o estímulo ao florescimento, sendo uma delas denominada de Florigen (Zeevaart, 2006). Por outro lado, Zeevaart (2008) esclarece que apesar da abundante evidência fisiológica de um estímulo transmissível (florigen), sua identidade permaneceu desconhecida por 70 anos da fisiologia da floração. Nessa revisão os autores identificam a proteína



FLOWERING LOCUS T (FT) como o principal, senão o único, componente do florigen. Foi demonstrado que essa proteína FT foi encontrada na seiva do floema de *Brassica napus* coletada das inflorescências de plantas após a formação dos botões florais. O estímulo é transmitido do enxerto de um parceiro induzido (doador) para um broto (receptor) não induzido e entre diferentes espécies e gêneros, bem como entre diferentes tipos de resposta fotoperiódica.

### **Reguladores de crescimento**

Os hormônios vegetais ou fitohormônios são moléculas produzidas naturalmente em plantas, que em baixas concentrações influenciam processos bioquímicos e fisiológicos nos vegetais (Davies, 2013). Eles são divididos em classes, entre as quais estão as auxinas, giberelinas (GA), citocininas, ácido abscísico e etileno, sendo descobertas novas classes como jasmonato, brassinosteróides e ácido salicílico (Johri; Mitra, 2001). Contudo, a ação de cada fitohormônio é determinada pela atuação direta ou indireta nas rotas metabólicas em diferentes estádios nos vegetais (Vanstraelen; Benková, 2012).

A utilização de reguladores de crescimento de plantas na agricultura tem possibilitado a elevação de características quantitativas e qualitativas na produção agrícola modificando o metabolismo e alterando o rendimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp. Hybrid*) (Caputo et al., 2007). Os retardantes de crescimento de plantas (inibidores da biossíntese de giberelinas) são aplicados em lavouras agrônômicas e hortícolas visando diminuir o crescimento de brotações longitudinais indesejadas sem diminuir a produtividade da planta (Rademacher, 2000). Este mesmo autor aponta que os reguladores de crescimento são produtos químicos sintéticos que bloqueiam especificamente o sitio de metabolização da biossíntese de giberelinas (GA).

Os diferentes tipos de retardantes vegetais inibem a rota comum de síntese de todos os ácidos giberélicos dos vegetais superiores, em diferentes locais o que causa a redução do crescimento, em razão da menor alongação celular (Lamas, 2001).

O controle químico da biossíntese da giberelina (GA) pode ser subdividido em três classes de inibidores: compostos de amônia quaternária, compreendendo o cloreto de chlormequat, cloreto de mepiquat e AMO-1618; compostos triazóis,

como o paclobutrazol e uniconazole; os ciclohexanotriões, compreendendo o prohexadione-Ca e daminozide (Rademacher, 2004).

As plantas apresentam alterações fisiológicas provocadas pelas giberelinas que, interferem na floração, expressão sexual, senescência, abscisão, germinação e superação da dormência (Castro et al., 2005). De acordo com Binenbaum et al. (2018) o conhecimento na manipulação da giberelina foi um dos pilares da “revolução verde”, que possibilitou um salto no rendimento global tanto do trigo (*Triticum* spp.) como do arroz (*Oryza sativa*).

O cloreto de chlormequat (CCC) e o paclobutrazol (PBZ) são reguladores de crescimento de plantas que atuam como bloqueadores da biossíntese de giberelinas que, apresentam ação em barrar uma ou mais etapas das vias de formação de giberelinas ativas (GA<sub>1</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>7</sub>) (Davies, 2013).

O CCC é usado para reduzir o crescimento vegetativo em algodão e controlar o hábito de crescimento em plantas ornamentais (Davies, 2013). Por outro lado, em plantas ornamentais como a flor Íris Negra (*Iris nigricans*), a aplicação do CCC não afetou o crescimento ou o florescimento (Al-khassawneh et al., 2006).

O PBZ, também inibidor do crescimento vegetativo de planta, pode ser absorvido pelas plantas através de folhas ou raízes e em seguida ser transportado através do xilema e posteriormente o composto alcança o meristema apical e inibe a biossíntese de giberelina (Pasala et al., 2017).

Na floricultura a aplicação do PBZ apresentou efeito significativo na aceleração da floração com maior qualidade e quantidade das flores em hibiscos (*H. rosa-sinensis*) (Ahmad Nazarudin, 2012). Atualmente trabalhos utilizando reguladores de crescimento de plantas como o paclobutrazol visando induzir florescimento na cultura de mandioca são escassos.

### **Efeitos dos fatores ambientais na indução do florescimento: fotoperíodo**

As transições de desenvolvimento de muitas plantas são coordenadas pela mudança das estações climáticas, o que possibilita que o início do florescimento ocorra em condições mais apropriadas a determinados locais (Searle; Coupland, 2004). Estes autores também apontam que as flutuações de fotoperíodo e

temperatura fornecem as principais informações que serão usadas para sincronizar essas transições de desenvolvimento com as estações do ano. Nesse sentido, os sinais característicos das diferentes estações do ano permitem que as plantas se adaptem as condições externas e que formem em boas condições as sementes que garantirão por sua vez a sobrevivência das espécies.

No geral algumas plantas necessitam de fotoperíodos indutivos para completarem seu ciclo, respondendo a comprimentos de dias longos, ou a dias curtos e, ainda há espécies fotoneutras, ou seja, aquelas em que o fotoperíodo não influencia em seu desenvolvimento (Schuster et al., 2012). No florescimento fotoperiódico as plantas de dia longo (DL) são induzidas a florescer sazonalmente quando as horas do dia são longas, enquanto a floração em plantas de dia curto (DC) é promovida sob fotoperíodos curtos (Yeang, 2013). Nesse sentido, em *Arabidopsis thaliana* há uma forte resposta de fotoperíodo no início da floração, e a maioria das linhagens (ou acessos) florescem na primavera ou no início do verão, à medida que os dias se tornam mais longos (Searle; Coupland, 2004). O sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) cultivado na África ocidental é considerado uma cultura com sensibilidade fotoperiódica que ajusta a floração com as melhores condições como no final do período chuvoso para que ocorra um bom desenvolvimento no processo de reprodução (Guitton et al., 2018).

No monitoramento do período de resposta da luz do dia (fotoperíodo) e escuro nas espécies vegetais, observou-se que esse fator afeta diversos comportamentos fisiológico das plantas, que pode variar com a época do ano e com a latitude (Amasino, 2010).

### **Efeitos dos fatores ambientais na indução do florescimento: temperatura**

Devido ao contexto das mudanças climáticas e o impacto no desenvolvimento de plantas, muitas pesquisas têm sido realizadas visando o entendimento dessa relação. Para o florescimento não é diferente, pois sabe-se que ele é alterado nas plantas como uma estratégia para escapar de temperaturas climáticas desfavoráveis (Tabas-Madrid et al., 2018). De acordo com Swarts et al. (2017) o florescimento tem se tornado uma das características mais bem documentadas, mostrando uma resposta significativa às mudanças

climáticas, uma vez que as mudanças fenológicas pode ser uma estratégia para escapar de ambientes desfavoráveis. Compreender as adaptações passadas e atuais em relação à diversidade climática é extremamente útil para facilitar o melhoramento de plantas e garantir a conservação de plantas silvestres (Abber-ton et al., 2016).

De acordo com Amasino (2010) para a maioria das espécies de plantas, a vernalização representa um requisito para evitar a floração no outono e possibilitar o florescimento na estação seguinte que é a primavera. De acordo o mesmo autor, em climas temperados as temperaturas geralmente apresentam flutuações amplas no outono e, as plantas utilizam o frio do inverno como uma dica ambiental confiável para o florescimento na primavera.

Em estudo a fim de determinar à adaptação do tempo de florescimento a temperatura, foram analisadas 174 variedades altamente diversificadas de acessos de *Arabidopsis thaliana* da Península Ibérica, onde verificou-se a ocorrência da variação no tempo de floração em relação a diferentes temperaturas (Tabas-Madrid et al., 2018). Os autores relataram que na análise de seleção genômica ampla houve a identificação de 17 genes candidatos envolvidos na adaptação da *A. thaliana* à temperatura por meio da variação do tempo de florescimento.

De acordo Alves (2006), a faixa de temperatura mais adequada para floração da mandioca está em torno de 24 °C, apesar da floração ser dependente de fatores genéticos e de outras variáveis climáticas. Na região Norte do Brasil, no BAG de mandioca da Embrapa Amazônia Oriental, estudou-se o florescimento de 208 acessos ao longo do desenvolvimento das plantas por 10 meses. Essa região é definida como clima tropical úmido, com temperatura média anual de 22°C. Os resultados indicaram que apenas 13,5% dos acessos dos 208 acessos apresentaram floração no período avaliado, iniciando o florescimento aproximadamente aos cinco meses de idade (Gama et al., 2011).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBERTON, M.; BATLEY, J.; BENTLEY, A.; BRYANT, J.; CAI, H.; COCKRAM, J.; EDWARDS, D. Global agricultural intensification during climate change: a role for genomics. **Plant biotechnology journal**, v. 14, n. 4, p. 1095-1098, 2016.

AHMAD NAZARUDIN, M. R. Plant growth retardants effect on growth and flowering of potted *Hibiscus rosa-sinensis* L. **Journal of Tropical Plant Physiology**, v. 4, p. 29-40, 2012.

AL-KHASSAWNEH, N. M.; KARAM, N. S.; SHIBLI, R. A. Growth and flowering of black iris (*Iris nigricans*) following treatment with plant growth regulators. **Scientia Horticulturae**, v. 107, n. 2, p. 187-193, 2006.

ALONI, B.; COHEN, R.; KARNI, L.; AKTAS, H.; EDELSTEIN, M. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 119-126, 2010.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. **Cassava: Biology, Production and Utilization**, v. 1, p. 67-89, 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 agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p. 455-491, 2006.

AMASINO, R. Seasonal and developmental timing of flowering. **The Plant Journal**, v. 61, n. 6, p. 1001-1013, 2010.

BINENBAUM, J.; WEINSTAIN, R.; SHANI, E. Gibberellin localization and transport in plants. **Trends in Plant Science**, 2018.

BORGES, M. D. F.; FUKUDA, W. M. G.; ROSSETTI, A. G. Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. **Área de Informação da Sede- Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2002.

BROWN, R. G.; KAWAIDE, H.; YANG, Y. Y.; RADEMACHER, W.; KAMIYA, Y. Daminozide and proexadione have similar modes of action as inhibitors of the late stages of gibberelin metabolism. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 309-313, 1997.

BULL, S. E.; BULL, S. E.; ALDER, A.; BARSAN, C.; KOHLER, M.; HENNIG, L.; GRUISSEM, W.; VANDERSCHUREN, H. FLOWERING LOCUS T triggers early and fertile flowering in glasshouse cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plants**, v. 6, n. 2, p. 22, 2017.

CAPUTO, M. M.; SILVA, M. A. D.; BEAUCLAIR, E. G. F. D.; GAVA, G. J. C. D. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia**, v.32, p. 834-840, 2007.

CARDOSO, C. E. L.; SOUZA, J. S. Importância, potencialidades e perspectivas do cultivo de mandioca na América Latina. In: CEREDA, M. P. (Coord.) **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, p. 29-47, 2002.

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

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Ceres, 2005.

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.

CEBALLOS, H.; OKOGBENIN, E.; PÉREZ, J.C.; BERCERRA, L. A.; DEBOUCK D. Cassava. In: Bradshaw J (ed). **Root and tuber crops**. New York: Springer, p.53–96, 2010.

COCK, J. H. Cassava growth and development. **The Cassava Handbook**, p.39, 2012.

DAVIES, P. J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: **Plant hormones**. Springer Netherlands, p. 1-15, 2013.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C. **Propagação de plantas frutíferas**. Embrapa Informação Tecnológica; Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 01 de Agosto 2018.

GAMA, C.; MOURA, E. F.; GURGEL, F. D. L.; SAMPAIO, J. Floração em acessos de mandioca do banco de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 15., 2011, Belém, PA. A ciência de fazer ciência: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

GUITTON, B.; THÉRA, K.; TÉKÉTÉ, M. L.; POT, D.; KOURESSY, M.; TÉMÉ, N.; VAKSMANN, M. Integrating genetic analysis and crop modeling: A major QTL can finely adjust photoperiod-sensitive sorghum flowering. **Field Crops Research**, v. 221, p. 7-18, 2018.

HA, T. M. A review of plants' flowering physiology: The control of floral induction by juvenility, temperature and photoperiod in annual and ornamental crops. **Asian Journal of Agriculture and Food Science**, v. 2, n. 03, p. 186-195, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola.

Disponível em:

[http://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2017/lspa\\_201701.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf). Acesso em: Junho/2018.

JOHRI, M. M.; MITRA, D. Action of plant hormones. **Current Science Bangalore**, v. 80, n. 2, p. 199-205, 2001.

JUNQUEIRA, N. T. V.; LAGE, D.A. da C.; BRAGA, M.F.; PEIXOTO, J.R.; BORGES, T. A.; ANDRADE, S. R. M. de Reação a doenças e produtividade de um clone de maracujazeiro-azedo propagado por estaquia e enxertia em estacas herbáceas de *Passiflora* silvestre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p. 97-100, 2006.

KEATING, B. A.; EVENSON, J. P.; FUKAI, S. Environmental effects on growth and development of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) III. Assimilate distribution and storage organ yield. **Field Crops Research**, v.5, p.293-303, 1982a.

KEATING, B. A.; EVENSON, J. P.; FUKAI, S. Environmental effects on growth and development of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) I. **Crop Development Field Crops Research**, v. 5, p.271-281 1982b.

LAMAS, F. M. Estudo comparativo entre cloreto de mepiquat e cloreto de chlormequat aplicados no algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.2, p. 265-272, 2001.



LEE, J.; LEE, I. Regulation and function of SOC1, a flowering pathway integrator. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 9, p. 2247-2254, 2010.

MUDGE, K.; JANICK, J.; SCOFIELD, S.; GOLDSCHMIDT, E. E. Main content area A history of grafting. **Horticultural Reviews**, v. 35, p. 437-493, 2009.

MOUCO, M. C.; ALBUQUERQUE, J. Efeito do paclobutrazol em duas épocas de produção da mangueira. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 219-225, 2005.

MUDGE, K.; JANICK, J.; SCOFIELD S.; GOLDSCHMIDT, E. A History of grafting. **Horticultural Reviews**. v. 35, p. 437 - 493, 2009.

NAVA, G. A.; MARODIN, G. A. B.; DOS SANTOS, R. P. Reprodução do pessegueiro: efeito genético, ambiental e de manejo das plantas. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1218-1233, 2009.

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.

PASALA, R. K.; MINHAS, P. S.; WAKCHAURE, G. C. Plant Bioregulators: A Stress Mitigation Strategy for Resilient Agriculture. In: **Abiotic Stress Management for Resilient Agriculture**. Springer, Singapore, p. 235-259, 2017.

PINA, A.; ERREA, P. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 1, p. 1-11, 2005.

RATO, A. E.; AGULHEIRO, A. C.; BARROSO, J. M.; RIQUELME, F. Soil and rootstock influence on fruit quality of plums (*Prunus domestica* L.). **Scientia Horticulturae**, v.118, p.218-222, 2008.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual review of plant biology**, v. 51, n. 1, p. 501-531, 2000.

RADEMACHER, W. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. **Acta Horticulturae**, v. 653, p. 29-32, 2004.

SCHUSTER, M. Z.; KAWAKAMI, J.; BROETTO, D.; SZYMCAK, L. S.; OLIVEIRA RAMALHO, K. R. de. Influência do fotoperíodo e da intensidade de radiação solar no crescimento e produção de tubérculos de rabanete. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 2, p. 73-86, 2012.

SAKATA, Y.; OHARA, T.; SUGIYAMA, M. The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetables in Japan. In: III **International Symposium on Cucurbits**. v.731. p. 159-170, 2005.

SALAZAR-CEREZO, S.; MARTÍNEZ-MONTIEL, N.; GARCÍA-SÁNCHEZ, J.; PÉREZ-Y-TERRÓN, R.; MARTÍNEZ-CONTRERAS, R. D. Gibberellin biosynthesis and metabolism: A convergent route for plants, fungi and bacteria. **Microbiological Research**, v.208, p.85-98, 2018.

SAYRE, R.; BEECHING, J. R.; CAHOON, E. B.; EGESI, C.; FAUQUET, C.; FELLMAN, J.; MAZIYA-DIXON, B. The biocassava plus program: biofortification of cassava for Sub-Saharan Africa. **Annual Review of Plant Biology**, v.62, p. 251–272, 2011.

SEARLE, L.; COUPLAND, G. Induction of flowering by seasonal changes in photoperiod. **The EMBO Journal**, v. 23, n. 6, p. 1217-1222, 2004.

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.

SUNG, S.; AMASINO, R. M. Vernalization in *Arabidopsis thaliana* is mediated by the PHD finger protein VIN3. **Nature**, v. 427, n. 6970, p. 159-164, 2004.

SWARTS, K.; GUTAKER, R. M.; BENZ, B.; BLAKE, M.; BUKOWSKI, R.; HOLLAND, J.; ROSS-IBARRA, J. Genomic estimation of complex traits reveals ancient maize adaptation to temperate North America. **Science**, v. 357, n. 6350, p. 512-515, 2017.

TABAS-MADRID, D.; MÉNDEZ-VIGO, B.; ARTEAGA, N.; MARCER, A.; PASCUAL-MONTANO, A.; WEIGEL, D.; ALONSO-BLANCO, C. Genome-wide signatures of flowering adaptation to climate temperature: Regional analyses in a highly diverse native range of *Arabidopsis thaliana*. **Plant, Cell and Environment**, v.41, p.1806-1820, 2018.

VANSTRAELEN, M.; BENKOVÁ, E. Hormonal interactions in the regulation of plant development. **Annual review of cell and developmental biology**, v. 28, p. 463-487, 2012.

YEANG, H. Y. Solar rhythm in the regulation of photoperiodic flowering of long-day and short-day plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 10, p. 2643-2652, 2013.

WANG, Y. Plant grafting and its application in biological research. **Chinese Science Bulletin**, v. 56, n. 33, p. 3511-3517, 2011.

WANAPAT, M.; KHAMPA, S. Effect of levels of supplementation of concentrate containing high levels of cassava chip on rumen ecology, microbial N supply and digestibility of nutrients in beef cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.20, p.75-82, 2007.

WANAPAT, M.; PROMKOT, C.; WANAPAT, S. Effect of cassoy-urea pellet as a protein source in concentrate on ruminal fermentation and Digestibility in

Cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.19, p.1004-1009, 2006.

WEAVER, R. J. Plant growth substances in agriculture. **Plant Growth Substances in Agriculture.**, 1972.

WENDLING, Ivar. Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia*. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2011.

XAVIER, J. J. B.; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F. Perspectivas da mandiocultura como alternativa para o desenvolvimento sustentável do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1999.

ZHAO, P.; ZHAO, P.; FAN, J. F.; ZHANG, S. X.; HUANG, Z. L.; YANG, P. H.; MA, Z. H.; WOESTE, K. E. Effects of gibberellin A 4/7, 6-benzylaminopurine and chlormequat chloride on the number of male and female strobili and immature cones in Chinese Pine (*Pinus tabuliformis*) with foliar sprays. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 3, p. 353-359, 2011.

ZEEVAART, J. A. Florigen coming of age after 70 years. **The Plant Cell**, v. 18, n. 8, p. 1783-1789, 2006.

ZEEVAART, J. A. Leaf-produced floral signals. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, n. 5, p. 541-547, 2008.

## **ARTIGO 1**

### **ENXERTIA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DO FLORESCIMENTO EM MANDIOCA <sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo publicado no periódico científico Scientia Horticulturae, v. 204, p. 544-551, 2018, DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.070>, em versão na língua inglesa.

## Enxertia como estratégia para aumento do florescimento em mandioca

**RESUMO:** Na mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) a transferência de genes via melhoramento genético depende do cruzamento entre progenitores contrastantes, o que é muitas vezes limitado pela baixa taxa de florescimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da enxertia na indução floral na cultura da mandioca. Foram utilizados os genótipos: (1) BRS Formosa: genótipos com baixa taxa de florescimento; (2) BGM0823: genótipos com alta taxa de florescimento; e (3) FLA05-02: genótipo *M. esculenta* ssp. *flabellifolia* com alta taxa de florescimento. A técnica de enxertia de garfagem em fenda cheia foi realizada com os seguintes tratamentos: 1) Auto0823, AutoFLA e AutoFormosa: auto-enxertia dos genótipos BGM0823, FLA05-02 e BRS Formosa, respectivamente; 2) BGM0823, FLA05-02 e BRS Formosa não enxertados e; 3) enxertia dos genótipos, sendo o primeiro o enxerto e o segundo o porta-enxerto: 0823/Formosa (BGM0823 × BRS Formosa); 0823/FLA (BGM0823 × FLA05-02); FLA/Formosa (FLA05-02 × BRS Formosa); FLA/0823 (FLA05-02 × BGM0823); Formosa/0823: BRS Formosa × BGM0823 e Formosa/FLA: BRS Formosa × FLA05-02. Os resultados indicaram que houve um aumento de 201% na produção de flores masculinas, 560% na produção de flores femininas e de 400% na produção de frutos da BRS Formosa quando enxertada sobre BGM0823. O genótipo BGM0823 também aumenta em 190% a produção de frutos na *M. flabellifolia* (FLA05-02). As plantas de mandioca enxertadas apresentam aumento na produção da parte aérea, embora não tenha havido alteração na produção de raízes. A enxertia de genótipos com alta taxa de florescimento pode induzir o florescimento em genótipos com baixas taxas de florescimento.

**Palavras-Chave:** Propagação; Conjunto de sementes; *Manihot spp*; Indução florescimento.

## Grafting as a strategy to increase flowering of cassava

**ABSTRACT:** In cassava (*Manihot esculenta* Crantz), transferring genes via genetic breeding depends on crosses between contrasting progenitors, which is often limited by the low flowering rate of many genotypes. The main purpose of this work was to evaluate the effect of grafting on floral induction of cassava. For this, three genotypes were used: 1) BRS Formosa: a genotype with low flowering rate; 2) BGM0823: a genotype with high flowering rate; and 3) FLA05-02: a genotype of *M. esculenta* ssp. *flabellifolia* with high flowering rate. Cleft grafting was performed to generate the following treatments: Self-grafting of: 1) BGM0823 (Self-0823); 2) BRS Formosa (Self- Formosa); and 3) FLA05-02 (Self-FLA); and grafting of the genotypes, with the first being the scion and the second the rootstock: 4) BGM0823×BRS Formosa; 5) BGM0823 × FLA05-02; 6) FLA05-02 × BRS Formosa; 7) FLA05-02 × BGM0823; 8) BRS Formosa×BGM0823; 9) BRS Formosa×FLA05-02; and also ungrafted treatments: 10) BGM0823; 11) BRS Formosa; and 12) FLA05-02. The results showed a 201% increase in the production of male flowers, 560% of female flowers and 400% of fruits in BRS Formosa grafted on BGM0823. BGM0823 (rootstock) also increased fruit production by 190% of FLA05-02. The grafted cassava plants exhibited an increase on the shoot production, although there was no change in the fresh root yield. The grafting of genotypes with high flowering rates can induce flowering in genotypes with low flowering rates.

**Keywords:** Propagation; Seed set; *Manihot spp*; Flowering induction.

## INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem ganhado importância nas últimas décadas em função das suas diversas formas de uso, tanto na alimentação humana, onde é considerada uma cultura de segurança alimentar, fazendo parte da dieta de mais 800 milhões de pessoas nos trópicos (El-Sharkawy, 2012), como na alimentação animal e nos mais diversos usos industriais, inclusive como biocombustíveis. Portanto, os programas de melhoramento da mandioca no Brasil e em outros países da América Latina e África, tem elevado o número de pesquisas, com o objetivo final de obter genótipos superiores que atendam às demandas específicas dos produtores e indústrias.

Para a seleção de genótipos superiores é necessário aumentar e explorar a variabilidade genética, o que pode ser feito por meio da hibridação ou autofecundação com o objetivo de produzir sementes. No entanto, uma das grandes barreiras neste processo é a ausência ou reduzida taxa de florescimento observado na maioria dos genótipos, bem como a falta de sincronização da floração (Ceballos et al., 2017). A produção de flores férteis é uma premissa básica para o melhoramento vegetal, no entanto, a obtenção de flores de uma maneira sincronizada e num período de tempo adequado é um grande desafio (McGarry et al., 2017), ainda mais considerando que alguns genótipos apresentam florescimento em idade superior a doze meses (Ceballos et al., 2017) e outros nem chegam a florescer.

Plantas que produzem hastes eretas são as preferidas pelos agricultores devido às facilidades nas práticas culturais e no sistema mecanizado de plantio. Entretanto, de forma geral, variedades com porte ereto não florescem durante o ciclo normal de produção da cultura. Assim, o desenvolvimento de novos genótipos de mandioca para atendimento das demandas, sobretudo para o plantio mecanizado, tende a selecionar genótipos que florescem tardiamente e pouco. Em outras palavras, o uso destes genótipos de porte ereto como parentais em ciclos de seleção recorrente resulta em produção limitada de sementes, por isso é necessário buscar alternativas para a indução do florescimento.



Alguns aspectos fisiológicos podem ajudar a explicar as dificuldades de florescimento em alguns genótipos. A transição do estágio vegetativo para o reprodutivo é dependente de sinalizações tanto endógena (hormônios) como ambiental (temperatura e fotoperíodo) que é determinada pela diferenciação do meristema apical, onde as células sofrem alterações no desenvolvimento (Bernier; Périlleux, 2005). Essa mudança de fase do meristema apical pode ser induzida pela aplicação exógena de reguladores de crescimento como as auxinas, giberelinas, ácido abscísico e etileno (Yang et al., 2016). Além disso, a floração é iniciada a partir dos sinais florais, também chamados de "estímulo floral ou florigen". Esses sinais florais foram pesquisados em nível molecular, de modo que a superexpressão do gene *FT* (florigen) acelerou a taxa de florescimento em plantas de *Arabidopsis thaliana* (Amasino, 2010). Por meio da caracterização do gene *ELF4* (Me*ELF4*) foi realizada a identificação dos genes circadianos do fotoperíodo da mandioca, pois as plantas responderam a ritmos diurnos ou mudanças fotoperiódicas e o gene Me*ELF4* exibiu sua expressão ao anoitecer em diversas partes da planta (Adeyemo et al., 2011).

Os sinais florais são produzidos em resposta ao comprimento do dia e translocados das folhas para o meristema apical onde se estabelece o início da produção dos botões florais (Corbesier; Coupland, 2005). A hipótese de que o florigen pode movimentar-se a partir da folha para o meristema foi demonstrada em *Arabidopsis thaliana* e arroz (Corbenier et al., 2007; Tamakied et al., 2007). Nesses trabalhos, os resultados evidenciaram que a maior parte, senão todas as mudanças associadas à transição do crescimento vegetativo para o reprodutivo induzido pelo comprimento do dia teve como responsável o "florigen".

Considerando que o florigen movimenta-se da folha para o meristema, Ceballos et al. (2017) avaliaram a indução floral em mandioca por meio da enxertia. Em um primeiro momento foi realizada a enxertia, onde genótipos com florescimento tardio ou que não florescem (enxertos) foram enxertados sobre genótipos com alta taxa de floração (porta enxertos) e nenhum dos tratamentos emitiu ramificações ou flores. Na segunda etapa, após o desenvolvimento dos enxertos, suas estacas foram plantadas em campo, onde três respostas fenotípicas foram observadas: alguns genótipos não ramificaram e não floresceram; outros genótipos ramificaram, mas não produziram flores; e por fim,

em um genótipo houve ramificação com abundante produção de flores, frutos e sementes em relação as plantas de hastes não enxertadas. Portanto, a técnica de enxertia apresenta-se como uma ferramenta viável na indução floral, pois ela pode promover a transferência de elementos móveis por toda a planta, tais como água, nutrientes, metabólicos e proteínas (Mudgett et al., 2009). O conhecimento de que a iniciação do desenvolvimento floral tem sua origem com o movimento do florigen (sinal), o qual é produzido nas folhas e transportado pelo floema até o meristema apical onde ocorre a interação com outros fatores (Amasino, 2010; Ceballos et al. 2017) pode representar um avanço na indução floral em mandioca. Neste sentido, o uso de porta-enxertos com florescimento abundante poderia transferir o estímulo de florescimento para os enxertos que apresentam baixo florescimento.

Além da enxertia, outras técnicas de indução floral têm sido mencionadas na literatura, a exemplo da inserção de uma sequência promotora de florescimento pela inoculação do vírus *Zucchini yellow mosaic* na cultura do melão (*Cucumis melo* L.) (Lin et al., 2007) e indução floral em algodão após a inoculação do *Cotton leaf crumple virus* (McGarry; Ayre, 2012). Na mandioca, novas técnicas demonstraram a super expressão da *Arabidopsis* LOCUS FLORESCIMENTO T em mandioca transformada por meio da *Agrobacterium* para desencadear o florescimento precoce em plantas cultivadas em casa de vegetação (Bull et al., 2017). Estes autores relataram sucesso na expressão da sequência inserida, de modo que as plantas transgênicas emitiram flores e produziram frutos a partir de quatro meses após o plantio. Embora a indução floral em mandioca possa ser feita de diversas maneiras, poucas instituições possuem o domínio de manipulação gênica para criar, editar e inserir sequências promotoras no genoma da mandioca. Além disso, o uso de transgênicos de mandioca, sobretudo no Brasil ainda não está regulamentado e passará por um longo processo de normatização e estudos de biossegurança, considerando que a espécie é nativa do Brasil. Portanto, técnicas de simples execução e eficientes para induzir a floração ainda devem ser consideradas. O objetivo deste trabalho foi analisar a possibilidade de indução floral em genótipos de mandioca com a transmissão do sinal de florescimento utilizando diferentes combinações de enxertos e porta-enxertos de genótipos que apresentam baixa ou elevada taxa de florescimento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi implantado em duas etapas (viveiro e campo) foram conduzidos na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas (BA), localizada nas coordenadas 12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste, a 220 m de altitude, no período de fevereiro de 2015 a abril de 2016.

### Material vegetal

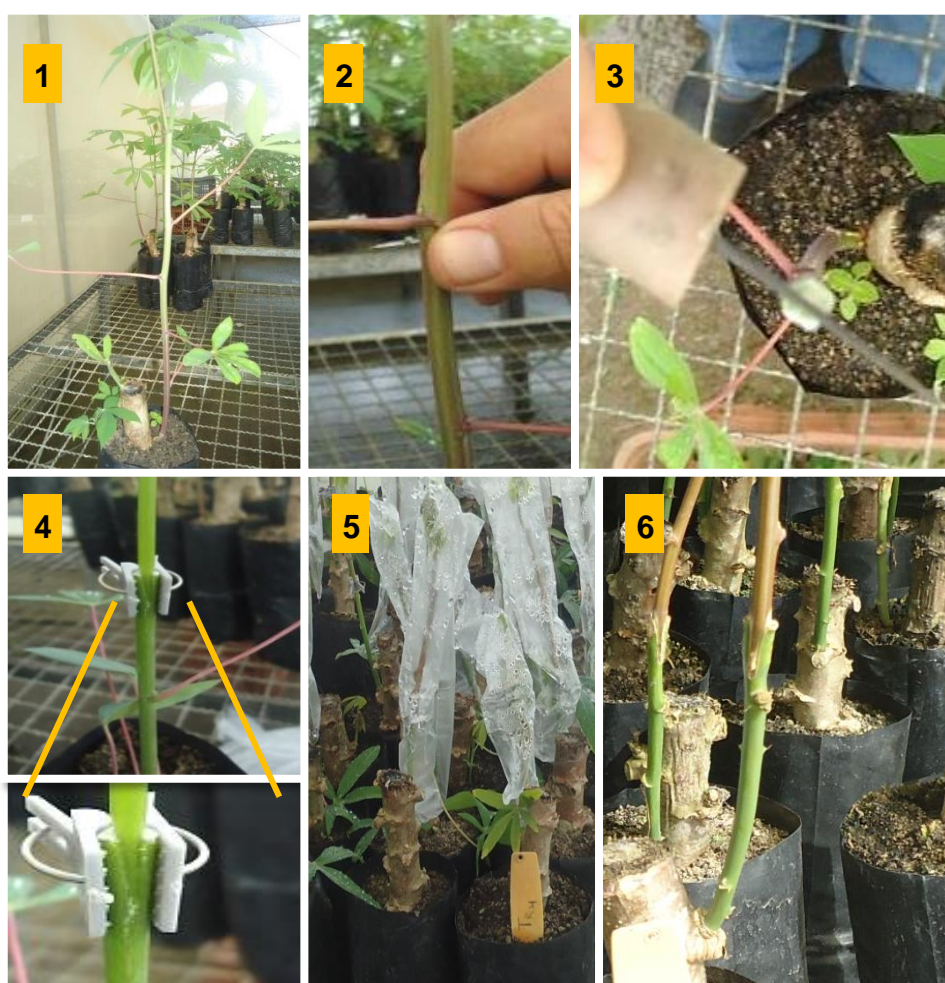
Foram selecionados três genótipos pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Mandioca (BAG-Mandioca) da Embrapa Mandioca e Fruticultura: 1) BRS Formosa (*M. esculenta*), um genótipo elite lançado pela Embrapa que possui baixa taxa de florescimento; 2) BGM0823 (*M. esculenta*), um genótipo do BAG-Mandioca que naturalmente possui elevada taxa de florescimento; e 3) FLA05-02, um genótipo de *M. flabellifolia*, espécie silvestre que possui alta taxa de florescimento. O genótipo silvestre foi selecionado também em função da potencialidade de uso de cruzamentos interespecíficos em mandioca, que atualmente vem despertando o interesse dos melhoristas, sobretudo para introdução de resistência a pragas e doenças.

Em fevereiro de 2015, 200 manivas com 10 a 12 cm de comprimento dos genótipos BRS Formosa e BGM0823 foram plantadas em sacos de polietileno (10 cm x 25 cm, diâmetro x altura), contendo substrato composto por uma mistura de terra de subsolo, vermiculita e esterco de galinha curtido (2:2:1, v:v). Simultaneamente, 400 sementes do genótipo FLA05-02, obtidas via polinização aberta, foram semeadas em sacos semelhantes aos usados para as manivas. Os materiais plantados foram colocados em casa-de-vegetação com sombrite de 50% de sombreamento, onde a temperatura e umidade relativa do ar variaram de 20 a 35°C e de 50 a 80%, respectivamente, no período de formação das mudas.

### Enxertia

A escolha do método de enxertia para a produção de enxertos e porta-enxertos foi feita com base em teste piloto realizado previamente. Neste teste, utilizaram-se três tipos de enxertia: garfagem em fenda cheia; garfagem em inglês

simples e borbulhia. Foi avaliada a taxa de pegamento com produção de mudas com cicatrização aparente e aspecto sadio. O método de enxertia de garfagem em fenda cheia apresentou maiores taxas de pegamento sendo, portanto, selecionado para realizar diferentes combinações de enxertias (enxertos x porta-enxertos) dos três genótipos selecionados. Resumidamente, quando as plantas atingiram diâmetro do caule aproximadamente 6 mm, decepou-se a porção média do caule do porta-enxerto deixando um par de folhas a uma altura de 12 cm (Figura 1).



**Figura 1.** Ilustração do procedimento usado nas plantas enxertadas de mandioca: 1 = planta sem enxertia com diâmetro do caule entre 6 e 7 mm; 2 = corte na porção média do caule do porta-enxerto deixando um par de folhas a uma altura de 12 cm; 3 = abertura da fenda longitudinal (1,0 cm) no porta-enxerto; 4 = haste enxertada e fixada com um pregador de plástico; 5 = coberta com um saco plástico transparente; 6 = planta enxertada.

Em seguida selecionou-se uma haste com diâmetro similar ao porta-enxerto para formação do garfo (enxerto), e abriu-se uma fenda longitudinal (1,0 cm) no porta-enxerto. O enxerto cortado em forma de cunha em bisel duplo com os tecidos do câmbio expostos foi colocado no porta-enxerto e as hastes enxertadas foram fixadas com um pregador de plástico, e em seguida cobertas com um saco plástico transparente (5x23cm) para proteger a região enxertada contra ressecamento e, conseqüentemente perda excessiva da turgidez. As duas folhas do porta-enxerto foram mantidas até o desenvolvimento de novas folhas pela parte enxertada, que ocorreu aproximadamente 15 dias após a enxertia, quando foram removidas manualmente

Os porta-enxertos e enxertos produzidos via propagação vegetativa dos genótipos BRS Formosa e BGM0823 atingiram a fase de enxertia aos 25 dias após a brotação, enquanto que os porta-enxertos e enxertos de origem seminal (FLA05-02) atingiram o momento ideal para enxertia aos 30 dias após a semeadura. Ao final do processo de enxertia, 12 tratamentos foram obtidos para as análises de florescimento: 1) Auto enxertia de BGM0823 (Auto0823); 2) Auto enxertia de BRS Formosa (AutoFormosa); 3) Auto enxertia de FLA05-02 (AutoFLA); 4) BGM0823 como enxerto x BRS Formosa como porta-enxerto (0823/Formosa); 5) BGM0823 como enxerto x FLA05-02 como porta-enxerto (0823/FLA); 6) FLA05-02 como enxerto x BRS Formosa como porta-enxerto (FLA/Formosa); 7) FLA05-02 como enxerto x BGM0823 como porta-enxerto (FLA/0823); 8) BRS Formosa como enxerto x BGM0823 como porta-enxerto (Formosa/0823); 9) BRS Formosa como enxerto x FLA05-02 como porta-enxerto (Formosa/FLA); 10) BGM0823 sem enxertia; 11) BRS Formosa sem enxertia; e 12) FLA05-02 sem enxertia(FLA).

O saco plástico e o grampo utilizados para proteger a união da enxertia foram retirados sete a doze dias após o procedimento de enxertia, respectivamente. Após a enxertia, os tratamentos foram mantidos em casa de vegetação, irrigados via microaspersor, por cerca de 80 dias.

### **Avaliação do desenvolvimento das plantas em viveiro**

Para verificação da viabilidade da enxertia, um experimento foi instalado com todos os tratamentos, exceto os sem enxertia (pé franco) dos genótipos selecionados. Para isso, os tratamentos foram dispostos sob delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial simples de 3 (porta-enxertos) × 3 (enxertos), totalizando nove combinações (tratamentos) de enxertias, com três repetições e 20 plantas por repetição.

Aos 30 dias após a enxertia foi realizada a avaliação do pegamento da enxertia por meio da contagem do número de plantas com aparência normal, com folhas novas e cicatrização aparente. Os dados foram transformados para percentagem de pegamento (%) dos tratamentos. Após análises preliminares para verificação do atendimento dos pressupostos da análise de variância, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do pacote *easynova* (Arnhold, 2013) implementado no programa R (R Core Development Team, 2016).

### **Avaliação do desenvolvimento das plantas em campo**

Após a fase de viveiro, as mudas enxertadas juntamente com os pés francos, com idade de 78 dias e altura aproximada de 45 cm foram transplantadas para a área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O experimento foi instalado sob o delineamento de blocos completos casualizados, com os 12 tratamentos distribuídos em três blocos (repetições), com parcelas de dez plantas. O espaçamento utilizado foi de 1,0 m entre linhas e 0,9 m entre plantas. Os tratamentos culturais foram realizados conforme indicação recomendada para cultura (Souza et al., 2006).

As flores masculinas e femininas, assim como os frutos, foram contabilizadas a cada 15 dias a partir dos 132 dias após o transplante (setembro de 2015), quando as plantas começaram a florescer. Para verificar as mudanças nas plantas enxertadas aos 14 meses após o plantio (tempo de colheita), seis características agrônômicas foram medidas. Seis dos doze tratamentos que não tiveram a espécie silvestre FLA05-2 como enxerto ou porta-enxerto foram avaliados: Auto-0823, 0823 / Formosa, 0823, Auto-Formosa, Formosa / 0823 e

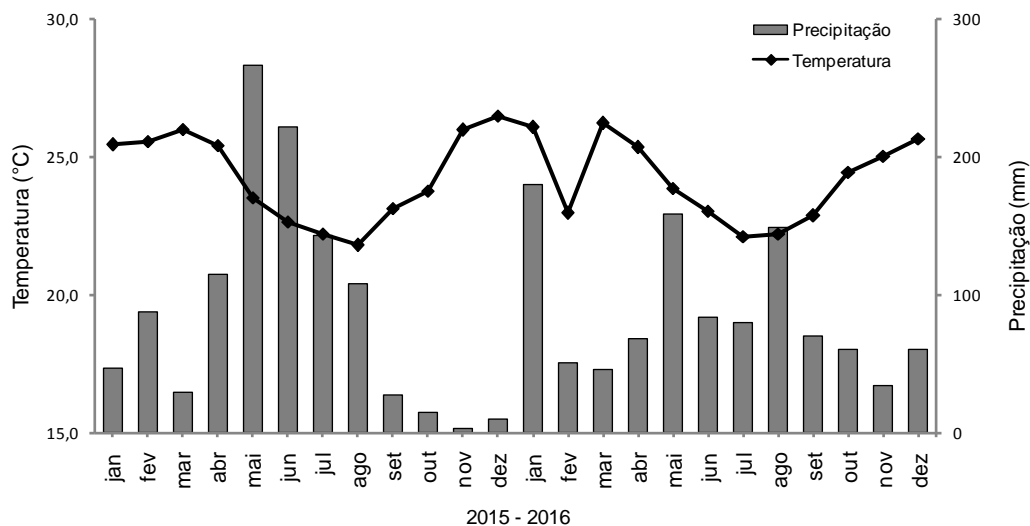
Formosa. Como a FLA05-2 não desenvolveram raízes tuberosas, os tratamentos derivados deste genótipo não foram avaliados.

As características avaliadas foram: produtividade total de raízes (PR – mensurada em  $t\ ha^{-1}$ ); produtividade da parte aérea (PPA – mensurada em  $t\ ha^{-1}$ ); índice de colheita (IC - razão entre produção de raízes e fitomassa total da planta em peso fresco); teor de matéria seca das raízes (MS – mensurada em % usando balança hidrostática, de acordo com Kawano et al., 1987); produtividade de amido (PAM – mensurada em  $t\ ha^{-1}$ , considerando o teor de amido e a produtividade total de raízes); e altura de planta (AP – mensurada em metros).

Os dados foram analisados para a verificação do atendimento dos pressupostos da análise de variância. As características número médio de flores masculinas, femininas e frutos por planta não atenderam à pressuposição de homogeneidade das variâncias residuais, sendo necessária a transformação dos dados por meio do método de Box e Cox (Asar et al., 2017). Após a análise de variância e constatada a significância das fontes de variação, as mesmas foram agrupadas por meio do teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas para as características de florescimento e agronômicas foram realizadas com auxílio do pacote *easynova* (Arnhold, 2013) implementado no programa R (R Core Delopment Team 2016).

### **Condições climáticas durante a realização dos experimentos**

Os dados climáticos relativos às médias de precipitação pluvial, temperaturas máximas, mínimas e médias de cada mês foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura durante o período de avaliação da floração, desde 2015 (Figura 2). Entre setembro (2015) a fevereiro (2016) foi registrado a maior duração do dia, acima de 12 horas de luz, com a maior media observada em dezembro (2015) de cerca de 12,36 horas de luz. Por outro lado, de março a junho (2016) registrou-se a noite mais longa, com cerca de 12,36 horas sem luz, como observado em junho.



**Figura 2.** Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA, durante o período da coleta de dados do experimento do florescimento à colheita. (Setembro - 2015 a Maio – 2016)

## RESULTADOS

### Viabilidade da enxertia

A taxa de pegamento médio da enxertia foi de aproximadamente 70%, considerando todos os tratamentos avaliados (Tabela 1). Portanto, a técnica de enxertia pode ser utilizada de modo eficiente para a produção de mudas de mandioca com diferentes combinações de enxertos e porta-enxertos (Tabela 1). Em média, a taxa de sobrevivência dos genótipos enxertados variou de 60% a 82%. Diferenças significativas foram observadas apenas nas combinações com FLA como enxerto, em que a auto-enxertia proporcionou a maior taxa de sobrevivência (88%). Por outro lado, a combinação FLA / Formosa apresentou taxa de sobrevivência significativamente menor que a auto-enxertia (46%).

A incompatibilidade apresentada por estes genótipos enxertadas resultou em baixo desenvolvimento das mudas, e pode estar relacionado as diferenças fisiológicas, no diâmetro das hastes, bem como a diferenças anatômicas. Outra hipótese para explicar essa diferença no pegamento da enxertia que envolveu o genótipo FLA05-02, refere-se ao fato de que a sua propagação foi feita com o uso



de sementes (sexuada) e não por estaquia (assexuada) como realizada para BRS Formosa e BGM0823. Assim, em função da maior variação entre as plantas de FLA05-02 era esperada porque eram progênie de meios-irmãos. Em outra palavra, a grande variação na sobrevivência da enxertia pode ter sido devido à menor uniformidade das plantas derivadas de sementes. Além disso, a FLA05-02 é outra subespécie (*M. esculenta* ssp. *flabellifolia*), então pode ter havido incompatibilidade genética no processo de enxertia. Além disso, *M. esculenta* ssp. *flabellifolia* pode apresentar diferenças genéticas mais ampla por causa de sua distância da BRS Formosa e BGM0823. De fato, de acordo com Olsen (2004), *M. esculenta* ssp. *flabellifolia* apresenta crescimento de arbusto, menor produção de raiz suberizada e internódios mais alongados, o que é comum em *M. esculenta*.

**Tabela 1.** Percentagem média de pegamento das mudas, 30 dias após a realização das diferentes combinações de enxerto e porta-enxerto.

Porta-enxerto	Enxerto		
	BRS Formosa	BGM0823	FLA05-02
BRS Formosa	77,2 Aa*	78,5 Aa	46,1 Bb
BGM0823	65,4 Aa	65,1 Aa	60,0 ABa
FLA05-02	67,0 Aa	82,2 Aa	88,3 Aa

\*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### **Análise do florescimento**

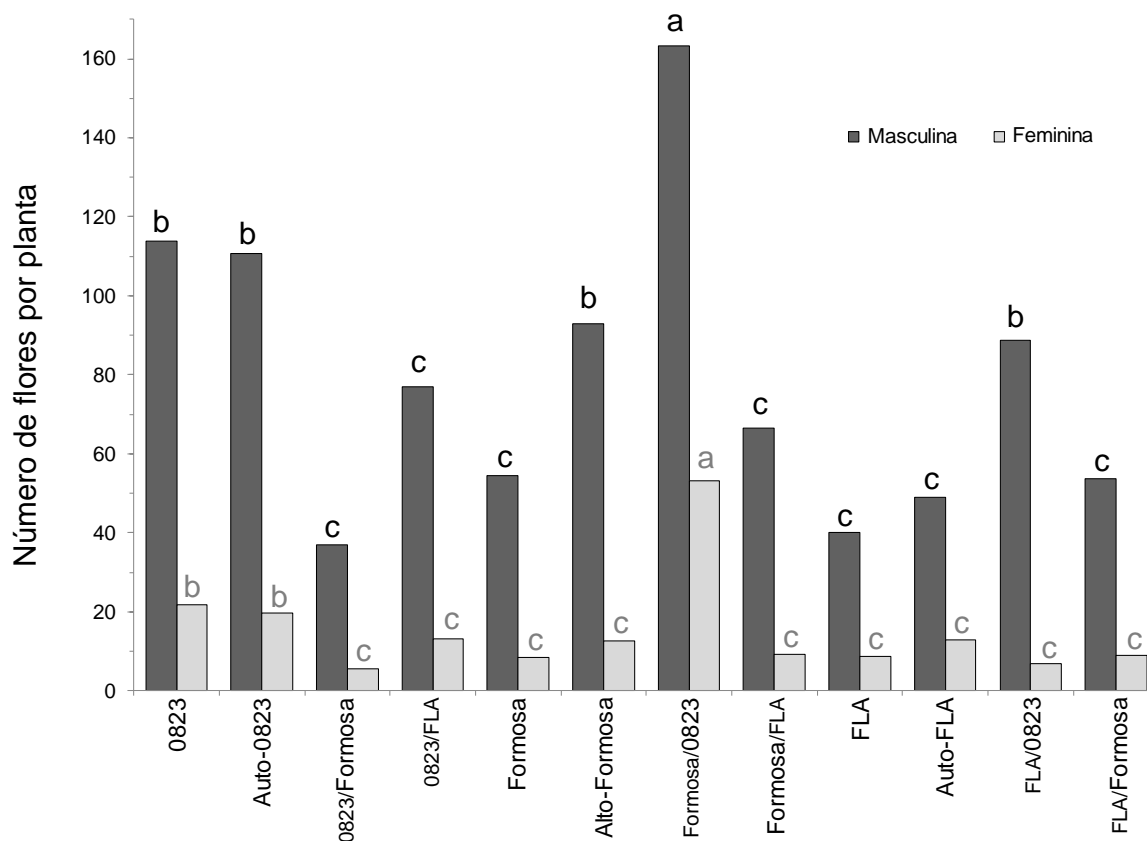
Houve diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os doze tratamentos de enxertia para todas as características avaliadas (Tabela 2). Esse resultado evidencia que pelo menos um tratamento apresentou maior número de flores masculinas (NFM), femininas (NFF) e frutos (NFT) em relação aos demais. Do ponto de vista experimental o coeficiente de variação (CV) foi baixo para a maioria das características associadas ao florescimento (variação de 5,41 a 14,32%), enquanto a média geral para NFM, NFF e NFT foi de 97,82, 13,24 e 20,71, respectivamente.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para número de flores masculinas (NFM), número de flores femininas (NFF) e número de frutos (NFT) por planta para as diferentes combinações de enxertos e porta enxertos avaliados até 14 meses após o transplântio.

Fonte de variação	GL <sup>1</sup>	Quadrado médio		
		NFM	NFF	NFT
Blocos	2	1,4306	0,0104	0,0045
Tratamentos	11	105,5341**	0,8302**	0,0552**
Resíduo	19	7,9712	0,0604	0,0058
CV (%)		14,32	10,25	5,41

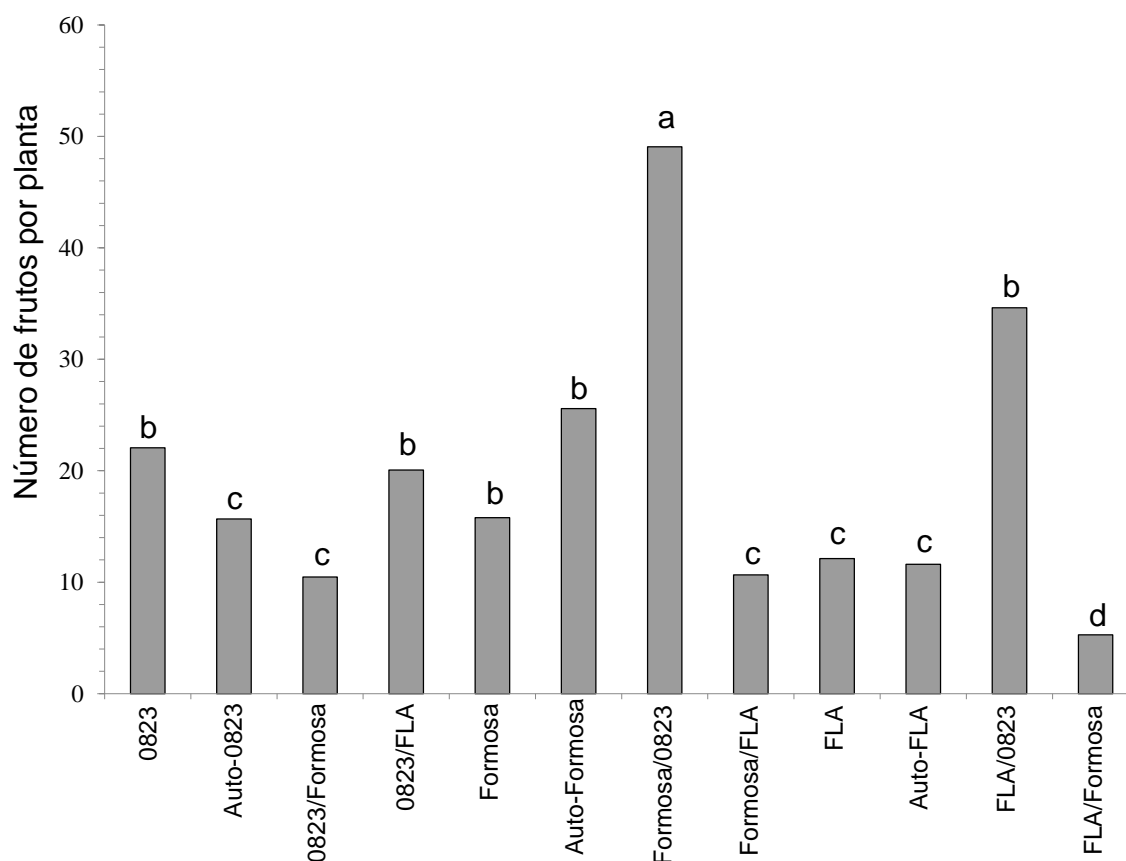
<sup>1</sup>GL: grau de liberdade; \*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

De modo geral, as médias das características NFM, NFF e NFT foram maiores nos tratamentos onde o genótipo BGM0823 foi utilizado como porta enxerto (Auto0823, FLA/0823 e Formosa/0823), ou seja, este genótipo afetou de forma positiva o aumento do número de flores masculinas, femininas e frutos em plantas enxertadas de mandiocas (Figuras 3 e 4). O enxerto do genótipo elite BRS Formosa sobre o porta-enxerto BGM0823 (Formosa/0823) apresentou grande produção de flores e frutos em relação aos demais tratamentos. Foi contabilizado um aumento de 201% para o NFM, 560% para o NFF e 400% para o NFT em relação ao tratamento sem enxertia da BRS Formosa (BRS Formosa) (Figuras 3 e 4). Além disso, o desempenho do enxerto de FLA05-02 sobre o porta-enxerto BGM0823 (FLA/0823) também foi promissor, possivelmente em decorrência do estímulo floral que resultou em um aumento no NFM e NFT em 100%. A combinação FLA/0823, portanto, dobrou a produção de flores masculinas em relação ao tratamento sem enxertia. Entretanto, para a produção de NFF esse tratamento não foi profícuo, devido ao fluxo de floração ser diferente entre as duas diferentes espécies.



**Figura 3.** Médias do número de flores masculinas e número de flores femininas por planta em diferentes combinações de enxertia entre genótipos com alta (BGM0823 e FLA05-02) e baixa taxa de florescimento (BRS Formosa) obtida entre setembro e dezembro de 2015 (cinco meses após o transplante). Médias seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-knott ( $p \leq 0,05$ ).

Considerando a produção de flores masculinas, femininas e de frutos entre as testemunhas (sem enxertia) houve uma superioridade do BGM0823 em relação aos demais genótipos. Esse resultado confirma informações prévias quanto ao hábito profuso de florescimento e abundante conjunto de frutos deste genótipo. Além disso, o genótipo FLA05-02 também é conhecido como uma espécie que possui abundante produção de flores. Contudo, nesse estudo o genótipo FLA05-02 produziu menos flores do que os outros genótipos. Uma explicação viável é que este genótipo tem um hábito de florescimento tardio, ou seja, o florescimento aumenta gradualmente com o crescimento da planta.



**Figura 4.** Médias do número de número de frutos por planta em diferentes combinações de enxertia entre genótipos com alta (BGM0823 e FLA05-02) e baixa taxa de florescimento (BRS Formosa) obtida entre setembro e dezembro de 2015 (cinco meses após o transplante). Médias seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-knott ( $p \leq 0,05$ ).

Com relação à auto-enxertia, houve um equilíbrio em relação à alta produção de flores masculinas entre os tratamentos Auto-0823 e Auto-Formosa, que apresentaram maior número de flores em comparação com Auto-FLA. Além disso, para a característica produção de flores femininas, o tratamento Auto-0823 foi superior aos tratamentos Auto-FLA e Auto-Formosa. Por fim, a produção de frutos no tratamento Auto-Formosa foi melhor em comparação com os tratamentos Auto0823 e FLA05-2. Como resultado, pode-se concluir que houve maior taxa de abortos de flores e frutos no tratamento auto-0823. Aparentemente a auto-enxertia promoveu melhoria na produção de flores e frutos, possivelmente em decorrência de um estresse causado pela injúria mecânica provocada pelo corte da enxertia que em geral interrompe o fluxo de água e nutrientes, e neste

caso, o aumento na produção de flores pode ser uma resposta adaptativa da planta ao estresse abiótico sofrido.

### Efeitos da enxertia em características produtivas de mandioca

A avaliação das características de produção das plantas de mandioca oriundas da enxertia foi realizada no intuito de verificar a ocorrência de alterações no desempenho das plantas após o processo de enxertia. Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos de enxertia para as características de produtividade da parte aérea (PPA) e índice de colheita (IC) (Tabela 3). Para as demais características os tratamentos não diferiram entre si, ou seja, a enxertia não acarretou em alterações no comportamento das plantas enxertadas. As estimativas do CV em relação a dispersão dos dados em termos relativos a seu valor médio apresentaram pouca variação entre as características, com amplitude de 7% (IC) a 23% (PAM).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para algumas características produtivas de mandioca avaliadas em plantas submetidas à enxertia aos 14 meses após plantio.

Fonte de Variação	GL <sup>1</sup>	QM					
		PR <sup>2</sup>	PPA	PAM	MS	IC	AP
Blocos	2	2,70	1,09	0,41	0,25	0,35	0,31
Tratamentos	5	1,92 <sup>ns</sup>	5,21*	0,72 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	1,24*	0,35 <sup>ns</sup>
Resíduo	10	1,19	1,13	0,62	0,36	0,24	0,11
Média		35,55	49,90	11,48	32,25	42,00	2,83
CV (%)		18,32	15,41	23,04	10,48	7,34	11,26

<sup>1</sup>GL: grau de liberdade; <sup>2</sup>PR: produtividade de raízes (t ha<sup>-1</sup>); PPA: produtividade da parte aérea (t ha<sup>-1</sup>); IC: índice de colheita (%); MS: teor de matéria seca das raízes (%); PAM (t ha<sup>-1</sup>): produtividade de amido; AP: altura de planta (m); ns, \*: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em relação à PPA observou-se a formação de dois grupos, de modo que as maiores médias foram observadas nos tratamentos onde o BGM0823 foi utilizado sem enxertia (BGM0823), auto enxertia (Auto-0823) e porta-enxerto (Formosa/0823) (Tabela 4). O contrário foi observado para os tratamentos em que

a BRS Formosa foi utilizada como porta-enxerto, portanto tem forte componente genético. Com relação aos tratamentos sem enxertia da BRS Formosa e do BGM0823, verificou-se que este último genótipo produziu 31 t.ha<sup>-1</sup> de parte aérea a mais que a primeira.

A produtividade da parte aérea do enxerto da BRS Formosa sobre o BGM0823 foi 50% maior em comparação com a enxertia inversa. O genótipo BGM0823 aumentou a produtividade da parte aérea da BRS Formosa, de 21,0 para 28,0 t.ha<sup>-1</sup> (Tabela 4), enquanto situação inversa também foi verificada para PPA quando se utilizou o BGM0823 como enxerto e BRS Formosa como porta-enxerto (queda de 38,0 para 14,0 t.ha<sup>-1</sup>).

Resultados análogos à PPA foram observados para o IC, no qual dois grupos (Auto0823, BGM0823 e Formosa/0823) e (0823/Formosa, AutoFormosa e BRS Formosa) apresentaram médias semelhantes dentro de cada grupo, porém diferentes entre os grupos (Tabela 4). Para o IC os maiores valores foram observados para BRS Formosa (52,8%), 0823/Formosa (50,1%) e AutoFormosa (49%). O IC é uma variável importante, pois fornece a relação proporcional entre raízes produzidas em comparação com a fitomassa total das plantas (raízes, estacas, caules e folhas). Como a PPA é um componente de grande importância no cálculo do IC, essas duas características tiveram desempenho similar.

**Tabela 4.** Média de características produtivas avaliadas em plantas de mandioca submetidas à enxertia, avaliadas aos 14 meses após plantio.

Tratamentos	Características agronômicas <sup>1</sup>	
	PPA	IC
Auto0823	31,81 a	37,50 b
BGM0823	38,33 a	40,57 b
Formosa/0823	27,89 a	29,21 c
0823/Formosa	14,70 b	50,11 a
AutoFormosa	15,95 b	49,50 a
BRS Formosa	21,02 b	52,80 a

<sup>1</sup>PPA: produtividade da parte aérea (t ha<sup>-1</sup>) e IC: índice de colheita (%); <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-knott (p≤0,05). Auto0823: Auto enxertia BGM0823; 0823/Formosa: BGM0823 (enxerto) x BRS Formosa (porta-enxerto); BGM0823: BGM0823 (sem enxertia); AutoFormosa: Auto enxertia BRS Formosa; Formosa/0823: BRS Formosa (enxerto) x BGM0823 (porta-enxerto); BRS Formosa: BRS Formosa (sem enxertia).

## DISCUSSÃO

### **Eficiência da enxertia em mandioca**

A percentagem de mudas obtidas pela enxertia variou de 46 a 88%, dependendo do enxerto/porta enxerto utilizado. Comparações sobre a eficiência desse método são difíceis, pois as informações são limitadas sobre enxertia na mandioca. Um dos poucos trabalhos atuais sobre o assunto utilizou a técnica de garfagem inglês simples em plantas adultas (4 e 5 meses) ao invés de mudas (Ceballos et al., 2017). Ao utilizarem seis genótipos de mandioca com baixo potencial de florescimento como enxerto e outro genótipo com elevado potencial de florescimento como porta enxerto, estes autores observaram uma variação na taxa de sobrevivência, que variou de 37 a 87%. De acordo com Ceballos et al. (2017), a baixa sobrevivência dos enxertos pode ser explicada pelo estresse provocado pelo procedimento de enxertia, bem como pela má formação do tecido vascular na junção entre o enxerto e porta-enxerto prejudicando o fluxo do floema e xilema. Portanto, a taxa de sobrevivência de 70% indica que a técnica é adequada para indução do florescimento em mandioca com um protocolo simples.

A enxertia em mandioca tem sido descrita na literatura, porém com outros objetivos para aumentar o florescimento. Enxertia tem sido amplamente utilizada em protocolos de diagnósticos para diferentes doenças em mandioca. Também foi utilizada em haste de plantas adultas para verificar a compatibilidade de mudas de mandioca, cujo resultados demonstraram 100% de sobrevivência dos genótipos de mandioca usados com copa e a espécie *M. glaziovii* Muell como porta-enxerto, e 30% de sucesso com genótipo de mandioca como enxerto e *M. fortalezensis* espécie como porta-enxerto (Nassar et al., 2011). Portanto, a variação encontrada na percentagem de pegamento da enxertia mostrou que a espécie *M. fortalezensis* apresentou maior incompatibilidade que a *M. glaziovii* Muell. Porém de modo geral, a diferença entre o pegamento da enxertia foi elevada entre os materiais estudados nesta pesquisa, verifica-se que a percentagem de pegamento de enxertia do presente estudo foram discordantes em magnitude em relação ao trabalho citado sob outras condições fisiológicas.

A espécie *M. flabellifolia* (FLA05-02) apresentou certa incompatibilidade como enxerto tendo a variedade BRS Formosa como porta-enxerto.

Possivelmente a afinidade anatômica dos vasos condutores foi baixa, de modo a prejudicar o fluxo normal de fotoassimilados e a lignificação de tecidos do porta-enxerto e enxerto. Por outro lado, FLA05-02/BGM0823 apresentou em média maior taxa de pegamento quando comparado a FLA05-02/BRS Formosa. De acordo com Bonfim et al. (2011) existe uma diferença anatômica com relação ao diâmetro dos vasos condutores dentro de uma mesma espécie de mandioca. Isso ajuda a explicar por que dois genótipos de *M. esculenta* tiveram resultados diferentes para a taxa de pegamento utilizando como enxerto a *M. flabelifolia*. Estudos futuros sobre a anatomia dos vasos condutores entre os genótipos de uma mesma espécie serão fundamentais para indicar quais combinações resultarão em maior taxa de pegamento da enxertia. Além disso, o uso de plantas oriundas de diferentes tipos de propagação [assexuadas (manivas) nos genótipos de *M. esculenta* e sexuada (sementes) para o genótipo FLA05-02], pode ter influenciado na taxa de pegamento, considerando que os *seedlings* são geneticamente diferentes e, portanto, mais desuniformes em relação aos genótipos propagados de forma vegetativa. A incompatibilidade entre enxerto e porta-enxerto, pode ser atribuída à variabilidade genética presente nas plantas oriundas de sementes, visto que a mandioca é uma espécie altamente heterozigótica, na qual cada semente é um genótipo único sujeito as interações específicas com outros fatores ambientais.

### **Eficiência da enxertia como método para produção de flores e frutos**

Geralmente em muitas espécies de plantas a enxertia tem diversas finalidades como busca por tolerância às doenças de solo, promoção do vigor das plantas, aumentos do rendimento, tolerâncias aos estresses abióticos, efeitos na qualidade dos frutos, produção de plantas e por fim pode ser usada para estudos fisiológicos, tais como indução de flores e florescimento precoce (Lee et al., 2010). Técnicas de enxertia tem sido explorada para induzir ou aumentar a taxa de floração em diversas culturas como batata (Lardizabal; Thompson, 1990) e batata doce (Mubayiwa et al., 2016). A enxertia também tem sido eficientemente explorada para antecipar o florescimento em cucurbitáceas (Lin et al., 2007), em tomate e tabaco (Lifschitz et al., 2006).



Um resultado inesperado foi observado com FLA05-02 cujos incrementos de flor e fruto no tratamento de enxertia não foram tão altos quanto aqueles com BGM0823. O fato de a FLA05-02 ser uma espécie silvestre e ter um hábito tardio de floração pode explicar esses resultados. A variação na resposta dos tratamentos mostrou que, apesar de ser uma característica complexa, o florescimento da mandioca pode ser induzido por enxertia, especialmente dentro das espécies.

Mesmo com poucos relatos sobre a eficiência da enxertia na indução do florescimento em mandioca foi possível observar que os resultados do presente trabalho podem contribuir para a construção do conhecimento sobre estratégias mais eficientes para expandir as possibilidades de cruzamentos entre genótipos de mandioca. Ceballos et al. (2017) realizaram a enxertia com enxertos derivados de plantas adultas com baixa taxa de florescimento em porta-enxertos oriundos de plantas adultas com alta taxa de florescimento, e nesta fase não foi observada melhoria no florescimento. Contudo, ao plantarem as hastes provenientes das plantas enxertadas, os autores verificaram que aos 174 após o plantio, as plantas derivadas da parte aérea enxertada apresentaram aumento da produção de flores, frutos e sementes em relação às estacas de plantas enxertadas em um genótipo específico. Assim como no presente estudo, esses autores encontraram variação genética na resposta para enxertia. Eles atribuíram isso ao efeito memória nas hastes enxertadas. Portanto, o plantio das hastes enxertadas obtidas no presente trabalho, poderão ser objeto de estudo para investigar se o efeito memória pode trazer mais ganhos na indução do florescimento dos genótipos de baixo florescimento, a exemplo da BRS Formosa.

Apesar dos resultados promissores na indução do florescimento com uso da enxertia em condições de campo, Ceballos et al. (2017) relataram certa ineficiência do método. Além disso, sob condições de casa de vegetação Bull et al. (2017) avaliaram plantas adultas de dois genótipos de mandioca transgênicos e um outro genótipo não transgênico. Os genótipos de mandioca transgênicos com florescimento profuso foram utilizados como porta-enxerto e o genótipo não transgênico com baixo florescimento como enxerto. Os resultados mostraram que das mudas enxertadas nenhuma das plantas apresentou aumento significativo no número de flores masculinas e femininas e frutos, independente da combinação

enxerto/porta-enxerto utilizada. De acordo com Bull et al. (2017), o porta-enxerto não foi capaz de gerar quantidades suficientes do estímulo de florescimento que normalmente é carregado no floema das folhas. Estes relatos trazem contribuições importantes para a generalização desta pesquisa, pois certamente componentes como genótipo, ambiente (crescimento e análise em campo ou casa-de-vegetação) e mesmo genéticos (transgênicos x convencionais) precisarão ser analisados com mais detalhes em pesquisas futuras.

Segundo Giakountise e Coupland (2008), o processo de floração é comandado por estímulos onde um conjunto de substâncias juntamente com a proteína FT (fator de floração) formam um sinal que é transportado pelo floema das folhas em direção ao meristema apical. Com isso, inicia-se uma reação de expressão que dispara o aparato molecular e estimula a iniciação floral no meristema apical. Ainda segundo Giakountise e Coupland (2008), a enxertia pode ser utilizada para transmissão do sinal de floração entre enxertos. Nesse sentido, acredita-se que o estímulo da floração do genótipo BGM0823 tenha sido transmitido durante o processo de estabelecimento e junção da enxertia, uma vez que as folhas basais do porta-enxerto foram conservadas durante aproximadamente 15 dias até o sucesso do pegamento da enxertia, sendo retiradas das plantas após este tempo.

Para a indução do florescimento em tomateiro foi empregada a enxertia de garfagem de fenda cheia, em que o enxerto foi utilizado para transmitir o estímulo de florescimento produzido pelas folhas através do floema juntamente com fotoassimilados para o meristema apical de uma planta receptora ou de porta-enxerto que apresente baixo florescimento (Lifschitz et al., 2006). De acordo com os autores supracitados, aparentemente, o fluxo de fotoassimilados via floema das folhas basais do porta-enxerto passa para o enxerto carregando também o estímulo de florescimento entre as folhas, de modo que o mesmo é acumulado no meristema apical do enxerto como uma “marca de florescimento”. Assim, provavelmente essa marca permanece em uma configuração inativa que será ativada após a exposição do estímulo às condições ideais de luz e temperatura para o florescimento, ou seja, pode ser criada uma condição de “efeito memória”. O efeito memória de acordo Bruce et al. (2007) é considerado como uma marca epigenética que poderia ser deixada num estado transcricionalmente silencioso

em que a região do broto do meristema apical fique em um estado “permissivo”. Segundo o mesmo autor, essa condição permite que no momento apropriado do florescimento ocorre uma resposta e a expressão da característica iniciando o florescimento.

Além da abordagem sobre o efeito memória, outra explicação plausível e complementar para a indução do florescimento de mandioca pela enxertia, está relacionada ao papel das raízes no processo de floração, considerando sua integração na rede de regulação da sinalização sistêmica do florescimento por meio da ação de genes globais envolvidos na indução da floração (Bouché et al., 2016). Assim, provavelmente o estímulo floral regido pelo BGM0823 como porta-enxerto sobre o FLA05-02 e a variedade BRS Formosa tenha atuado em duas vertentes, sendo a primeira associada à movimentação de fotoassimilados pelo floema das folhas, na qual o FT pode ser um deles. Contudo, estudos mais aprofundados nesta linha ainda precisam ser realizados.

Conforme demonstrado, a enxertia pode ser utilizada para induzir o florescimento em plantas de mandioca. Contudo, o tempo que as plantas levam para emitirem flores após a enxertia pode ser um fator determinante nos processos de hibridação. De acordo com Ceballos et al. (2017), o tempo total para início da floração foi 389 dias após a enxertia e plantio das estacas no campo. Entretanto, no presente trabalho, as plantas enxertadas foram transplantadas diretamente no campo, e o início da floração ocorreu cerca de 210 dias após a enxertia. Neste sentido, a precocidade na produção de flores usando a enxertia em mudas foi de aproximadamente 179 dias se comparada com a enxertia de plantas adultas utilizadas por Ceballos et al. (2017). Deste modo, a eficiência na enxertia em mandioca conduzida em viveiro poderia proporcionar aos melhoristas da cultura um ganho principalmente no tempo entre os cruzamentos de plantas em programas de melhoramento genético. Outra vantagem também seria a maior segurança na condução da enxertia em viveiro em relação ao campo, especialmente devido a possíveis problemas com perda de enxertos pela ruptura do local enxertado em decorrência da ação do vento ou do trânsito de pessoas, além do maior controle sobre pragas e doenças.

### **Influência da enxertia em características agronômicas**

Desde a década de 1970, diversas pesquisas têm utilizado a técnica de enxertia na mandioca para elevar a produção de raízes. Nessas pesquisas, genótipos com elevado potencial fotossintético foram utilizadas como enxerto e genótipos com alto rendimento de raízes como porta-enxerto (Ahit et al., 1981; Dahniya et al., 1982; Ramanujam; Ghosh, 1990). Os resultados mostraram que a enxertia em plantas adultas não influenciou a produção de raízes, amido e matéria seca, corroborando com os resultados encontrados pelo presente trabalho.

A enxertia promoveu alterações significativas na PPA, para qual a combinação BRS Formosa/BGM0823 apresentou aumento de 25% em comparação com as plantas da BRS Formosa sem enxerto. Por outro lado, o tratamento inverso (BGM0823/BRS Formosa) reduziu a PPA em, aproximadamente, 50%, quando comparado às plantas do genótipo BGM0823 sem enxertia. O sistema radicular do porta enxerto pode ser um fator determinante para aumentar a produção da parte aérea, visto que raízes com melhor desenvolvimento captam maiores quantidades de água, nutrientes. Para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) foi observado que o porta enxerto é o principal responsável pela expressão da parte aérea e frutos das plantas enxertadas (Salehi-mohammadi et al., 2009).

O aumento na PPA do enxerto BRS Formosa não resultou em aumento na PR do porta enxerto BGM0823, evidenciando que o desenvolvimento da parte aérea e de raízes em plantas enxertadas não apresentou nenhuma relação positiva. O aumento na produção na parte aérea proporcionada pelo porta-enxerto BGM0823 pode ser explicada devido a características genéticas e morfológicas específicas deste genótipo que podem modificar padrões fisiológicos e bioquímicos do enxerto BRS Formosa de modo a trazer ganhos de biomassa. Por outro lado, em média as estimativas de PPA nos tratamentos de auto enxertia tanto na BGM0823 como na BRS Formosa não melhoraram o rendimento em relação as plantas não enxertadas.

Mesmo que a enxertia tenha ajudado a aumentar ou reduzir a PPA de alguns tratamentos, este tipo de resultado não foi observado para a característica PR. Portanto, em média a PR não apresentou diferenças significativas entre os

tratamentos enxertados e não enxertados, indicando que cada genótipo tem seu potencial de produção de raízes majoritariamente definido pelo *background* genético. Em outras palavras, a força de armazenamento é fixada geneticamente no porta-enxerto. Por outro lado, o IC foi a característica agrônômica que apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Portanto, considerando que a parte aérea apresenta uma relação direta com o porta-enxerto, sendo influenciada positiva ou negativamente dependendo da combinação enxerto/porta enxerto, pode-se inferir que as diferenças observadas entre os tratamentos para a característica IC foi mais influenciada pela PPA do que pela PR.

### **Considerações gerais sobre o uso da enxertia para indução de florescimento em mandioca**

A utilização de plantas de mandioca enxertadas em estádios iniciais de desenvolvimento é uma estratégia viável devido à elevada percentagem de pegamento, possivelmente pela maior facilidade e rapidez na soldadura entre o tecido vascular entre enxerto e porta enxerto. O uso da enxertia como ferramenta para disparar reações endógenas que induzam a mudanças dinâmicas na resposta dos enxertos permitiu induzir maior taxa de florescimento em mandioca, o que certamente trará impactos positivos no aumento do uso de parentais no melhoramento genético da cultura.

O aumento da floração representa um ganho muito importante nos programas de melhoramento, pois facilita as operações rotineiras de cruzamento em campos de cruzamento, de forma a reduzir os custos de operação e acelerar a produção de populações segregantes; além de facilitar o desenvolvimento de linhagens endogâmicas e otimizar o processo de seleção genômica que necessita de rápida geração de progênies para os diversos ciclos de seleção (Ceballos et al., 2017). Adicionalmente, a indução de floração em parentais que normalmente não produzem flores, ou as produzem muito tardiamente no ciclo da cultura poderia proporcionar ganhos significativos com a troca de alelos favoráveis de forma precoce e com maior eficiência. Por fim, este estudo foi realizado para investigar o significado funcional e prático do processo da indução floral por meio da enxertia. Nossa mensagem é que a enxertia em mandioca, como realizada no estudo atual, não é um processo de difícil execução, pois exige apenas os

mesmos cuidados da enxertia tradicionalmente realizada em diversas espécies de fruteiras, sendo de baixo custo de implementação, considerando que pode ser feita na fase de viveiro sem a necessidade de estruturas sofisticadas, e acima de tudo bastante eficiente para indução de floração em mandioca dependendo da escolha dos enxertos. Por outro lado, muitas ferramentas moleculares têm sido utilizadas para elucidar os mecanismos e genes que controlam o florescimento em mandioca (Adeyemo et al., 2017; Bull et al., 2017). Portanto no futuro será necessário integrar esforços no intuito de investigar com maiores detalhes o padrão de resposta dos tratamentos em relação ao florescimento, quais as rotas metabólicas e genes que estão envolvidos no processo de florescimento e se até mesmo efeitos genéticos ainda pouco estudados e mandioca (epigenéticos) podem estar atuando no controle desta característica em mandioca.

## CONCLUSÃO

A produção de mudas enxertadas de mandioca deve ser realizada em plantas com até 30 dias após o enraizamento, de modo que mais 65% na taxa de pegamento pode ser alcançada. Nessa idade, a transferência do estímulo de florescimento é bastante eficiente, resultando na indução precoce do florescimento, aumento da produção de flores e frutos, conforme observado para os tratamentos em que o BGM0823 foi utilizado como porta enxerto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEMO, O. S.; CHAVARRIAGA, P.; TOHME, J.; FREGENE, M.; DAVIS, S. J.; SETTER, T. L. Overexpression of *Arabidopsis* FLOWERING LOCUS T (FT) gene improves floral development in cassava (*Manihot esculenta*, Crantz). **Plos One**, v. 12, n. 7, p. e0181460, 2017.

ADEYEMO, O.S.; KOLMOS, E.; TOHME, J.; CHAVARRIAGA, P.; FREGENE, M.; DAVIS, S. J. Identification and characterization of the cassava core-clock gene EARLY FLOWERING 4. **Tropical Plant Biology**, v. 4, n. 2, p. 117-125, 2011.

AHIT, O. P.; ABIT, S. E.; POSAS, M. B. Growth and development of cassava under the traditional and the Mukibat system of planting. **Annals of Tropical Research**, v. 3, n. 3, p. 187-198, 1981.

AMASINO, R. Seasonal and developmental timing of flowering. **The Plant Journal**, v. 61, p. 1001–1013, 2010.

ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, p. 488- 492, 2013.

ASAR, Ö.; ILK, O.; DAG, O. Estimating Box-Cox power transformation parameter via goodness-of-fit tests. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, v. 46, n. 1, p. 91-105, 2017.

BERNIER, G.; PÉRILLEUX, C. A physiological overview of the genetics of flowering time control. **Plant Biotechnology Journal**, v. 3, p. 3-16, 2005.

BOUCHÉ, F.; D'ALOIA, M.; TOCQUIN, P.; LOBET, G.; DETRY, N.; PÉRILLEUX, C. Integrating roots into a whole plant network of flowering time genes in *Arabidopsis thaliana*. **Scientific reports**, v. 6, p.1-12, 2016.

BRUCE, T.J.; MATTHES, M.C.; NAPIER, J. A.; PICKETT, J. Stressful 'memories' of plants: evidence and possible mechanisms". **Plant Science**, v.173, n. 6, p. 603-608, 2007.

BULL, S. E.; ALDER, A.; BARSAN, C.; KOHLER, M.; HENNIG, L.; GRUISSEM, W.; VANDERSCHUREN, H. FLOWERING LOCUS T Triggers early and fertile flowering in glasshouse cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plants**, v. 6, n. 2, p. 22, 2017.

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.

CORBESIER, L.; COUPLAND, G. Photoperiodic flowering of *Arabidopsis*: integration of genetic and physiological approaches for the characterization of floral stimulus. **Plant Cell and Environment**, v. 28, p. 54-66, 2005.

CORBESIER, L.; VINCENT, C.; JANG, S.; FORNARA, F.; FAN, Q. FT protein movement contributes to long-distance signaling in floral induction of *Arabidopsis*. **Science**, v. 316, n.10, p. 30– 33, 2007.

COLOMBO, C.; SECOND, G.; CHARRIER, A. Genetic relatedness between cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and *M. flabellifolia* and *M. peruviana* based on both RAPD and AFLP markers. **Genetics and Molecular biology**, v. 23, n. 2, p. 417-423, 2000.

DAHNIYA, M. T.; OPUTA, C. O.; HAHN, S. K. Investigating source-sink relations in cassava by reciprocal grafts. **Experimental Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 399-402, 1982.

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.

GIAKOUNTIS, A.; COUPLAND, G. Phloem transport of flowering signals. **Current Opinion in Plant Biology**, v.11, n.6, p. 687-694, 2008.

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.



LARDIZABAL, R. D.; THOMPSON, P. G. Growth regulators combined with grafting increase flower number and seed production in sweet potato. **HortScience**, v. 25, n. 1, p. 79-81, 1990.

LEE, J. M.; KUBOTA, C.; TSAO, S. J.; BIE, Z.; ECHEVARRIA, P. H.; MORRA, L.; ODA, M. Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 93-105, 2010.

LIFSCHITZ, E., EVIATAR, T., ROZMAN, A., SHALIT, A., GOLDSHMIDT, A., AMSELLEM, Z., ESHED, Y. The tomato FT ortholog triggers systemic signals that regulate growth and flowering and substitute for diverse environmental stimuli. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.103, n. 16, p. 6398-6403, 2006.

LIN, M. K.; BELANGER, H.; LEE, Y. J.; VARKONYI-GASIC, E.; TAOKA, K.; MIURA, E.; XOCONOSTLE-CÁZARES, B.; GENDLER, K.; JORGENSEN, R. A.; PHINNEY, B. FLOWERING LOCUS T protein may act as the long-distance florigenic signal in the cucurbits. **Plant Cell**, v.19, p. 1488–1506, 2007.

MCGARRY, R. C.; AYRE, B. G. Geminivirus-mediated delivery of florigen promotes determinate growth in aerial organs and uncouples flowering from photoperiod in cotton. **PLoS ONE**, v. 7, p. 36746, 2012.

MCGARRY, R. C.; KLOCKO, A. L.; PANG, M.; STRAUSS, S. H.; AYRE, B. G. Virus-induced flowering: an application of reproductive biology to benefit plant research and breeding. **Plant Physiology**, v. 173, p. 47–55, 2017.

MUBAYIWA, M.; MUTASA, W.; GASURA, E.; MABASA, S. Grafting and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid induced flowering in non-flowering sweetpotato in subtropics. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 153-157, 2016.

MUDGE, K.; JANICK, J.; SCOFIELD S.; GOLDSCHMIDT, E.A. History of grafting. **Horticultural Reviews**, v. 35, p.437- 493, 2009.

NASSAR, N. M.; RIBEIRO, D. G.; BOMFIM, N. N.; GOMES, P. T. *Manihot fortalezensis* Nassar, Ribeiro, Bomfim et Gomes a new species of *Manihot* from Ceará, Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, n. 6, p. 831-835, 2011.

OLSEN, K. M. SNPs, SSRs and inferences on cassava's origin. **Plant Molecular Biology**, v. 56, n. 4, p. 517-526, 2004.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 3.0.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Available from: <http://www.R-project.org>; 2016. [cited 12.12.2016].

RAMANUJAM, T.; GHOSH, S. P. Investigations of source-sink relations in cassava using reciprocal grafting. **Experimental Agriculture**, v. 26, n. 2, p. 189-195, 1990.

SALEHI-MOHAMMADI, R.; KASHI, A.; LEE, S. G.; HUH, Y. C.; LEE, J. M.; BABALAR, M.; DELSHAD, M. Assessing survival and growth performance of Iranian melon to grafting onto *Cucurbita* rootstocks. **Korean Journal Horticultural Science Technology**, v. 27, n. 1, p. 1-6, 2009.

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 agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p.70-214, 2006.

TAMAKI, S.; MATSUO, S.; WONG, H. L.; YOKOI, S.; SHIMAMOTO, K. Hd3a protein is a mobile flowering signal in rice. **Science**, v. 316, n. 5827, p. 1033-1036, 2007.

YANG, C.; JIAO, D. Y.; CAI, Z. Q.; GONG, H. D.; LI, G. Y. Vegetative and reproductive growth and yield of *Plukenetia volubilis* plants in responses to foliar application of plant growth regulators. **HortScience**, v. 51, n. 8, p. 1020-1025, 2016.

## **ARTIGO 2**

### **EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO NA INDUÇÃO FLORAL E EM CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS NA CULTURA DA MANDIOCA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Scientia Agricola.

## **Efeito de reguladores de crescimento na Indução floral e em características agronômicas na cultura da mandioca<sup>1</sup>**

**RESUMO:** A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma espécie originária do Brasil, que atualmente é considerada uma das principais fontes de energia nas regiões tropicais do mundo. No entanto, a baixa taxa de florescimento é um dos principais gargalos para realização de cruzamentos visando ao desenvolvimento de variedades melhoradas. Assim, este trabalho investigou o efeito da aplicação foliar do cloreto de chlormequat (CCC) e da aplicação no solo do paclobutrazol (PBZ) na indução do florescimento e nas características agronômicas na cultura da mandioca. O experimento foi instalado em esquema fatorial (quatro variedades de baixo florescimento e quatro doses de cada produto) com cinco repetições. As doses do CCC foram: 0, 75, 150 e 300 mg L<sup>-1</sup> (pulverizado sobre a copa) do PBZ foram: 0, 300, 450 e 600 mg (aplicado no solo, sob a copa). Os resultados demonstraram que a aplicação de diferentes doses do CCC e do PBZ não induziram o florescimento nas variedades de mandioca avaliadas. O tratamento com o CCC não influenciou nenhuma característica agronômica das variedades em relação ao controle. O PBZ, em todas as doses, reduz a produtividade de raiz, amido, e parte aérea, além da altura de planta e o teor de matéria seca nas raízes. Na interação entre doses x variedade, a aplicação de PBZ apresentou interação significativa entre teor de matéria seca das raízes e altura de planta. Nessa interação, as doses de 300 e 450 mg do PBZ diminuíram significativamente a conversão de matéria seca das raízes da variedade IAC-90 em relação ao controle. Altura das plantas é reduzida em todas as variedades em comparação com o controle (dose 0). A mandioca tratada com PBZ diminuiu o crescimento vegetativo e a aplicação do PBZ não influenciou a indução floral. Portanto, este trabalho demonstrou que o uso do CCC e PBZ na indução do florescimento de mandioca deve ser aprimorado, em termos de dosagens, épocas e métodos de aplicação.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz; florescimento; Hormônios vegetais.

## Effect of plant growth regulators on floral induction and on agronomic traits of cassava

**ABSTRACT:** Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a species native to Brazil, which is considered one of the main sources of energy in tropical regions of the world. However, the low flowering rate is one of the main bottlenecks for cross-breeding aiming development of improved varieties. This work investigated the effect of foliar application of chlormequat chloride (CCC) and the soil application of paclobutrazol (PBZ) on flower induction and the agronomic traits of cassava. Two experiments were performed in a factorial scheme (four low flowering varieties and four doses of each product) with five replications. The doses of CCC were: 0, 75, 150 and 300 mg L<sup>-1</sup> (sprayed on the canopy) and PBZ were: 0, 300, 450 and 600 mg (applied on the ground, under the canopy). The results showed that the application of different doses of CCC and PBZ did not induce flowering in cassava varieties. The treatment with CCC did not influence any agronomic characteristics of the varieties in relation to the control. On the other hand, the PBZ, at all doses, reduced root, starch and shoot productivity, as well as plant height and dry matter content in the roots. In the interaction between doses × variety, the application of PBZ showed a significant interaction between root dry matter content and plant height. In this interaction, the doses 300 and 450 mg of PBZ significantly decreased dry matter content of the roots of IAC-90 variety. Plant height was reduced in all varieties. Cassava treated with PBZ decreased vegetative growth and did not influence floral induction. This work demonstrated that the use of CCC and PBZ to induce flowering in cassava needs to be improved, in terms of dosages, times and methods of application.

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz; flowering; plant hormones.

## INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma importante fonte de carboidratos utilizada na base alimentar de milhões de pessoas em diversos países (Sayre et al., 2011), cujos cultivos se estendem em regiões tropicais e subtropicais (El-sharkawy; Tafur, 2010). Esta espécie se destaca por ser uma planta com diversos usos, que vai desde a alimentação humana à animal, tendo como principais produtos a farinha amarela, que é preferida devido a maior qualidade nutricional, ao amido e as raízes cozidas, além da indústria de fabricação de etanol (Ceballos; Hershey 2017).

O aumento da demanda mundial pelas raízes de mandioca tem resultado no aumento da produção ao longo dos anos, pois em 2000 o total de raízes frescas produzidas pelas principais regiões produtoras foi de 175 milhões de toneladas em 16 milhões de hectares. Em 2016 essa produção aumentou 59% (FAO, 2017). Para atender a esta crescente demanda, os agricultores têm aumentado a área plantada, bem como realizado adequações nos tratamentos culturais para maximização do potencial de produção, bem como o uso de variedades com maior potencial genético. Mais de 23 milhões de hectares de mandioca foram colhidos no mundo em 2016 (FAO, 2018), cujo aumento de produtividade, em parte, pode ser devido ao uso de variedades melhoradas (Ceballos et al., 2004). Por outro lado, em relação ao desenvolvimento de variedades melhoradas de mandioca, existe uma importante barreira para uso de parentais com alto valor genético, que é baixa produção de flores ou mesmo ausência, bem como a falta de sincronismo no florescimento dos genótipos nos campos de cruzamentos (Ceballos et al., 2017).

O florescimento da mandioca é um processo complexo que depende das interações ambientais e de variedades como também de temperaturas moderadas em torno de 24°C (Alves, 2006). Por outro lado, em genótipos que apresentam arquitetura mais ereta prejudicam o florescimento devido a ausência de ramos ou ramificação tardia. De acordo com Ceballos e Hershey (2017), um exemplo desse evento é o genótipo de mandioca “aspargos” que apresenta dificuldades para realização de cruzamentos com sua arquitetura ereta que não ramifica ou ramifica tardiamente.

A aplicação de reguladores de crescimento de plantas, como o cloreto de chlormequat (CCC) e o paclobutrazol (PBZ) tem sido bastante discutido na literatura, pois alguns autores tem relatado casos de sucesso na indução de florescimento em manga (*Mangifera indica* L.) (Krishna et al., 2017), em espécie de citrus (*Citrus aurantifolia* Swingle) (Ranganna et al., 2017) e plantas ornamentais (*Rhododendron* L.) (Meijón et al., 2009). Em outros trabalhos a indução do florescimento com o uso do CCC não foi eficiente na indução floral de alface (*Lactuca sativa*), algumas plantas ornamentais (*Rhododendron* L.) e no citrus (*Citrus aurantifolia* Swingle) (Passam et al., 2008; Meijón et al., 2009; Ranganna et al., 2017).

Embora o CCC e PBZ sejam utilizados para induzir a produção de flores em plantas, eles também são utilizados em diversas técnicas de manejo que buscam reduzir o porte da planta e proporcionar alterações fisiológicas que resultem em maior produtividade (Almeida; Rosolem 2012). O PBZ tem sido utilizado comercialmente no sistema de produção de espécies como manga (Oliveira et al., 2014) e oliveiras (Moreira et al., 2016) para aumentar o florescimento e a frutificação. Tanto o CCC como o PBZ têm sido utilizados em flores de lírio para melhorar a acumulação de carboidratos e aumentar a capacidade fotossintética das plantas (Zheng et al., 2012). Em algumas plantas medicinais e em batata o CCC e PBZ tem aumentado o rendimento (Farshad Ashraf et al., 2013; Bhattarai, 2017). Em dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) a aplicação de reguladores de crescimento de plantas alterou a morfologia e a fisiologia das plantas reduzindo em 59% a condutância estomática e elevando em 32% a taxa de transpiração, ao mesmo tempo em que houve redução do crescimento e aumento na produtividade de óleo (Rahman et al., 2016).

Em mandioca, Medina et al. (2012) aplicaram o CCC e PBZ com intuito de avaliar seu efeito em parâmetros de crescimento e produtividade. Estes autores observaram que a aplicação dos reguladores de crescimento reduziu a altura das plantas, o peso fresco da parte aérea e o número de raízes tuberosas por planta, mas houve aumento no teor de amido. Panyapruek et al. (2016) relataram que a aplicação de PBZ em mandioca reduziu a altura das plantas e o índice foliar, mas houve aumento do peso fresco de raiz. Por outro lado, Yang e Cao (2011), relataram que a aplicação de PBZ resultou em aumento na produtividade de raiz e



no teor de amido (105 e 36%, respectivamente) em relação ao controle. Portanto, existem exemplos de sucesso na aplicação e reguladores de crescimento em mandioca para atributos agronômicos.

Diante do exposto, a aplicação de reguladores de crescimento de plantas em mandioca com foco na indução do florescimento, tem sido pouco explorado, embora tenha enorme potencial para ser uma alternativa econômica e viável para promover maior florescimento. Desse modo, este trabalho teve como objetivo investigar o efeito de diferentes doses de reguladores de crescimento de plantas na indução floral e em seus atributos morfológicos e agronômicos em diferentes variedades de mandioca contrastantes para produção de flores.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Material vegetal e implantação dos experimentos**

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas (BA) (12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste, a 220 m de altitude), no período de novembro de 2014 a fevereiro de 2016. Para ambos os experimentos foram utilizadas quatro variedades de mandioca (BRS Kiriris, BRS Formosa, BRS Poti Branca e IAC-90) pertencentes ao programa de melhoramento genético da Embrapa. Essas variedades foram selecionadas em função da baixa taxa ou florescimento tardio.

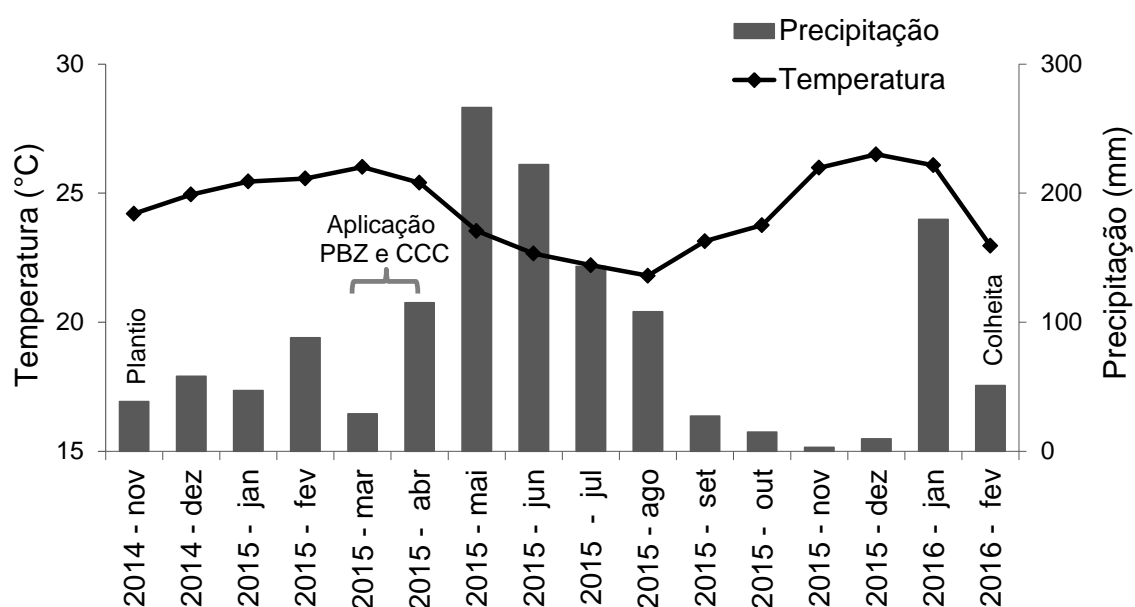
Para o plantio, foram utilizadas manivas-sementes com 20 cm de comprimento e média de oito gemas foliares, extraídas do terço médio de plantas com 12 meses de idade com boas condições fitossanitárias. O espaçamento de plantio foi de 0,90 m entre linhas e de 0,80 m entre plantas. Os tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações de Souza et al. (2006).

### **Condições climáticas durante a realização dos experimentos**

Os dados climáticos relativos às médias de precipitação pluvial, temperaturas máximas, mínimas e médias de cada mês foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura durante o período de avaliação da floração e caracteres agronômicos (Figura 1).

## Reguladores de crescimento

Os dois reguladores de crescimento de plantas foram aplicados três vezes, quinzenalmente a partir dos 120 dias após o plantio, de forma separada para cada experimento. No experimento para avaliar o CCC (Tuval com 10% de i.a.) foram utilizadas quatro doses (0, 75, 150 e 300 mg L<sup>-1</sup>), enquanto no experimento para avaliação do PBZ (Cultar 250 SC com 25% de i.a.) foram avaliadas quatro doses (0, 300, 450 e 600 mg planta<sup>-1</sup>) do produto. Ambos os produtos foram diluídos em água e a aplicação ocorreu ao entardecer (16:00 horas e temperatura média 25°C).



**Figura 1.** Precipitação pluvial (mm), temperatura média (°C), plantio, colheita e época de aplicação do paclobutrazol (PBZ) e cloreto de chlormequat (CCC) na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA, durante o período da coleta de dados sobre a influência dos reguladores de crescimento de plantas no florescimento e em atributos agrônômicos em mandioca (Novembro - 2014 a Fevereiro - 2016).

### Aplicação do Cloreto de Clormequat e Paclobutrazol

O CCC foi aplicado via foliar com auxílio de pulverizador costal com bico cônico, visando a obtenção de maior eficiência na distribuição do produto sobre a folhagem. A aplicação foi realizada em toda parte aérea das plantas, desde as folhas do ápice até as folhas basais. Por outro lado, a calda do PBZ foi aplicada

via solo na base do tronco, tendo o cuidado de se eliminar as ervas daninhas e folhagem para assegurar que o produto se depositasse onde havia maior concentração de raízes.

### **Delineamento experimental e avaliações agronômicas**

Os experimentos foram instalados sob o delineamento de blocos completos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 (variedades x doses do produto), com cinco repetições. As parcelas foram compostas por duas linhas com cinco plantas, totalizando dez plantas por parcela.

Aos 195 dias após o plantio, ou seja, 30 dias após a última aplicação dos reguladores de crescimento de plantas, foram avaliadas as seguintes características: 1) número de plantas com flores; 2) número de flores femininas (NFF) e masculinas (NFM) por planta. Para verificar o efeito dos reguladores de crescimento no desempenho agrônomo das plantas foi realizada a colheita manual das plantas aos 14 meses após o plantio, sendo avaliadas as seguintes características: altura da planta (AP, em m); produtividade da parte aérea (PPA, em t ha<sup>-1</sup>); produtividade de raízes (PR, em t ha<sup>-1</sup>); teor de matéria seca das raízes (MS, em % utilizando o método de Kawano et al., 1987); produtividade de amido (PAM, em t ha<sup>-1</sup>, considerando o teor de amido e a produtividade de raízes); índice de colheita (IC, em %, obtido pela razão entre a produtividade de raízes e a biomassa total da planta).

### **Análise dos dados**

Os dados de cada experimento foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e agrupados pelo teste de Scott-knott ao nível de 5% de probabilidade. A maioria das variáveis atendeu aos pressupostos da ANAVA, no entanto, apenas nas variáveis PR, PAM e PPA utilizou-se a transformação dos dados por meio do método de Box e Cox (Asar et al., 2017). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do pacote *easyanova* (Arnhold, 2013) implementado no programa R versão 3.2 (R Core Development Team, 2017).

## RESULTADOS

### ***Efeito do CCC no florescimento e nas características agronômicas***

A aplicação do regulador de crescimento de plantas CCC via foliar, em todas as dosagens avaliadas foi incapaz de aumentar o florescimento e também não provocou alterações morfológicas que precedem o florescimento em nenhuma planta das quatro variedades (Figura 2). As avaliações foram realizadas até 60 dias, período suficiente para indução de floração, tendo em vista que o florescimento em mandioca geralmente ocorre de 10-14 dias após a bifurcação das plantas (Jennings; Iglesias 2002).



**Figura 2.** Visão geral do ápice das quatro variedades de mandioca evidenciando a ausência de floração das plantas após a aplicação do Cloreto de Chlormequat na dose de 75 mg L<sup>-1</sup>. 1, 2, 3 e 4: variedades IAC-90, BRS Poti Branca, BRS Kiriris e BRS Formosa, respectivamente.

Por outro lado, o desempenho agronômico das plantas pulverizadas com CCC foi alterado para algumas características (Tabela 1). Diferenças significativas foram observadas para a fonte de variação “variedades”, enquanto que as diferentes dosagens do CCC aplicadas não provocaram alterações nos atributos agronômicos avaliados. Também não houve interação significativa entre variedade x dosagens do CCC para as características agronômicas.

Independente da aplicação do CCC, o potencial produtivo das variedades de mandioca variou de 11,9 t ha<sup>-1</sup> (IAC-90) a 33,5t ha<sup>-1</sup> (BRS Kiriris) de raízes frescas (Tabela 1). Embora a BRS Kiriris tenha sido a variedade mais produtiva, seu teor de matéria seca nas raízes foi baixo (25,57%) em comparação com a BRS Poti Branca (32,04%) e BRS Formosa (32,29%). Com isso, o ranking destas variedades em termos de produtividade de amido foi bastante alterado em relação

à produtividade de raízes frescas. As variedades BRS Kiriris, BRS Formosa e BRS Poti Branca apresentaram as maiores produtividades de amido (variação de 8,10 a 9,16 t ha<sup>-1</sup>), enquanto a IAC90 foi a menos responsiva para esta característica (3,61 t ha<sup>-1</sup>). Entretanto, as variedades BRS Formosa e BRS Poti Branca combinaram alta produtividade de raízes com maior teor de matéria seca nas raízes, enquanto a BRS Kiriris apresentou alta produtividade de amido, basicamente por ter apresentado alta produtividade de raízes.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância e médias de seis características agrônômicas avaliadas em plantas de quatro variedades de mandioca submetidas à aplicação de quatro doses de cloreto de chlormequat (0, 75, 150 e 300 mg L<sup>-1</sup>), colhidas aos 14 meses após plantio.

Fonte de variação	Quadrado médio					
	PR <sup>1</sup>	PAM	MS	PPA	AP	IC
Variedade	1758,97**	134,70**	204,95**	1290,04**	7,19**	402,11**
Dose	24,51 <sup>ns</sup>	2,317 <sup>ns</sup>	10,54 <sup>ns</sup>	141,73 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	108,01 <sup>ns</sup>
Variedade x Dose	43,25 <sup>ns</sup>	2,77 <sup>ns</sup>	8,21 <sup>ns</sup>	44,76 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	70,38 <sup>ns</sup>
Variedade						
BRS Poti Branca	24,95b <sup>2</sup>	8,10a	32,04a	26,92a	3,21a	48,17b
IAC-90	11,94c	3,61b	28,83b	8,98c	2,16b	57,67a
BRS Formosa	28,27b	9,16a	32,29a	20,41b	3,32a	57,68a
BRS Kiriris	33,46a	8,43a	25,57c	25,81a	3,52a	56,42a
Dose						
0	24,72a	7,26a	28,70a	22,41a	3,21a	56,91a
75	24,81a	6,82a	29,65a	20,38a	2,92a	56,83a
150	23,00a	7,45a	30,58a	21,98a	3,12a	52,96a
300	26,09a	7,75a	29,77a	21,41a	3,00a	52,19a
Média geral	25,90	7,69	29,73	21,55	3,05	54,69

<sup>1</sup>PR: produtividade de raízes (t ha<sup>-1</sup>), PPA: produtividade da parte aérea (t ha<sup>-1</sup>), PAM: produtividade de amido (t ha<sup>-1</sup>); MS: teor de matéria seca das raízes (%), IC: índice de colheita (%), AP: altura de planta (m); <sup>2</sup>médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento por meio do teste de Scott-Knott (p<0,05); ns, \* e \*\* : não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em termos de produtividade da parte aérea, as variedades BRS Kiriris e BRS Poti Branca foram as mais produtivas (>25,81 t ha<sup>-1</sup>) e também as

variedades com maior altura de plantas, juntamente com a BRS Formosa (>3,21 m). Com relação ao índice de colheita, as quatro variedades de mandioca foram bem parecidas, embora tenha havido ligeira superioridade da BRS Kiriris, BRS Formosa e IAC90 (56,42 a 57,68%), em comparação com a BRS Poti Branca (48,17%) (Tabela 1).

### ***Efeito do PBZ no florescimento e nas características agrônômicas***

De forma semelhante ao CCC o regulador de crescimento de plantas PBZ não induziu o florescimento e tampouco resultou em aumento no número de ramificações e alterações fisiológicas relacionadas à indução do florescimento (Figura 3). Esses resultados foram consistentes para as quatro doses do PBZ. Em termos agrônômicos, novamente observou-se comportamento diferenciados das variedades de mandioca para todas as características e ausência da interação entre variedades x dosagens do PBZ para a maioria delas, à exceção de teor de matéria seca nas raízes e altura das plantas (Tabela 2).



**Figura 3.** Visão geral do ápice apical das quatro variedades de mandioca evidenciando a ausência de floração nas plantas após a aplicação do Paclobutrazol na dose de  $600 \text{ mg planta}^{-1}$ . 1, 2, 3 e 4: variedades IAC-90, BRS Poti Branca, BRS Kiriris e BRS Formosa, respectivamente.

Neste experimento o ranqueamento das variedades de mandioca, independente da dosagem do PBZ, foi semelhante ao experimento com CCC, embora a variação na produtividade de raízes tenha sido menor ( $7,09 \text{ t ha}^{-1}$  para IAC-90 e  $25,77 \text{ t ha}^{-1}$  para a BRS Kiriris) (Tabela 2). O mesmo aconteceu para o teor de matéria seca nas raízes (variação de 27,36% na IAC90 a 31,21% na BRS Formosa) e consequentemente para produtividade de amido, na qual as variedades BRS Kiriris, BRS Formosa e BRS Poti Branca foram as mais

promissoras (variação de 5,39 a 6,81 t ha<sup>-1</sup>), enquanto a IAC90 apresentou a menor produtividade de amido (1,97 t ha<sup>-1</sup>). Em relação à produtividade da parte aérea e altura das plantas as variedades BRS Poti Branca, BRS Kiriris e BRS Formosa foram as mais produtivas (>16,19 t ha<sup>-1</sup>) e também as variedades com maior altura de plantas (>2,23 m). Com relação à partição da biomassa, a BRS Kiriris foi ligeiramente superior às demais por apresentar índice de colheita próximo a 60% (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância e médias de seis características agrônômicas avaliadas em plantas de quatro variedades de mandioca submetidas à aplicação de quatro doses de paclobutrazol (0, 300, 450 e 600 mg), avaliadas aos 14 meses após plantio.

Fonte de variação	Quadrado médio					
	PR <sup>1</sup>	PAM	MS	PPA	AP	IC
Variedade	1,10**	1,19**	112,91**	0,79**	4,03**	368,83*
Dose	0,43**	0,51**	41,82*	0,39**	7,30**	64,55 <sup>ns</sup>
Variedade x Dose	0,02 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	26,47*	0,04 <sup>ns</sup>	0,45*	0,83 <sup>ns</sup>
Variedade						
BRS Poti Branca	18,74b <sup>2</sup>	5,86a	30,88a	16,88a	2,29a	50,35b
IAC-90	7,09c	1,97b	27,36b	6,79b	1,47b	51,01b
BRS Formosa	16,94b	5,39a	31,21a	16,19a	2,23a	50,66b
BRS Kiriris	25,77a	6,81a	26,81b	18,28a	2,44a	59,53a
Dose						
0	26,11a	7,64a	29,58a	21,26a	2,97a	54,43a
300	14,01b	3,96b	27,27b	10,12c	2,02b	52,93a
450	12,62b	3,72b	28,80a	10,94c	1,92b	50,64a
600	15,81b	4,72b	30,62a	15,84b	1,56c	53,56a
Média geral	17,13	5,26	29,04	14,54	2,11	52,89

<sup>1</sup>PR: produtividade de raízes (t ha<sup>-1</sup>), PPA: produtividade da parte aérea (t ha<sup>-1</sup>), PAM: produtividade de amido (t ha<sup>-1</sup>); MS: teor de matéria seca das raízes (%), IC: índice de colheita (%), AP: altura de planta (m); <sup>2</sup>médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento por meio do teste de Scott-Knott (p<0,05); ns, \* e \*\* : não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

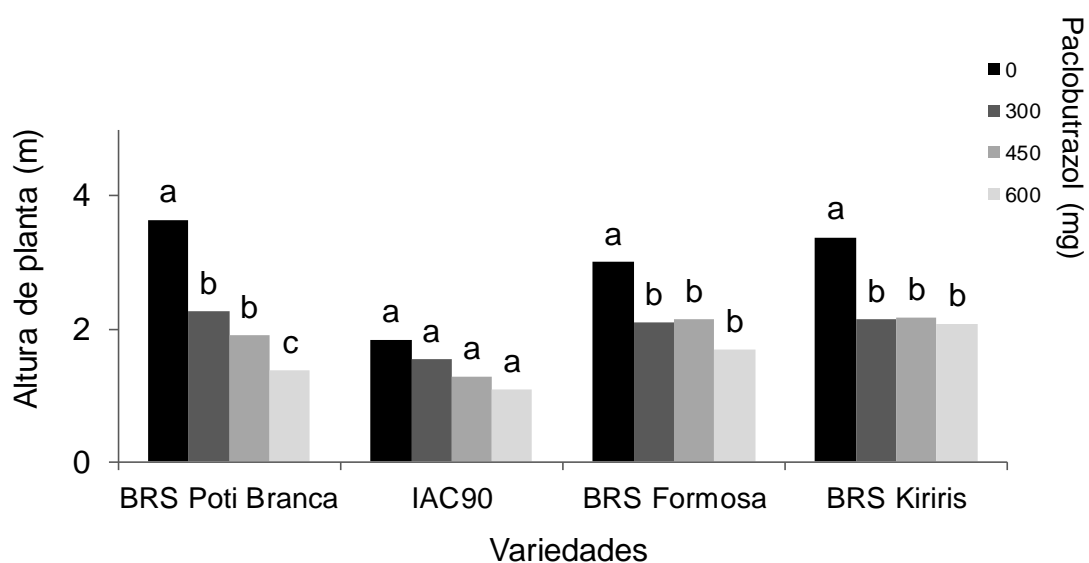
Embora o CCC e PBZ não tenham sido efetivos para indução de florescimento nas variedades de mandioca analisadas, diferentemente do CCC o

PBZ resultou em menor desempenho agrônômico para diversas características (Tabela 2). A produtividade de raízes foi bastante reduzida, de 26,11 para 14,15 t ha<sup>-1</sup> (média das três dosagens) o que representa uma perda de cerca de 46% para esta característica. A produtividade de amido e da parte aérea seguiu a mesma tendência, com redução de 46% na primeira característica (de 7,64 para 4,13 t ha<sup>-1</sup>, considerando a média das três dosagens) e de 42% na segunda (de 21,26 para 12,30 t ha<sup>-1</sup>, considerando a média das três dosagens). Para o índice de colheita, os valores foram pouco alterados e por isso não houve diferença quando se aplicou diferentes dosagens do PBZ.

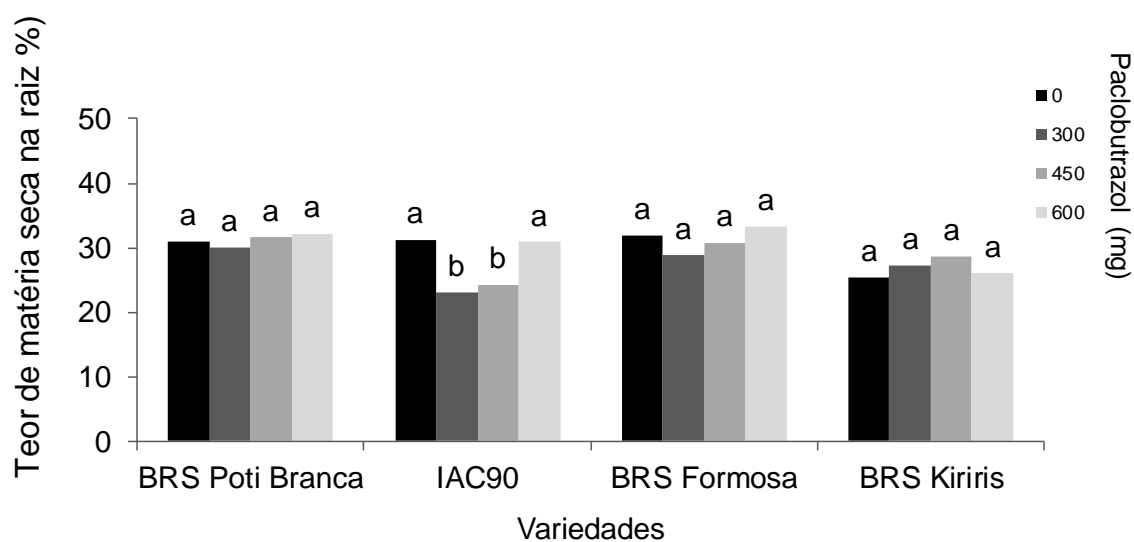
O teor de matéria seca nas raízes e a altura das plantas das variedades de mandioca foram influenciados de forma diferenciada em função da dosagem do PBZ aplicada (Figuras 4 e 5). De modo geral, a aplicação do PBZ resultou na redução da altura das plantas, embora esta redução tenha sido menos drástica na variedade IAC90, sobretudo nas dosagens de 300 e 450 mg planta<sup>-1</sup> (Figura 4). Nas variedades BRS Poti Branca e IAC90 houve uma redução linear da altura das plantas em função do aumento na dosagem do PBZ, enquanto que nas variedades BRS Formosa e BRS Kiriris, a aplicação do PBZ nas doses de 300, 450 e 600 mg planta<sup>-1</sup> apresentou praticamente o mesmo efeito na redução da altura das plantas.

A variedade IAC-90 apresentou redução no teor de matéria seca das raízes quando submetidas à aplicação de PBZ nas doses de 100 e 150 mg planta<sup>-1</sup>, mas a dosagem de 200 mg planta<sup>-1</sup> não diferiu do controle (Figura 5). No entanto, nas outras três variedades de mandioca, a aplicação do PBZ não influenciou no teor de matéria seca das plantas, de modo que esta característica não diferiu das plantas sem tratamento com o regulador de crescimento.





**Figura 4.** Dedobramento da interação entre variedades de mandioca x doses de paclobutrazol (0, 300, 450 e 600 mg), para a característica altura de plantas (m) avaliada aos 14 meses após plantio.



**Figura 5.** Dedobramento da interação entre variedades de mandioca x doses de paclobutrazol (0, 300, 450 e 600 mg) para a característica teor de matéria seca das raízes (%) avaliada aos 14 meses após plantio.

## DISCUSSÃO

### CCC e PBZ no florescimento na mandioca

Os reguladores de crescimento de plantas CCC e PBZ têm sido utilizados em diversas culturas, principalmente para a indução de florescimento em diversas espécies vegetais, como uma estratégia para possibilitar a realização de hibridações em programas de melhoramento genético convencional, ou mesmo para indução de flores como métodos para aumento de produtividade de fruteiras ou cereais (Ceballos et al., 2017; Rademacher; Bucci, 2002; King; Evans, 2003). Entretanto, o uso do CCC para indução do florescimento em mandioca não promoveu alteração morfológica que indicasse a possibilidade de iniciação do florescimento, a exemplo da bifurcação das hastes. Resultado semelhante foi observado na espécie ornamental íris negra (*Iris nigricans* Dinsm) em que a aplicação do CCC não afetou o crescimento ou seu florescimento (Al-khassawneh et al., 2006).

O CCC tem como principal modo de ação a inibição do alongamento celular com o bloqueio da primeira etapa da biossíntese de giberelina impedindo que o GGPP (Geranyl Geranyl difosfato) seja convertido a ent-caureno (Rademacher, 2000). Quando aplicados em dosagens ajustadas o CCC promoveu a redução no comprimento do caule do trigo (*Triticum* spp), redução no crescimento vegetativo do algodão (*Gossypium* L) (Sponsel; Hedden, 2010) além de promover o florescimento na cultura da pereira (*Pyrus communis* L.) (Theron et al., 1998).

A inexistência de efeitos do CCC na mandioca pode estar relacionada a diversos fatores, dentre os quais pode-se destacar: 1) a baixa dosagem utilizada, tendo em vista que em culturas como pinus e manga, dosagens acima de 300 e 500 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, promoveram efeitos significativos no florescimento das plantas (Biles; Cothren, 2001; Zhao et al., 2011). Assim, o aumento da dose aplicada de CCC com concentrações acima de 300 mg L<sup>-1</sup>, devem ser avaliadas no futuro para obtenção de resultados positivos na indução floral em mandioca; e 2) a rápida evaporação do produto pulverizado, e conseqüente baixa absorção pelas folhas em função da falta de uma superfície molhada. Portanto, novos

métodos de aplicação deste regulador de crescimento devem ser aprimorados visando maior permanência do produto no limbo foliar.

Outro regulador de crescimento de planta utilizado para induzir o florescimento em plantas de mandioca é o PBZ, que reduz o tamanho das folhas, aumenta a concentração de clorofila e das atividades das enzimas antioxidantes (Menzel; Lagadec, 2017). O PBZ age na segunda etapa da biossíntese da giberelina impedindo que ocorra as reações de oxidação de ent-caureno à ácido ent-caurenóico (Rademacher, 2000). Em outras palavras, o PBZ reduz o crescimento vegetativo e aumenta a relação entre o promotor do florescimento e o promotor do crescimento vegetativo, o que estimula a formação dos brotos florais em diversas espécies frutíferas (Yeshitela et al., 2004). A aplicação do PBZ na base do caule da mangueira (*Mangifera indica* L.) (Pérez-Barraza et al., 2011; Husen et al., 2012) tem sido bastante eficiente para a indução do florescimento. Por outro lado, a aplicação do PBZ não foi eficaz na indução do florescimento em mandioca.

### **Efeito do CCC e PBZ em características da parte aérea da mandioca**

De modo geral, os dois reguladores de crescimento de plantas (CCC e PBZ) possuem modos de ação fisiológica distintas. Porém, do ponto de vista fenotípico eles tendem a reduzir o alongamento do caule, resultando em plantas de menor estatura e compactas, com folhagem verde escura (Hopkins; Huner 2004). Apesar dos relatos em outras espécies de que o CCC e PBZ atuam de forma semelhante na alteração dos fenótipos das plantas, seu efeito nas variedades de mandioca avaliadas foi bastante diferenciado. Uma possível hipótese para explicar isso, pode ser o uso de diferentes dosagens e formas de aplicação, tendo em vista que no caso do PBZ a aplicação ocorreu via solo e o CCC via foliar, de acordo com as orientações do fabricante para uma ação mais eficiente dos produtos.

Como o CCC tende a reduzir a parte aérea das plantas, esperava-se que houvesse algum efeito das diferentes dosagens deste fitoregulador em características como produtividade da parte aérea e altura de plantas. Entretanto, as doses de CCC não proporcionaram diferenças significativas nestas características para nenhuma variedade de mandioca. É possível que análises

futuras com dosagens mais elevadas destes reguladores de crescimento de plantas possam trazer alguma alteração positiva na indução do florescimento em mandioca. Por outro lado, o regulador de crescimento PBZ reduziu a produtividade da parte aérea e a altura das plantas de mandioca, embora a dosagem mais elevada de PBZ (600 mg) proporcionou uma menor redução na produtividade da parte aérea em comparação com as demais dosagens (300 e 450 mg) indicando haver um efeito inibitório em dosagens menores e uma tendência de neutralização dos efeitos do PBZ em doses mais elevadas.

O PBZ reduziu significativamente (34 a 47%, em comparação ao controle) a altura da planta em todas as dosagens utilizadas. Para esta característica a aplicação de PBZ na dose 600 mg inibiu com maior intensidade a altura das plantas em relação as dosagens de 300 e 450 mg. Resultados semelhantes foram descritos por Yang e Cao (2011), Medina et al. (2012) e Panyapruerk et al. (2016) na cultura da mandioca. Além da redução na altura das plantas, também há um encurtamento no comprimento entre os internódios (Pinto et al., 2005), o que é condizente com o modo de ação deste regulador de crescimento de planta. Além disso, as dosagens do PBZ apresentaram interação significativa com a altura das plantas em todas as variedades (BRS Poti Branca, BRS Formosa, IAC-90, BRS Kiriris), indicando a possibilidade de realização de manejo fitotécnico da altura das plantas de mandioca. Isso seria especialmente importante no processo de hibridação entre genitores de mandioca, na qual a redução no tamanho das plantas poderia facilitar a proteção e a polinização das plantas.

Outro aspecto importante a ser observado é que existe uma grande dificuldade na otimização da dosagem de reguladores de crescimento de plantas em condições de campo (Athayde; Lamas, 1999), sobretudo devido a condições ambientais de difícil controle como a ocorrência de diversos estresses abióticos. De fato, alguns autores têm demonstrado que o efeito do PBZ na indução do florescimento pode ser dependente da temperatura. De acordo com Cruz et al. (2008), o PBZ foi capaz de aumentar o florescimento e frutificação de limeira ácida Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka), quando as plantas foram cultivadas em casa de vegetação com 19°C de temperatura. Por outro lado, quando as plantas foram cultivadas em câmara de crescimento com temperatura de 25°C não houve efeito da aplicação do PBZ na indução floral. Em outro estudo com mandioca, Medina et

al. (2012), relataram aumento no teor de matéria seca nas raízes quando as plantas foram cultivadas em temperatura média de 21,5° associado à aplicação do CCC nas dosagens de 45 e 90 mg.

Como a temperatura média nos meses de aplicação do CCC (Março a Abril de 2015) nos experimentos de mandioca variou de 25° a 26°C (com picos de 27,3°C), é possível especular que estas temperaturas tenham sido elevadas a ponto de anular o efeito do CCC na alteração das características produtividade da parte aérea e altura de plantas. Outro aspecto importante a considerar foi a ocorrência de 29 mm de precipitação em março de 2015, período em que foram realizadas duas aplicações dos reguladores de crescimento de plantas, enquanto a última aplicação foi realizada em abril de 2015, mês em que foi registrado acúmulo de 115 mm de chuva. Esta precipitação pode ter lixiviado o CCC nas folhas da mandioca, de modo que a absorção tenha sido prejudicada.

#### **Efeito do CCC e PBZ em caracteres da raiz e índice de colheita**

Assim como observado para as características relacionadas à parte aérea, a aplicação do CCC não influenciou na expressão das características: teor de matéria seca nas raízes, produtividade de raízes e amido. Por outro lado, de acordo com Medina et al. (2012) as dosagens de 45 e 90 mg de CCC aplicadas de forma foliar (pulverização) na variedade “Rocha” de mandioca, resultou em aumento no teor de matéria seca das raízes, porém não houve alteração na produtividade de raízes.

De forma contrastante ao CCC, a aplicação de PBZ nas dosagens de 100, 150 e 200 mg reduziram em aproximadamente 47, 52 e 39% a produtividade de raízes, respectivamente. Outros autores identificaram reduções de 29 e 32% na produtividade de raízes quando se utilizou 45 e 90 mg de PBZ, respectivamente (Medina et al., 2012). Em contraste, Panyapruet et al. (2016) relataram que a aplicação de baixas concentrações de PBZ (10, 20 e 30 mg) foram capazes de aumentar a produtividade de raízes em relação ao controle (67%). Entretanto, de modo geral, a maioria dos estudos sobre o uso do PBZ em características agrônômicas demonstram menor performance dos genótipos. Alguns autores, inclusive tem sugerido que para culturas cujo produto principal seja as raízes ou tubérculos, o uso do PBZ deve ser evitado (Tekalign; Hammes et al., 2006).

Obviamente esta recomendação se refere a sistemas agrícolas que tenham como objetivo final a exploração comercial das raízes e tubérculos, não devendo ser aplicada a atividades de pesquisa e melhoramento genético, com intuito de melhoria no florescimento de genótipos específicos.

O teor de matéria seca na raiz foi reduzido apenas na dosagem de 300 mg de PBZ, não sendo observado diferença significativa em relação às demais dosagens. Em contraste, na cultura da batata, Tsegaw e Hammes (2005) relataram que o PBZ aumentou o teor de matéria seca das raízes em relação aos controles quando se utilizou dosagens de 45, 68 e 90 mg por planta. Portanto, embora independente da espécie, o efeito do PBZ esteja relacionado à inibição da biossíntese das giberelinas, aparentemente o efeito deste regulador de crescimento de planta é variável em função da espécie e da dosagem, tendo em vista que dosagens semelhantes (90-100 mg de PBZ) tenham gerado resultados completamente adversos na mandioca e na batata. Esta afirmação pode ser evidenciada, por outros trabalhos na qual doses menores de PBZ (10, 20 e 30 mg) inibiram a altura das plantas e o índice da área foliar, porém aumentou a produtividade de tubérculos e o teor de amido em comparação ao controle (Panyapruek et al., 2016).

Como o PBZ reduziu a produtividade da parte aérea e a produtividade de raízes de maneira semelhante, não houve portanto, alteração significativa no índice de colheita. Por outro lado, Medina et al. (2012) relataram que a aplicação do CCC em altas dosagens (90 mg) reduziu o crescimento vegetativo de forma mais acentuada do que a produtividade de raízes e com isso, houve aumento nos valores do índice de colheita. De acordo com Yuan et al. (2010) embora a aplicação do uso do PBZ em mandioca tenha restringido o crescimento da parte aérea, houve um aumento no índice de colheita quando se utilizou altas concentração do regulador de crescimento de planta (500 e 750 mg L<sup>-1</sup>). Certamente, diferentes condições climáticas presentes nos locais de realização destes dois experimentos (Corrientes na Argentina com temperatura média de 21,5°C e Jiangxi na China 18,0°C), além das diferenças nas dosagens do CCC podem ter contribuído para a obtenção destes resultados contrastantes. Portanto, estes efeitos variáveis no uso de reguladores de crescimento em plantas devem

ser bem estudados, considerando as peculiaridades das condições locais de cultivo que se pretende utilizar estes produtos.

### **Perspectivas de uso de reguladores de crescimento em mandioca**

A melhoria da produtividade e da qualidade de mandioca é um dos objetivos constantes dos programas de melhoramento da cultura. No entanto, a produção de flores em mandioca representa um obstáculo devido à falta de sincronia no florescimento, florescimento tardio, baixa longevidade das flores e até a falta de flores. Diversos esforços visando elevar o florescimento na reprodução da mandioca, têm sido realizados com objetivo de buscar diferentes métodos ou ferramentas para induzir o florescimento na cultura da mandioca de forma profusa e precoce com o uso de ferramentas como: enxertia; modulação do fotoperíodo ou aplicação de reguladores de crescimento de plantas (Ceballos; Hershey, 2017). Atualmente, existem esforços na tentativa de utilizar reguladores de crescimento de plantas na indução do florescimento em variedades de mandioca com hábito de crescimento ereto (Ceballos; Hershey 2017). Pesquisas futuras serão necessárias para avaliar diferentes dosagens destes reguladores, assim como outras variedades e/ou mesmo épocas de aplicação. Ceballos et al. (2017) relataram que a busca por estratégias que elevem o florescimento na mandioca pode otimizar as rotinas de hibridação em campos de cruzamento, reduzir custos e tempo envolvido nessa operação, além de acelerar o ciclo de seleção e dinamizar os processos de seleção genômica. Portanto, ainda é preciso investir na investigação do efeito funcional e prático do processo da indução floral por meio da aplicação de reguladores de crescimento em mandioca.

Outra aplicação dos reguladores de crescimento em plantas de mandioca é na melhoria dos parâmetros produtivos. Medina et al. (2012) e Gomathinayagam et al. (2007) indicaram que a utilização destes reguladores pode aumentar o teor de amido e conseqüentemente a lucratividade da cultura. entretanto, no presente estudo a aplicação de CCC visando a melhoria das características agrônômica em mandioca nas dosagens utilizadas não trouxe efeitos positivos para nenhuma característica agrônômica. Possivelmente, a redução da concentração do regulador de crescimento, assim como a análise de diferentes variedades e épocas do ano possam aumentar a eficiência da sua ação.

Apesar das diferentes dosagens do PBZ não terem proporcionado alterações significativas nas diversas características agronômicas, houveram modificações significativas no crescimento da parte aérea da mandioca. Estes resultados indicam a possibilidade de otimizar o uso da cultura da mandioca em consorciação com outras espécies por um período maior (Medina et al., 2012). Portanto, os reguladores de crescimento de plantas podem proporcionar novas oportunidades para a melhoria do desempenho da mandioca em campo contornando dificuldades impostas pela genética e pelas condições ambientais.

## CONCLUSÃO

A aplicação do CCC em plantas de mandioca não influencia diretamente no desempenho das plantas considerando características relacionadas à parte aérea ou raízes. No entanto, as aplicações do PBZ tendem a reduzir significativamente o rendimento das características da parte aérea e de raízes, com exceção apenas o índice de colheita que não foi influenciado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEMO, O.S.; CHAVARRIAGA, P.; TOHME, J.; FREGENE, M.; DAVIS, S.J.; SETTER, T.L. Overexpression of *Arabidopsis* FLOWERING LOCUS T (FT) gene improves floral development in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **PlosOne**, v.12, n. 7, p.e0181460, 2017.

AL-KHASSAWNEH, N.M.; KARAM, N.S.; SHIBLI, R.A. Growth and flowering of black iris (*Iris nigricans* Dinsm.) following treatment with plant growth regulators. **Scientia Horticulturae**, v.107, n. 2, p. 187-193, 2006.

ALMEIDA, A. Q. de; ROSOLEM, C. A. Cotton root and shoot growth as affected by application of mepiquat chloride to cotton seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 61-65, 2012.



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 agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p. 455-491, 2006.

ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 6, p. 488-492, 2013.

ASAR, Ö.; ILK, O.; DAG, O. Estimating Box-Cox power transformation parameter via goodness-of-fit tests. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, v. 46, n. 1, p. 91-105, 2017.

ATHAYDE, M. L. F.; LAMAS, F. M. Aplicação seqüencial de cloreto de mepiquat em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 369-375, 1999.

BHATTARAI, P. Effects of plant growth regulators on growth and yield of pre-basic seed potato production under glasshouse condition. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 15, n. 1, p. 149-160, 2017.

BILES, S. P.; COTHREN, J. T. Flowering and yield response of cotton to application of mepiquat chloride and PGR-IV. **Crop Science**, v.41, n.6, p. 1834-1837, 2001.

CEBALLOS, H.; HERSHEY, C. H. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In: **Genetic Improvement of Tropical Crops**. Springer, Cham, p. 129-180, 2017.

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.

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 Crop Science**. v. 9, p.19–29, 2017.

CRUZ, M. C. M.; SIQUEIRA, D.L.D.; SALOMÃO, L.C.C.; CECON, P.R. Influência do paclobutrazol e da temperatura ambiente sobre o florescimento e frutificação da limeira ácida 'tahiti'. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n. 4, p. 1148-1153, 2008.

EL-SHARKAWY, M.A.; DE TAFUR, S. M. Comparative photosynthesis, growth, productivity, and nutrient use efficiency among tall-and short-stemmed rain-fed cassava cultivars. **Photosynthetica**, v.48, n. 2, p. 173-188, 2010.

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: Jul. 2018.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Outlook. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-l8080e.pdf> Acesso em: Julho de 2018.

FARSHAD ASHRAF, M.; ABD AZIZ, M.; ABDUL KADIR, M.; STANSLAS, J., FAROKHIAN, E. In vitro tuberization of *Chlorophytum borivillianum* Sant & Fern (*Safed musli*) as influenced by sucrose, CCC and culture systems. **Plant and Cell Physiology**, v. 54, n. 8, p. 1356-1364, 2013.

GOMATHINAYAGAM, M.; JALEEL, C. A.; LAKSHMANAN, G. A.; PANNEERSELVAM, R. Changes in carbohydrate metabolism by triazole growth regulators in cassava (*Manihot esculenta* Crantz); effects on tuber production and quality. **Comptes Rendus Biologies**, v. 330, n. 9, p. 644-655, 2007.

HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. **Introduction to plant physiology**. 2004.

HUSEN, S.; KUSWANTO, S.A.; BASUKI, N. Induction of flowering and yield of mango hybrids using Paclobutrazol. **Journal of Agriculture and Food Technology**, v. 2, p. 153-8, 2012.

JENNINGS, D. L.; IGLESIAS, C. Breeding for crop improvement. **Cassava: Biology, production and utilization**, p. 149-166, 2002.

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.

KING, R. W.; EVANS, L. T. Gibberellins and flowering of grasses and cereals: prizing open the lid of the "florigen" black box. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, n. 1, p. 307-328, 2003.

KRISHNA, G.V.; BHAGWAN, A.; KUMAR, M.R.; SHANKAR, A.S. Effect of flower enhancing plant growth regulators and fruit set improving chemicals on vegetative growth, early flower initiation and fruit yield of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Banganpalli. **International Journal of Pure Applied Bioscience**, v.5, n. 3, p. 667-677, 2017.

MEDINA, R.; BURGOS, A.; DIFRANCO, V.; MROGINSKI, L.; & CENÓZ, P. Effects of chlorocholine chloride and Paclobutrazol on cassava (*Manihot esculenta* Crantz cv. Rocha) plant growth and tuberous root quality. **Agriscientia**, v. 29, n. 1, p. 51-58, 2012.

MEIJÓN, M.; RODRÍGUEZ, R.; CAÑAL, M. J.; FEITO, I. Improvement of compactness and floral quality in azalea by means of application of plant growth regulators. **Scientia Horticulturae**, v.119, n. 2, p. 169-176, 2009.

MENZEL, C.M.; LE LAGADEC, M.D. Can the productivity of mango orchards be increased by using high-density plantings?. **Scientia Horticulturae**, v.219, p.222-263, 2017.

MOREIRA, R.A.; FERNANDES, D.R.; CRUZ, M.C.M.; LIMA, J.E.; OLIVEIRA, A.F. Water restriction, girdling and paclobutrazol on flowering and production of olive cultivars. **Scientia Horticulturae**, v.200, p. 197–204, 2016.

OLIVEIRA, H.T.B.; EDUARDO, C.P.; MENDONÇA, V.; SILVA, R.M.; LEITE, G.A.; DANTAS, L.L.G.R. Produção e qualidade de frutos de mangueira “Tommy Aktins” sob doses de Paclobutrazol. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.10, n.3, p.89-92, 2014.

PANYAPRUEK. S.; SINSIRI, W.; SINSIRI, N.; ARIMATSU, P.; POLTHANEE, A. Effect of paclobutrazol growth regulator on tuber production and starch quality of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Asian Journal of Plant Sciences**, v.15, p. 1-7, 2016.

PASSAM, H.C.; KOUTRI, A.C.; KARAPANOS, I.C. The effect of chlormequat chloride (CCC) application at the bolting stage on the flowering and seed production of lettuce plants previously treated with water or gibberellic acid (GA 3). **Scientia horticulturae**, v. 116, n. 2, p. 117-121, 2008.

PÉREZ-BARRAZA, M.H.; OSUNA-GARCÍA, J.A.; SÁNCHEZ-LUCIO, R.; VÁZQUEZ-VALDIVIA, V. El Paclobutrazol como promotor de la floración en mango 'manila', aún sin condiciones ambientales inductivas. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v. 17, n. 1, p. 47-52, 2011.

PINTO, A.C.R.; RODRIGUES, T.D.D.; LEITE, I.C.; BARBOSA, J.C. Growth retardants on development and ornamental quality of potted 'Lilliput' *Zinnia elegans* Jacq. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 4, p. 337-345, 2005.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 1.0.4. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Available from: <http://www.R-project.org>; 2017.

RADEMACHER, W. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. **Acta Horticulturae**, v.653, p. 29-32, 2004.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual review of plant biology**, v.51, n.1, p. 501-531, 2000.

RADEMACHER, W.; BUCCI, T. New plant growth regulators: High risk investment?. **HortTechnology**, v. 12, n. 1, p. 64-67, 2002.

RAHMAN, M.N.H.A.; SHAHARUDDIN, N.A.; WAHAB, N.A.; WAHAB, P.E.M.; ABDULLAH, M.O.; ABDULLAH, N.A.P.; RAMLI, Z. Impact of Paclobutrazol on the growth and development of nursery grown clonal oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Journal of Oil Palm Research**, v. 28, n. 4, p. 404-414, 2016.

RANGANNA, G.; VENKATARAMANA, K. T.; MUKUNDALAKSHMI, L.; SWARAJYALAKSHMI, K.; SUDHAKAR, P. Effect of plant growth regulators on yield and quality parameters of summer crop in acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) cv. Balaji. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 6, p. 2193-2199, 2017.

SAYRE, R.; BEECHING, J.R.; CAHOON, E.B.; EGESI, C.; FAUQUET, C.; FELLMAN, J.; MAZIYA-DIXON, B. The biocassava plus program: biofortification of cassava for Sub-Saharan Africa. **Annual Review of Plant Biology**, v.62, p. 251–272, 2011.

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 agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p.70-214, 2006.

SPONSEL, V. M.; HEDDEN, P. Gibberellin biosynthesis and inactivation. In: **Plant Hormones**. Springer, Dordrecht, p. 63-94, 2010.

TEKALIGN, T.; HAMMES, P.S. The effect of MCPA and Paclobutrazol on flowering, berry set, biomass production, tuber yield and quality of potato. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 23, n. 2, p. 126-131, 2006.

THERON, K.Y.; DU PLESSIS, P.; GRIESSEL, H.M. Effect of autumn application of chlormequat on reproductive bud development, fruit set and production of the pear cv Dyenne du Comice. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.475, p.251-264, 1998.

TSEGAW, T.; HAMMES, P. Growth responses of potato (*Solanum tuberosum*) grown in a hot tropical lowland to applied paclobutrazol: 2. Tuber attributes. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 33, p. 43-51, 2005.

YANG, Q.S.; CAO, X.H. Effects of CPPU and Paclobutrazol on yield increase in cassava. **Journal of Southern Agriculture**, v. 42, n. 6, p. 594-598, 2011.

YESHITELA, T.; ROBBERTSE, P. J.; STASSEN, P. J. C. Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of 'Tommy Atkins' mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 32, n. 3, p. 281-293, 2004.

YUAN, Z.Q.; LIU, R.G.; WANG, R.Q.; XIAO, Y.P.; LIN, H.X. Effects of spraying paclobutrazol solution on yield and growth of Cassava [J]. **Guangdong Agricultural Sciences**, v. 2, p. 13-14, 2010.

ZHAO, P., FAN, J.F., ZHANG, S.X., HUANG, Z.L., YANG, P.H., MA, Z.H., WOESTE, K.E. Effects of gibberellin A 4/7, 6-benzylaminopurine and chlormequat chloride on the number of male and female strobili and immature cones in Chinese Pine (*Pinus tabuliformis*) with foliar sprays. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 3, p. 353-359, 2011.

ZHENG, R.; WU, Y.; XIA, Y. Chlorocholine chloride and paclobutrazol treatments promote carbohydrate accumulation in bulbs of *Lilium* Oriental hybrids 'Sorbonne'. **Journal of Zhejiang University**, v. 13, n. 2, p. 136-144, 2012.

## **ARTIGO 3**

# **DIVERSIDADE FENOLÓGICA DE FLORESCIMENTO E FRUTIFICAÇÃO NO GERMOPLASMA DE MANDIOCA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser submetido ao Comitê Editorial da revista Scientia Horticulturae.



## **Diversidade fenológica de florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca**

**RESUMO:** A carência de estudos sobre a influência dos fatores ambientais no florescimento de mandioca é um fator complicador para geração de variedades melhoradas. Este trabalho objetivou correlacionar o florescimento e a frutificação no germoplasma de mandioca com variáveis ambientais, bem como classificar os acessos com base nas características de florescimento. 1032 acessos de mandioca foram avaliados mensalmente (do 3º ao 12º mês após o plantio, e de 966 a 4481 graus dias acumulado – GDA) para incidência de floração e frutificação. As avaliações foram realizadas com uso de uma escala de notas (0: ausência a 3: floração completa). Além disso, outras duas variáveis foram analisadas: a) nota média de floração (NM), considerando a média das avaliações mensais; e b) nota ponderada pela floração precoce (NP) cujos maiores pesos foram atribuídos aos genótipos com florescimento precoce. Os dados foram correlacionados com informações climáticas: precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa (%) e fotoperíodo (h). Os genótipos foram agrupados com base na análise de componentes principais (ACP). Para a maioria do germoplasma de mandioca, o período de maior florescimento ocorreu durante o maior fotoperíodo (outubro a novembro). Houve correlação positiva e significativa entre o fotoperíodo e os grupos G5 (0,73) e G6 (0,79) bem como a precipitação com o grupo G6 (-0,65). De modo geral, a ACP agrupou os genótipos com base nas seguintes características: a) florescimento precoce (8,5% dos acessos), G4; b) florescimento praticamente contínuo à partir de 2036 GDA (0,60% dos acessos), G6; e c) genótipos que praticamente não floresceram (54% dos acessos), G7. Este estudo demonstrou que: 1) as variáveis fotoperíodo, precipitação e temperatura foram as mais importantes para explicar o florescimento de um grande número de genótipos de mandioca; 2) os genótipos pertencentes ao G6 são fontes de material básico para estudos genômicos mais avançados para o entendimento do florescimento da mandioca.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz; Análise multivariada; flores; graus dias.

## Phenological diversity of flowering and fruiting in cassava germplasm

**ABSTRACT:** The lack of studies on the influence of environmental factors on the performance of flowering of cassava varieties has limited the use of this characteristic to minimize the problem of low parents flowering rate. The objective of this work was to verify the correlation between flowering and fruiting in the Embrapa's cassava genebank and environmental variables, as well as to group accessions based on flowering performance. In order to identify the incidence of flowering and fruiting in different periods, 1032 genotypes of the genebank were evaluated with monthly observations of 8 plants per genotype (3 to 12 months after planting, from 966 to 4481 degrees days accumulated-DDA). Four scores were used for flowering evaluations, ranging from 0 (absence) to 3 (full flowering). At the end of the flowering evaluations the scores obtained were correlated with the climatic data: rainfall (mm), air temperature (°C), air relative humidity (%) and photoperiod (h). Monthly flowering scores were used to group cassava genotypes based on principal component analysis (PCA). The number of groups was defined by the K-means method. In addition, the following characteristics were obtained: a) the average flowering score (NM), considering the monthly evaluation of flowering after; and b) the weighted score for early flowering (NP), which takes into account larger weights for the early flowering genotypes. This is the first report of phenological diversity of flowering and fruiting in cassava germplasm. The PCA analysis allowed the identification of 7 groups; some groups with very contrasting characteristics: a) early flowering (8.5% of the genotypes, G4); b) consistent flowering after 2036 DDA (0.6% of the genotypes), G6; c) genotypes that virtually do not flower (54% of the genotypes), G7. For most of the cassava genebank, located in Cruz das Almas-BA, flowering occurred during the largest photoperiod (October to November). For this climatic variable, there was a significant correlation between G5 (0.73) and G6 (0.79) and also precipitation with the G6 group (-0.65). This study demonstrated that: 1) the variables photoperiod, rainfall and temperature were the most important to explain the flowering of a great number of cassava genotypes 2) genotypes belonging to G6 are very interesting for breeding programs and genomic studies.

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz; Multivariate analysis; degree-day

## Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é originária das Américas (Rogers; Appan, 1973), supostamente do Brasil (Allem, 1994; 2002). As áreas cultivadas com esta espécie ocupam uma extensa faixa do globo terrestre, que se estende desde 30° de latitude norte a 30° de latitude sul. Essa ampla adaptação de cultivo permite que ela seja um dos principais alimentos energéticos para cerca de 750 milhões de pessoas, sobretudo na África e nos países em desenvolvimento (CIAT, 2015). O continente que mais produz mandioca é a África, com 54,4% da produção mundial, seguida da Ásia com 34,5%, Américas com 11% e Oceania com 0,1%. Os países que mais produzem mandioca são Nigéria, Tailândia, Indonésia e Brasil (FAO, 2016). No Brasil, sua produção em 2017 foi estimada em pouco mais de 20 milhões de toneladas, com produtividade média de 14,64 t.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2017), que é muito aquém do potencial produtivo da cultura estimado em 79,03 t.ha<sup>-1</sup> sob condição experimental (Oliveira et al., 2012).

A obtenção de máxima produtividade de raízes está associada diretamente à tecnologia de produção empregada pelos agricultores, sobretudo pela melhoria nos tratamentos culturais e uso de variedades melhoradas. Entretanto, no Brasil, o uso de variedades melhoradas tem sido o principal insumo agrícola adotado pelos agricultores, sobretudo aqueles menos tecnificados. Por outro lado, mesmo com os avanços da pesquisa em relação ao aumento da produtividade de raízes, da resistência a pragas e doenças, e da qualidade culinária (Ceballos; Hershey, 2017), ainda existem alguns entraves importantes no melhoramento genético da mandioca relacionados à ausência do florescimento ou falta de sincronismo entre parentais selecionados para cruzamentos (Ceballos et al., 2017), o que dificulta os processos de hibridação. Estudos sobre a dinâmica do florescimento em mandioca pode facilitar o trabalho dos melhoristas na identificação de genótipos mais promissores para geração de grandes populações segregantes para o melhoramento convencional, mapeamento de genes, estudos funcionais e genômicos de características específicas. Apesar de já existirem alguns estudos referentes à biologia reprodutiva da mandioca (Silva et al., 2001), ainda não se sabe exatamente quais fatores determinam os picos de floração e frutificação nesta espécie.

Desde a década de 70, diversas pesquisas têm sido realizadas com intuito de entender os mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos relacionados ao florescimento da mandioca (Ceballos et al., 2017). Os resultados evidenciam que as alterações morfológicas na estrutura da planta, como a ramificação das hastes, estão intimamente relacionadas com a floração (Ceballos et al., 2017). A influência de variáveis climáticas também tem sido objeto de estudo. Alguns fatores ambientais como a umidade do solo e temperatura do ar podem induzir a produção de flores e frutos (Ravi; Ravindran, 2006).

Atualmente não há relatos de estudos abrangendo uma grande quantidade de genótipos no intuito de entender a relação de fatores climáticos com o florescimento em painéis de alta diversidade genética em mandioca. Por outro lado, sabe-se que existe uma grande diversidade genética no germoplasma de mandioca do Brasil para características morfoagronômicas (Oliveira et al., 2014).

O restrito conhecimento sobre os fatores ambientais e a variação genética que influencia no florescimento da mandioca são elementos limitantes para maior uso dos recursos genéticos da espécie e conseqüentemente para obtenção de ganhos de produtividade, aumento da resistência genética a fatores bióticos e maior tolerância a estresses ambientais. Isso ocorre porque frequentemente os melhoristas não conseguem transferir alelos úteis presentes em variedades elite por não apresentarem florescimento.

Este trabalho teve como principais objetivos o entendimento da associação entre floração e frutificação e variáveis climáticas, visando uma melhor compreensão do mecanismo reprodutivo da espécie para dar suporte a estudos de manejo e melhoramento da mandioca, além de quantificar e agrupar a variabilidade do germoplasma com relação à capacidade de florescimento em resposta a fatores ambientais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Material vegetal**

Foram avaliados 1032 genótipos de mandioca pertencentes ao Banco de Germoplasma de Mandioca (BAG-Mandioca) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no Município de Cruz das Almas, Região do Recôncavo

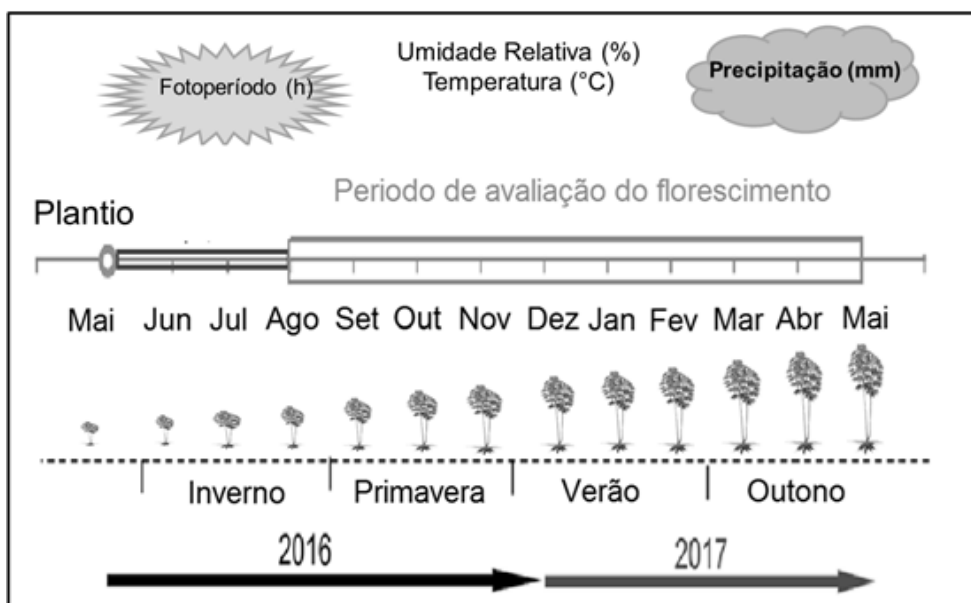
Baiano (12° 40'19" de latitude sul, 39° 06'22" de longitude oeste e altitude de 220 m). A classificação do clima é Af (clima equatorial) de acordo com a Köppen e Geiger, com pluviosidade média anual de 1170 mm, variando de 900 a 1300 mm. A temperatura média anual é de 23,9° C com umidade relativa do ar média anual de 81% (Silva et al., 2016). O fotoperíodo apresenta uma amplitude de 40 min entre os meses de dezembro com maior fotoperíodo e maio com menor.

Os acessos de mandioca avaliados são procedentes de diferentes ecossistemas do Brasil e de outros países. O BAG-Mandioca é composto por genótipos nativos (landraces), genótipos locais de elevada capacidade produtiva identificados por agricultores ou instituições de pesquisa assim como também por genótipos melhorados provenientes de procedimentos convencionais de melhoramento.

O plantio do germoplasma foi realizado no início do período das chuvas (maio de 2016) utilizando manivas de 15 a 20 cm. O espaçamento utilizado foi de 0,90 m entre linhas e 0,80 m entre plantas, com parcelas de duas linhas com oito plantas cada. Os tratos culturais seguiram as recomendações de Souza et al. (2006).

### **Coleta das informações meteorológicas**

As informações sobre precipitação, temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas na estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura de Cruz das Almas. Os dados foram registrados diariamente no período entre maio de 2016 a maio de 2017 (Figura 1). O fotoperíodo foi estimado de acordo com Sanon et al. (2014). O desenvolvimento fenológico da mandioca foi determinado por meio do método proposto por Arnold (1959) do plantio das manivas até o florescimento, utilizando o valor de temperatura base inferior ( $T_b$ ) de 13°C conforme modelo para a cultura da mandioca (Mithra et al., 2018). A equação de graus dia foi obtida por  $GD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b$ , em que: GD = graus-dia, °C;  $T_{max}$  = temperatura máxima do dia, °C;  $T_{min}$  = temperatura mínima do dia, °C;  $T_b$  = temperatura basal inferior, °C. Também foi realizado cálculo para ciclo fixo de 365 dias para a cultura da mandioca, em graus dias acumulados (GDA).



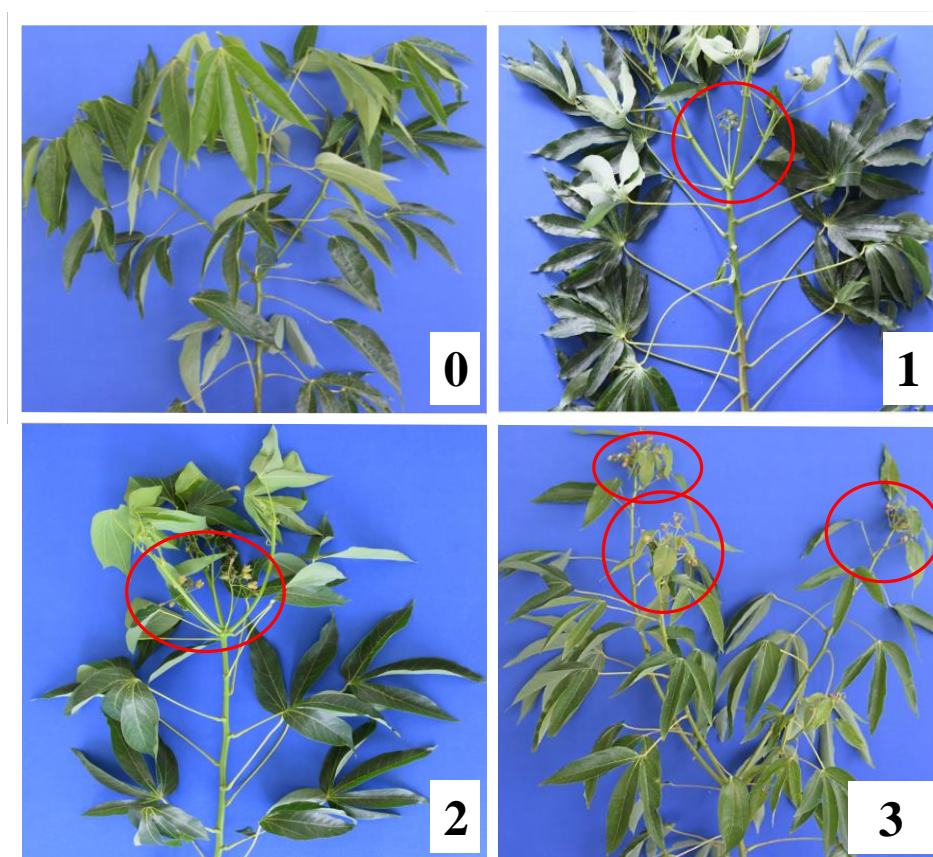
**Figura 1.** Ilustração das variáveis climáticas e período avaliado.

### **Avaliações de florescimento**

A avaliação do florescimento do germoplasma de mandioca iniciou-se a partir do terceiro mês após o plantio (Agosto de 2016), sendo realizada mensalmente até o momento da colheita (Maio de 2017), com um total de dez avaliações. O florescimento foi avaliado com uso da inspeção visual de oito plantas por genótipo, durante as diferentes fenofases que incluíram a presença de botões florais ou inflorescência.

A avaliação dos frutos foi de forma qualitativa, considerando apenas a presença ou ausência. Geralmente o número médio de flores femininas e masculinas é de 6 e 50 por inflorescência, respectivamente. Assim, existe uma relação aproximada de uma flor feminina para aproximadamente 10 flores masculinas. Considerando estas proporções, foi definida uma escala visual de notas para a avaliação do florescimento do germoplasma de mandioca, com quatro notas variando de 0 (ausência) a 3 (floração completa), conforme ilustrado na Figura 2.

A nota 0 foi atribuída a plantas que não apresentaram inflorescência; nota 1 foi utilizada para definir genótipos que possuem baixo florescimento, com presença de uma a duas inflorescências, com até duas flores femininas e/ou 20 flores masculinas; nota 2 definiu as plantas que possuem floração mediana, com presença de duas ou três inflorescências, com até quatro flores femininas e/ou 20-30 flores masculinas; nota 3 foi atribuída as plantas que apresentaram florescimento abundante, com presença de três ou mais inflorescências, com mais de quatro flores femininas e 30 flores masculinas.



**Figura 2.** Escala de notas utilizadas na avaliação de 1032 genótipos de mandioca, (A) nota 0, acessos sem florescimento; (B) nota 1, acessos com baixo florescimento; (C) nota 2, acessos com florescimento mediano; (D): nota 3, acessos com florescimento abundante.

### **Análise dos dados**

Com base nos dados mensais de florescimento foram obtidas outras duas variáveis: 1) nota média de florescimento para cada genótipo (NM), calculada por

$NM = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m}$ , em que  $n_i$  é a nota de floração atribuída para o mês  $i$ ;  $m$  é o número de meses de avaliação; 2) nota ponderada pelo florescimento precoce do genótipo (NP), estimada adotando-se pesos diferentes para os meses de avaliação:  $NP = N_{3MAP} \times 20 + N_{4MAP} \times 18 + \dots + N_{11MAP} \times 4 + N_{12MAP} \times 2$ , sendo o maior peso atribuído para genótipos com florescimento precoce aos três meses após plantio (MAP) (peso 20), decrescendo duas unidades até o menor peso (peso 2) para acessos com florescimento tardio aos 12 MAP.

Os dados mensais de florescimento, assim como as variáveis NM e NP foram submetidos à análise de componentes principais, utilizando o pacote *factoextra* (Kassambara; Mundt, 2017) implementado no software R versão 3.2. (R Core Development Team, 2017). Para definição do número de grupos foi realizado o agrupamento não hierárquico *k-means* de forma a minimizar a distância dos elementos a um conjunto de  $k$  centros dado por  $\chi = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  de forma iterativa. A distância entre um ponto  $p_i$  e um conjunto de clusters, dada por  $d(p_i, \chi)$ , é definida como sendo a distância do ponto ao centro mais próximo dele. A função a ser minimizada então, é dada por:  $d(P, \chi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(p_i, \chi)^2$ .

A partir das informações de diferentes grupos de florescimento e das médias das quatro variáveis climáticas para cada mês de avaliação com os graus dias acumulados, foram estimados os coeficientes de correlação de Spearman. As análises foram realizadas com auxílio do software R versão 3.2. (R Development Core Team, 2017).

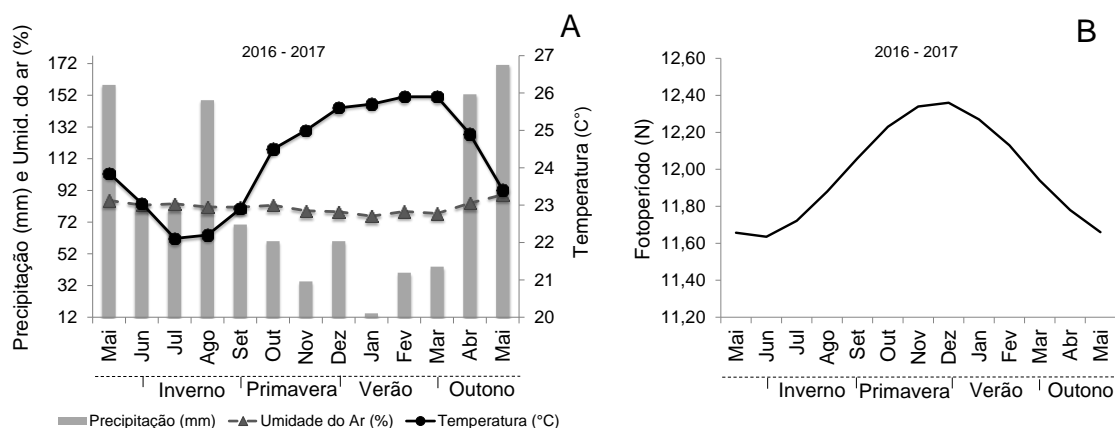
## RESULTADOS

### Caracterização do ambiente durante o período de avaliação do germoplasma de mandioca

Durante o período de desenvolvimento das plantas (maio de 2016 a maio de 2017), a pluviosidade total acumulada foi de 798 mm (Figura 3A). A menor ocorrência de chuva foi em janeiro de 2017, enquanto que a maior precipitação foi em maio de 2017. Nas estações primavera e verão foram registradas as menores precipitações, quando comparado com as estações de outono e inverno. Os valores médios da umidade relativa do ar apresentaram uma tendência linear ao



longo do ano, exibindo baixa amplitude (13%) ao longo das quatro estações. A temperatura média variou de 22,0°C (junho de 2016) a 25,9°C (fevereiro de 2017), tendo portanto, uma amplitude média relativamente estreita ao longo do ano (4°C).



**Figura 3.** Precipitação, umidade relativa e temperatura do ar (A), e fotoperíodo (B) registrados no período de maio de 2016 a maio de 2017 no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, BA.

Os maiores fotoperíodos para a latitude local foram registrados entre setembro (2016) a fevereiro (2017) com valores acima de 12 horas de luz. Em dezembro (2016) foi registrado o maior comprimento do dia (12,36 horas). Em contrapartida, nos meses de março a junho (2016) foram registradas noites mais extensas, sendo a mais longa em junho, com aproximadamente 12,36 horas sem luz (Figura 3B). Portanto, o maior fotoperíodo ocorreu nas estações de primavera e verão, que é condizente com a localização geográfica da região de Cruz das Almas (BA), considerando que quanto mais próximo da linha do Equador maior é o fotoperíodo e menor é sua amplitude.

### Floração e frutificação

A produção de flores e frutos no germoplasma de mandioca ocorreu ao longo dos dez meses de avaliação e com um ciclo de graus dias acumulados (GDA) de 4481°C, porém com variações no número e no período de florescimento entre os meses de avaliação e acúmulo de graus dia, e também em função da variabilidade genética dos genótipos.

Entre os meses de agosto a outubro de 2016 (966 a 1642 GDA) cerca de 33% dos genótipos apresentaram algum nível de florescimento, sendo em média 76%, 17% e 7% classificados com notas baixa (1), média (2) e alta taxa de florescimento (3), respectivamente (Tabela 1). Nesse mesmo período, apenas 10% em média dos genótipos apresentaram frutos formados. As condições climáticas nesse período apresentaram temperatura média de 23,2°C com umidade relativa do ar de 81,8% com acúmulo de 93,13 mm de precipitação e 12,06 horas de luz. O maior percentual de genótipos com florescimento sincronizado foi observado em novembro de 2016 (2036 GDA), com aproximadamente 59% deles apresentando florescimento em diferentes fenofases. Com 2036 GDA, 40% dos genótipos apresentaram alta taxa de florescimento ou produção de flores em abundância (3) e presença de frutos (49%). As principais características ambientais dos 6 MAP foi temperatura média de 25°C, 79% de umidade relativa do ar, precipitação de 34 mm com fotoperíodo de 12,34 horas.

**Tabela 1.** Caracterização do número de genótipos de mandioca que apresentaram florescimento e frutificação durante dez meses de avaliação (2016 e 2017).

Ano	Mês	Graus dias acumulado (GDA)	Nota de florescimento				Frutos	
			0	1	2	3	Presença	Ausência
2016	Agosto	966	785	207	31	9	1	1031
	Setembro	1287	745	218	48	21	130	902
	Outubro	1642	645	268	79	40	173	859
	Novembro	2036	426	165	198	243	510	522
	Dezembro	2464	786	161	67	18	357	675
2017	Janeiro	2880	899	122	6	5	278	754
	Fevereiro	3310	983	46	1	2	117	915
	Março	3698	1007	20	3	2	34	998
	Abril	4118	983	35	9	5	31	1001
	Maior	4481	981	37	8	6	35	997

A média de genótipos que floresceram entre os meses de dezembro a fevereiro (2464 a 3310 GDA) foi de 14%, sendo em média 84%, 11% e 5% classificados com notas baixa (1), média (2) e alta taxa de florescimento (3),

respectivamente. Neste período houve aumento da temperatura (média de 25,7°C) e fotoperíodo (12,25 horas de luz), além da redução da umidade relativa do ar (78%) e menor acúmulo de chuva (38,2 mm), em comparação com o período inicial de avaliação do experimento (Figura 3).

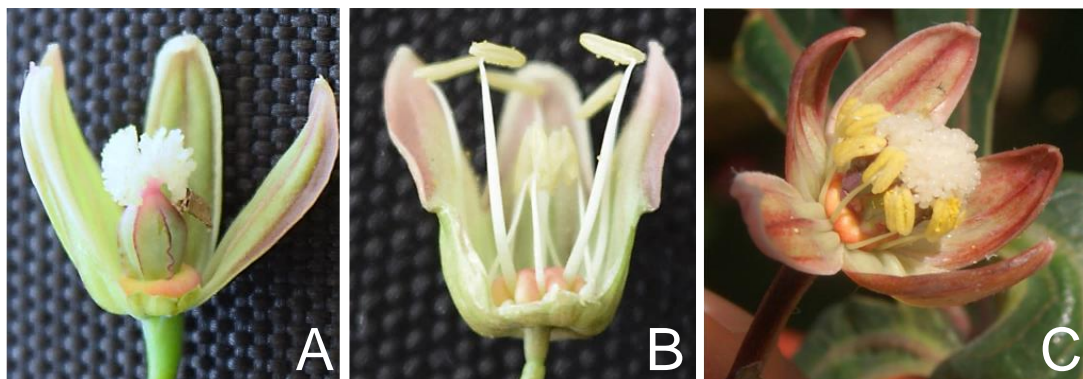
No período final da avaliação, de março a maio (3698 a 4481 GDA), ocorreu a menor média de florescimento entre os genótipos (4%). Em média 3% dos genótipos foram classificados com baixo florescimento, 2,4% com florescimento mediano e apenas 0,74% com alta taxa de florescimento. As condições climáticas predominantes neste período foram de temperatura média de 24,7°C, umidade relativa 83,5%, chuva acumulada de 123 mm e 12 horas de luz.

Na maior parte dos casos, o florescimento intenso ocorreu entre agosto e dezembro de 2016, de modo que nos meses seguintes houve uma tendência de redução no número de genótipos com inflorescências. O menor número de genótipos com florescimento (3%) foi observado em março de 2017, sendo a maior parte deles com baixa taxa de florescimento (Tabela 1). No mês de fevereiro de 2017 dos 35 genótipos ainda em fase de florescimento, nenhum deles apresentou notas elevadas para florescimento.

De modo geral, a presença ou ausência de frutos no germoplasma de mandioca seguiu a mesma tendência do florescimento, sendo que o maior número de genótipos com frutos (510) foi observado em novembro de 2016, que coincidiu com o período de maior florescimento (Tabela 1). De novembro de 2016 a fevereiro de 2017 foi observado uma redução gradual no número de genótipos com frutos. Possivelmente devido a abortos por falta de polinização. Por outro lado, entre março e maio de 2017 o número de genótipos que apresentaram frutos permaneceu estável.

Um aspecto bastante interessante notado nestas avaliações do germoplasma de mandioca foi a presença de flores hermafroditas no genótipo BGM 1727 (Figura 4), tendo em vista que a mandioca é considerada uma planta monoica (Ceballos et al., 2017). Esse hermafroditismo ocorreu nas duas primeiras épocas de avaliação (3 e 4 MAP), pois a partir de 1642 GDA não foi observado a presença de flores hermafroditas neste genótipo. Uma característica diferencial

que ocorreu até os 120 dias de plantio foi a menor temperatura e o início da elevação do fotoperíodo.



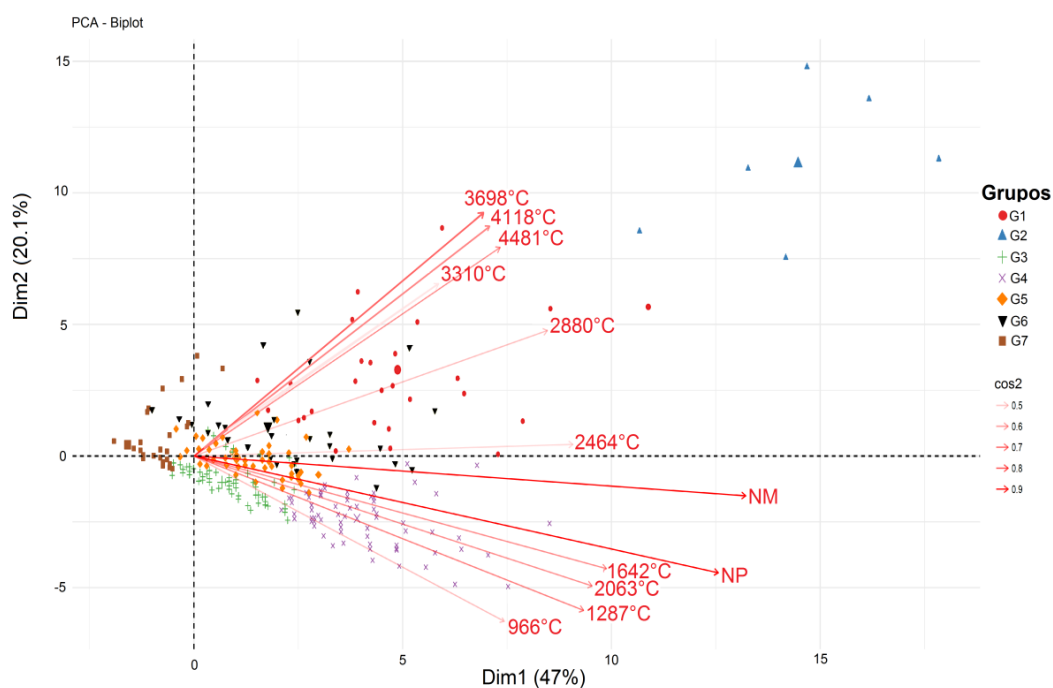
**Figura 4.** Flores do genótipo BGM1727 de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) totalmente desenvolvidas. (A) flor feminina; (B) flor masculina; e (C) flor hermafrodita.

Atualmente pouco se sabe sobre os fatores que levam a mandioca a produzir flores hermafroditas. Todavia, a identificação de genótipos que produzem este tipo de flor pode abrir uma nova fronteira de estudos para a cultura, principalmente no que tange à obtenção de linhagens endogâmicas. Flores hermafroditas apresentam maior taxa de autofecundação, favorecendo a exploração da endogamia em diversas culturas (Fonseca et al., 2018; Galeano Mendoza et al., 2018).

#### **Análise de agrupamento do germoplasma de mandioca com base no padrão e intensidade de florescimento**

Os dois primeiros componentes principais captaram mais de 67% da variação total associada aos dados de florescimento dos genótipos de mandioca nas diferentes épocas (Figura 5). Indicando uma boa capacidade de representação da diversidade genética do germoplasma de mandioca quanto aos padrões de florescimento ao longo do ano. O método *K-means* indicou o agrupamento do germoplasma em sete diferentes grupos, cujo número de genótipos por grupo variou de 6 (Grupo 2) a 555 (Grupo 7).

De acordo com o boxplot da NM e NP, o Grupo 2 (composto por seis genótipos) apresentou a maior dispersão interquartis para estas características em relação aos demais (Figuras 6A e 6B). Portanto, os valores médios de florescimento dos genótipos pertencentes a este grupo foram superiores ao restante dos genótipos. Os genótipos deste grupo apresentaram altas taxas de florescimento (de 2036 a 2880 GDA), que se mantiveram em patamares elevados praticamente ao longo de todo o desenvolvimento da cultura. Por outro lado, o Grupo 4 (constituído por 88 genótipos), apresentou NM mediana e NP elevada caracterizando, portanto, genótipos com florescimento predominantemente precoce, mas com possibilidade de florescimento entre 966 e 2880 GDA.

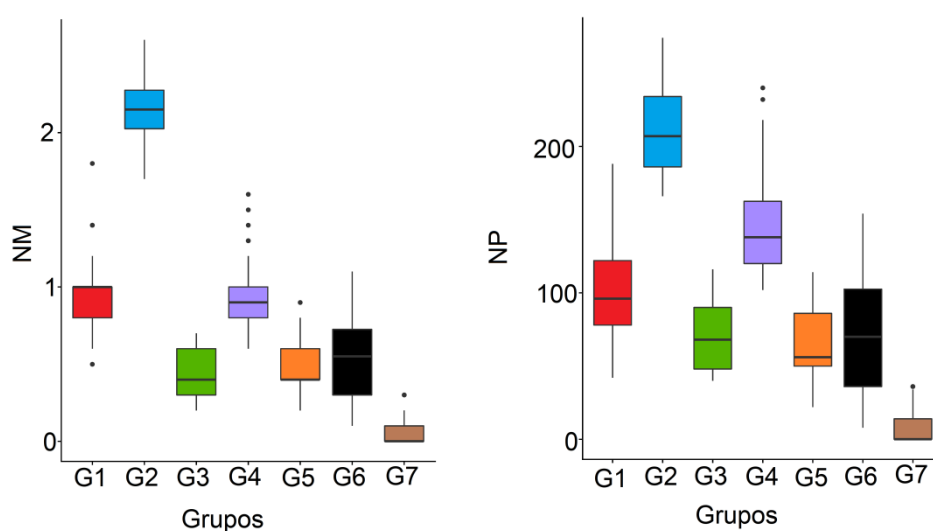


**Figura 5.** Análise de componentes principais (ACP) considerando a intensidade e tempo de floração de genótipos de mandioca, de acordo com os diferentes graus dias acumulados e o escore médio de floração (NM) e pontuação ponderada pela floração precoce (PN).

A menor dispersão interquartis foi observada no Grupo 7, composto por 555 genótipos, com nenhum tipo de florescimento durante o período de avaliação. Os Grupos 3 e 5, com 225 e 93 genótipos, respectivamente, praticamente não

apresentaram alteração significativa para as características NM e NP. Em sua maioria estes dois grupos foram compostos por genótipos com baixa taxa de florescimento, com florescimento e frutificação concentrados entre 966 e 2880 GDA (Figuras 5 e 6).

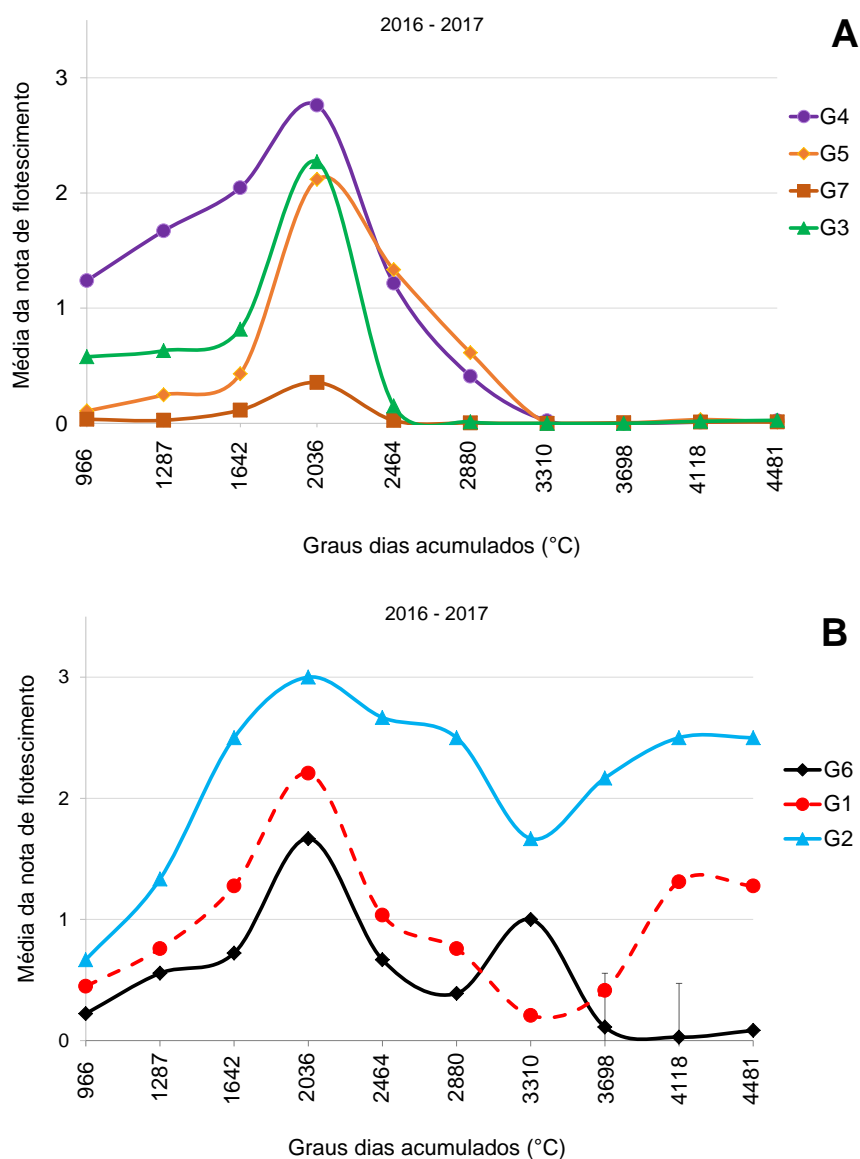
O Grupo 3 apresentou genótipos com a maior amplitude dos dados (NM e NP). No geral, esse grupo apresentou variação de florescimento ao longo do ano, com maiores concentrações entre 2036 e 4481 GDA e menores entre 2820 e 3698 GDA. Já o Grupo 5, caracteriza-se pela ocorrência de genótipos com baixo florescimento, geralmente concentrado entre 966 a 2464 GDA.



**Figura 6.** Boxplot dos agrupamentos formados com base na média geral de florescimento ao longo do período de crescimento das plantas (NM) e na média ponderada pela floração precoce (NP), avaliados em 1032 acessos de germoplasma de 966 a 4481 graus dias acumulados.

Além da ocorrência de genótipos com maior número de flores, o germoplasma dos Grupos 1, 2 e 6, também apresentou o maior período de florescimento, ocorrido entre 966 e 4481 GDA (Figura 7). Os genótipos do Grupo 6 apresentaram alta taxa de florescimento após atingir o pico com 966 GDA, que perdurou até a quantidade de 4481 GDA. De 2880 GDA a 3698 GDA houve uma redução no florescimento dos acessos do Grupo 6, muito embora a taxa de florescimento ainda se manteve elevada até 4481 GDA (notas variando de 2 a 3). Por outro lado, os genótipos do Grupo 1 apresentaram um pico de florescimento

em 2036 GDA, que coincidiu com o Grupo 2, mas cuja taxa de florescimento caiu bastante à partir deste período sendo praticamente zerada em 3310 GDA. Em seguida, a taxa de florescimento aumentou de 3698 GDA a 4118 GDA, com um novo pico em 4481 GDA.



**Figura 7.** Média de florescimento em graus dias acumulados do germoplasma de mandioca (1032 genótipos) pertencentes a sete grupos distintos com base no padrão de florescimento, de acordo com a análise de componentes principais.

De forma semelhante aos Grupos 1, 2 e 6, o pico de florescimento ocorreu no mês de novembro (2036 GDA) para os demais grupos (3, 4, 5 e 7) (Figura 7). Mesmo agrupando genótipos que não floresceram no período avaliado, observou-

se no Grupo 7 um pequeno pico de produção de flores em 2036 GDA. Isto basicamente ocorreu porque uma minoria dos genótipos deste grupo (3%) composto pelos genótipos: BGM-0144, BGM-0440, BGM-0678, BGM-0854, BGM-0980, BGM-1015, BGM-1025, BGM-1147, BGM-1190, BGM-1336, BGM-1358, BGM-1415, BGM-1686, BGM-1732, BGM-2047 e BGM-2140, apresentaram poucas inflorescências. Os genótipos dos Grupos 3 e 5 apresentaram alta taxa de florescimento por um período de 60 e 90 dias, 65% e 34% respectivamente. Para a maioria dos grupos, à exceção do Grupo 2, após atingir o pico de florescimento, a taxa de florescimento foi reduzida após 2880 GDA, de modo que com 3310 GDA as notas médias reduziram de 2 para menos de 1.

As estimativas da correlação de Spearman entre o florescimento e as variáveis climáticas de precipitação, temperatura e umidade variaram de 0,06 (G1 x Fotoperíodo) a -0,64 (G3 x Temperatura; G7 x Temperatura), embora sem significância estatística (Tabela 2). Por outro lado, houve correlação positiva e significativa do fotoperíodo com florescimento nos genótipos pertencentes aos Grupos 5 e 6 (0,73 e 0,79, respectivamente), e para precipitação do G6 (0,65), embora tenha havido correlação de magnitude mediana (variação de -0,52 a -0,64) nos Grupos 4 e 7, respectivamente.

**Tabela 2.** Correlação de Spearman entre florescimento e frutificação *versus* variáveis climáticas de precipitação, fotoperíodo, temperatura e umidade do ar, em sete grupos formados pela análise de componentes principais no germoplasma de mandioca.

Variáveis climáticas	Flores							Frutos
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	
Precipitação	0,21	- 0,09	0,13	- 0,16	- 0,32	- 0,64	0,18	- 0,61
Temperatura do ar	- 0,28	0,23	- 0,64	- 0,52	- 0,15	0,20	- 0,64	0,27
Umidade do ar	0,49	0,03	0,38	0,14	- 0,20	- 0,33	- 0,40	- 0,42
Fotoperíodo	0,06	0,36	0,27	0,50	0,73*	0,79**	0,20	0,64

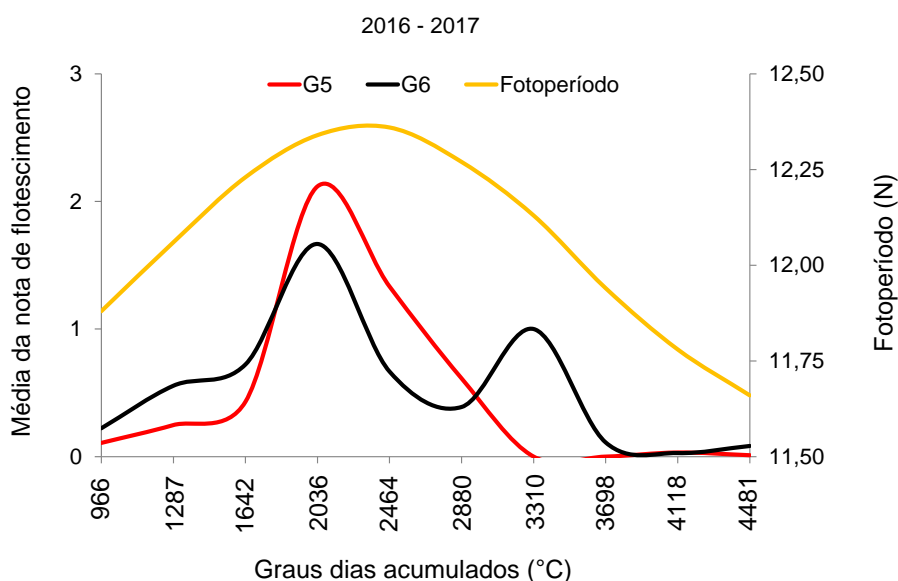
\* = significância ao nível de 5% de probabilidade, \*\* = 1% de probabilidade.

Em relação à frutificação, a variável climática não apresentou associação positiva e significativa com esta característica (0,64) (Tabela 2). Já para a



precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, as estimativas foram de baixa magnitude (-0,61, 0,27 e -0,42, respectivamente), e não significativas, o que evidencia que essas duas variáveis climáticas apresentam menor influência sobre a produção de frutos em mandioca.

A associação entre a nota de florescimento mensal dos genótipos dos Grupos 5 e 6 com o fotoperíodo é claramente demonstrada pela coincidência dos picos de fotoperíodo e florescimento ocorrido entre outubro de 2016 a janeiro de 2017 (1642 e 2880 GDA) (Figura 8). Portanto, houve uma tendência de aumento do fotoperíodo na primavera com as respostas positivas de mesmo sentido na indução do florescimento. Além disso, não houve uma associação positiva entre a porcentagem de genótipos de mandioca com frutos *versus* precipitação, temperatura, umidade do ar e o fotoperíodo, com maior proporção de frutos produzidos no período de outubro de 2016 a dezembro de 2017 (1642 e 2464 GDA).



**Figura 8.** Distribuição do florescimento de acessos de germoplasma de mandioca agrupados com base na análise de componentes principais, utilizando características associados ao florescimento em mandioca. Os dados representam a distribuição da nota média mensal de 93 genótipos pertencentes ao Grupo 5 e 36 ao Grupo 6, em função do fotoperíodo ao longo do desenvolvimento da cultura.

## DISCUSSÃO

### Período de florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca

A percentagem de genótipos que apresentou alguma taxa de florescimento variou entre 2 e 59% (3698 e 2036 GDA, respectivamente), enquanto que o percentual de acessos que produziram frutos variou de 0,10 a 49 % (966 e 2036 GDA, respectivamente). A maior percentagem de genótipos com florescimento e frutificação ocorreu com 2036 GDA (novembro de 2016), época que ocorreu o maior fotoperíodo.

Mais de 40% dos genótipos de mandioca não floresceram durante 12 meses de cultivo, por isso é possível especular sobre a possibilidade de ocorrência de florescimento tardio (>4481 GDA) neste germoplasma. Por outro lado, a ausência de florescimento em alguns genótipos pode também ocorrer devido às condições ambientais ao longo dos meses de avaliações não serem as ideais para estes genótipos. Com 2036 GDA os genótipos encontraram-se na primavera, que diferiu da estação anterior por apresentar temperaturas mais elevadas ( $25 \times 22^{\circ}\text{C}$ ) e fotoperíodo maior ( $12,19 \times 11,70$  horas) que o observado no período de outono-inverno, que possivelmente pode afetar a resposta reprodutiva dos genótipos de mandioca. Essa resposta adaptativa dos genótipos que compõem o germoplasma de mandioca demonstrou a variabilidade genética existentes para esta característica. De acordo Andres e Coupland (2012) a *Arabidopsis thaliana* apresenta comportamento de florescimento regulado pela duração do dia ou pela temperatura. Longo fotoperíodo promove o florescimento na *Arabidopsis thaliana*, mas tem efeito oposto em plantas como o arroz (*Oryza sativa*) (Ausin et al., 2004).

De 966 a 2036 GDA (agosto 2016 a novembro 2017) houve um aumento na percentagem de genótipos que saíram da fase vegetativa para a reprodutiva (de 26% para 59%). Após 2036 GDA (novembro), foi observada uma redução no número de genótipos com presença de flores, sendo que com 3698 GDA foi observado flores em apenas 2% dos genótipos, possivelmente como consequência da maior temperatura e menor precipitação (janeiro a março de 2017). Portanto, foi observado de maneira indireta que a temperatura afeta o tempo e a taxa de desenvolvimento das flores em mandioca. De fato, temperatura

mais baixas tendem a retardar o florescimento de diversas espécies, a exemplo de *Arabidopsis thaliana* na qual plantas cultivadas em temperatura de 14 e 22 °C, apresentaram florescimento aos 63 e 31 dias após o plantio, respectivamente (Lokhande et al., 2003).

De acordo com Amasino (2010), as plantas usam as informações ambientais para maximizar o sucesso reprodutivo e para dar início ao florescimento em função da mudança de temperatura ou na duração do dia. De fato, a maioria dos acessos de mandioca apresentou alguma resposta em função das mudanças nas variáveis climáticas, sobretudo em relação ao fotoperíodo. De modo geral, a fenologia das plantas é regulada em resposta a elevação da temperatura com indução da floração na primavera (Forrest; Thomson, 2011). Assim, o aumento do florescimento no germoplasma de mandioca com 1287 GDA pode ter ocorrido em função das alterações ambientais (aumento da temperatura e fotoperíodo e redução da precipitação) que são usadas como uma sinalização para indução floral. Nesse sentido, como fotoperíodo é uma variável que se repete com as mesmas flutuações anuais, os genótipos de mandioca podem utilizar esse componente ambiental para detectar o momento adaptativo chave para iniciar o florescimento.

De modo geral, a baixa taxa de florescimento foi uma tendência nas avaliações do germoplasma de mandioca ao longo de todos os meses de avaliação, com exceção do mês de novembro (2036 GDA), no qual 41% dos genótipos apresentou mais de três inflorescências com mais de quatro flores femininas e 30 flores masculinas. A descoberta das condições que favorecem a iniciação do florescimento é fundamental para a elaboração de uma programação de cruzamentos bem-sucedida, que de modo geral depende do background genético e de variáveis ambientais (Zenget al., 2006).

### **Variabilidade fenológica para o florescimento**

A alocação dos 1032 genótipos de mandioca em sete grupos com base no seu desempenho quanto ao florescimento, evidencia a alta variabilidade genética presente neste germoplasma. Essa classificação dos genótipos de mandioca com base nos atributos de florescimento pode contribuir para favorecer o manejo da hibridação nos campos de cruzamento dos programas de melhoramento genético,

pois a sincronia do florescimento é uma condição essencial para que sejam obtidas as sementes com sucesso.

Com a caracterização dos sete grupos de genótipos que apresentam padrões de florescimento distintos, a elaboração do planejamento de cruzamentos é facilitada. Após a definição das características desejáveis e escolha dos parentais, poder-se-ia realizar o plantio dos genótipos em diferentes épocas para haver coincidência do florescimento nos meses de maior pico para que a hibridação ocorra com a máxima sincronização do florescimento.

### **Influência dos fatores climáticos no florescimento de mandioca**

Na performance geral dos grupos a maioria apresentou um pico de florescimento bastante restrito aos em 2036 GDA. Este pico, coincidiu com as seguintes variáveis climáticas em novembro de 2016: baixa precipitação acumulada (34,6 mm), temperatura média de 25 °C, umidade relativa de 79,1 % e um dos maiores fotoperíodos (12,34). Portanto, estas condições ambientais influenciaram de modo comum todos os genótipos com potencial de florescimento, muito embora os genótipos pertencentes ao Grupo 2 tenham recebido o estímulo para florescimento com 966 GDA, e continuado com este estímulo inclusive fora deste período de pico, tendo assim maior amplitude de florescimento e certa insensibilidade aos fatores climáticos à partir de 2036 GDA.

Em relação à correlação entre as variáveis ambientais *versus* florescimento em mandioca, apenas o fotoperíodo apresentou correlação positiva com as fases fenológicas avaliadas. De fato, a influência da duração do período luminoso desempenha papel importante na adaptação ecológica das plantas, possibilitando maior atividade fotossintética e, conseqüentemente, aumento no metabolismo, favorecendo o maior crescimento vegetativo e possivelmente o florescimento. Kobayashi e Weigel (2007) mencionaram que o reconhecimento da importância do comprimento do dia na floração das plantas é bastante antigo, e que o comprimento do dia é um fator importante na determinar dos ambientes de cultivo das espécies vegetais.

A regulação da floração via fotoperíodo indica que as plantas reagem ao comprimento do dia e à qualidade da luz percebida (Srikanthet al., 2011). Em espécies sensíveis ao fotoperíodo, as plantas são induzidas a florescer em dias

longos (LD) ou curtos (SD) dependendo da cultura (Corbesier; Coupland, 2006). Particularmente em função dos nossos resultados, é possível especular que a mandioca é uma espécie que pode responder a fotoperíodos mais longos. Por outro lado, uma pequena percentagem (1%) de genótipos que compõe o germoplasma foi praticamente indiferente ao fotoperíodo. Esse fato indica que a época do florescimento depende não somente do ambiente, mas também da variedade utilizada (Alves 2006). Portanto, recomenda-se que os programas de hibridação possam utilizar o prolongamento do fotoperíodo visando estimular o florescimento precoce nos parentais elite. Atualmente de acordo Ceballos e Hershey (2017) existem esforços contínuos para induzir o florescimento na cultura da mandioca com a regulação do fotoperíodo.

A floração da mandioca parece depender de fotoperíodos longos de até 16 horas de duração do dia associado a temperaturas em torno de 24 °C (Alves, 2006). Assim, os resultados apresentados sugerem que a mandioca tende a responder ao aumento do fotoperíodo, sendo este o principal fator ambiental de estímulo à produção de flores e frutos. De acordo com Alves (2006) o início do florescimento é determinado por dias longos em algumas cultivares de mandioca, inclusive com relatos de tendência ao início da floração em fotoperíodos acima de 13h em algumas variedades de mandioca.

### **Considerações gerais**

Ampla variação fenotípica no germoplasma de mandioca foi identificada para características associadas ao florescimento e frutificação, que de modo geral, apresentaram diferentes reações as diferentes condições climáticas impostas ao longo do desenvolvimento das plantas. O Grupo 7 formado basicamente por genótipos que não florescem, possuem baixíssima taxa de florescimento, ou mesmo apresentam florescimento tardio, são um desafio ao programa de melhoramento. Parentais elite que pertencem a este grupo, certamente deverão passar por avaliações de florescimento por um período maior de avaliação e serem submetidos a tratamentos auxiliares para indução de florescimento a exemplo de reguladores de crescimento. Ceballos e Hershey (2017) relataram que existem resultados preliminares relacionados à indução do

florescimento em alguns genótipos de mandioca através da aplicação de reguladores de crescimento de planta.

Os Grupos 1, 2 e 6 apresentaram prolongados períodos de florescimento, com picos coincidentes em 2036 e 4181 GDA. No restante do período houve comportamento diferenciado dos genótipos de mandioca com queda de florescimento no Grupo 1 de 2880 a 3698 GDA. No entanto, o que é bastante notável e importante neste grupo é o fato de apresentarem florescimento em períodos em que os genótipos dos demais grupos praticamente zeraram o florescimento à partir de 2880 GDA, época em que as condições climáticas foram bastante adversas. Portanto, o entendimento dos mecanismos bioquímicos e moleculares envolvidos nos genótipos deste grupo devem ser alvos de pesquisa futura para melhor compreensão e manipulação dos fatores genéticos envolvidos na indução do florescimento em mandioca.

O Grupo 4 apresentou genótipos com alta precocidade de florescimento, pois a maioria deles apresentou nota acima de 2 já aos 966 GDA. A precocidade do florescimento dos genótipos que compõem esse grupo também pode ser alvo de estudo e uso nos programas de melhoramento convencional e genômicos. O conhecimento dos fatores genéticos e ambientais que influenciam na taxa de florescimento e conseqüentemente com a maximização das chances de sucesso da hibridação, pode ser utilizado para ajudar na seleção de parentais e no melhor planejamento quanto à sincronização do florescimento. Além disso, pode ainda ajudar a definir épocas de plantio para grupos específicos de genótipos de modo que as condições climáticas ideais sejam atendidas.

Por fim, este é o primeiro estudo a demonstrar a diversidade fenológica de floração e frutificação no germoplasma de mandioca com as variáveis climáticas. O conhecimento da fenologia da floração e frutificação na mandioca agrupado em função do comportamento genotípico de um painel de ampla diversidade representa uma ferramenta importante nos programas de melhoramento, pois pode contribuir na orientação e planejamento dos campos de cruzamento, de forma a baixar os custos de operação e acelerar a produção de populações segregantes; além de facilitar o desenvolvimento de genitores endogâmicos e otimizar os programas de melhoramento que utilizam a seleção genômica.

## CONCLUSÃO

O acompanhamento do florescimento e frutificação ao longo do ciclo de desenvolvimento do germoplasma de mandioca e sua associação com variáveis ambientais demonstrou que o florescimento tende a acompanhar a variação do fotoperíodo. Portanto, o planejamento dos campos de cruzamentos deve levar em consideração que os genótipos devem estar em plena maturidade fisiológica para iniciar o florescimento nos períodos de maior fotoperíodo e assim garantir melhoria na sincronização da floração e aumento do número de sementes obtidas.

A análise de agrupamento com base no padrão de florescimento e frutificação do germoplasma de mandioca resultou na formação de grupos bastante contrastantes para estas características, o que certamente facilitará o planejamento dos cruzamentos entre genótipos provenientes de diferentes grupos.

O fotoperíodo exerceu forte influência na taxa de florescimento de alguns grupos de genótipos de mandioca. Portanto, estudos mais aprofundados sobre o prolongamento do dia para indução do florescimento devem ser investigados, tendo como desafio o aumento das taxas nos genótipos presentes no Grupo 7.

A previsão do florescimento e maturidade fisiológica por meio de graus dias pode ser estimada utilizando como temperatura base 13°C com 2036 GDA para melhor florescimento e 4481 GDA para o ciclo de produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEM, A. C. The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 41, p. 133-150, 1994.

ALVES, A. A. C. Fisiologia 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, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p. 455-491, 2006.

AMASINO, R. Seasonal and developmental timing of flowering. **The Plant Journal**, v. 61, n. 6, p. 1001-1013, 2010.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 74, n.1 p. 430-445, 1959.

AUSIN, I.; ALONSO-BLANCO, C.; MARTINEZ-ZAPATER, J. M. Environmental regulation of flowering. **International Journal of Developmental Biology**, v. 49, n. 5-6, p. 689-705, 2004.

CEBALLOS, H.; HERSHEY, C. H. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In: **Genetic Improvement of Tropical Crops**. Springer, Cham, p. 129-180, 2017.

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.

CIAT. **Global Cassava Partnership for the 21st Century** (GCP21). 2015. Disponível em: <http://ciat.cgiar.org/gcp21>. Acesso em: 11 Nov. 2017.

CLIMATEMPO. Disponível em: [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br). Acesso em 27 de Junho de 2018.

CORBESIER, L.; COUPLAND, G. The quest for florigen: a review of recent progress. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 13, p. 3395-3403, 2006.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Outlook. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6198e.pdf> Acesso em: Julho de 2018.

FONSECA S. M. da; MÖLLER, M.; CLOUGH, S. J.; PINHEIRO, J. B. Heritability of agronomic traits correlated with reduced stink bug damage in an F<sub>2:3</sub> soybean



population derived from IAC-100. **Journal of Crop Improvement**, v. 32, n. 1, p. 1-18, 2018.

FORREST, J. R. K.; THOMSON, J. D. An examination of synchrony between insect emergence and flowering in Rocky Mountain meadows. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 3, p. 469-491, 2011.

GALEANO MENDOZA, C. H.; BAQUERO CUBILLOS, E. F.; MOLINA VARÓN, J. A.; CERÓN LASSO, M. D. S. Agronomic evaluation of bunching onion in the Colombian Cundiboyacense high plateau. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. P.112, 2017.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package version 1.0. 4. 2017. 2017.

KING, R. W.; WORRALL, R.; DAWSON, I. A. Diversity in environmental controls of flowering in Australian plants. **Scientia Horticulturae**, v. 118, n. 2, p. 161-167, 2008.

KOBAYASHI, Y.; WEIGEL, D. Move on up, it's time for change-mobile signals controlling photoperiod-dependent flowering. **Genes and development**, v. 21, n. 19, p. 2371-2384, 2007.

LOKHANDE, S. D.; OGAWA, K. I.; TANAKA, A.; HARA, T. Effect of temperature on ascorbate peroxidase activity and flowering of *Arabidopsis thaliana* ecotypes under different light conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 1, p. 57, 2003.

MITHRA, V. S. S.; RADHAKRISHNAN, A. S.; LEKSHMANAN, D. K. Computer Simulation of cassava growth. In: **Cassava**. InTech, p. 69-82, 2018.

OLIVEIRA, E. J.; OLIVEIRA FILHO, O. S.; SANTOS, V. S. Selection of the most informative morphoagronomic descriptors for cassava germplasm. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 891-900, 2014.

OLIVEIRA, E. J.; RESENDE, M. D. V.; SANTOS, V. S.; FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA, G. A. F.; SILVA, M. S.; AGUILAR-VILDOSO, C. I. Genome-wide selection in cassava. **Euphytica**, v. 187, n. 2, p. 263-276, 2012.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 1.0.4. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Available from: <http://www.R-project.org>; 2017.

RAVI, V.; RAVINDRAN, C. S. Effect of soil drought and climate on flowering and fruit set in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Advances in Horticultural Science**, v. 20, n. 2, p. 147-150, 2006.

ROGERS, D. J.; APPAN, S. G. *Manihot, Manihotoides* (Euphorbiaceae). **Flora Neotropica**. New York: HAFNER, p. 272, 1973.

SANON, M.; HOOGENBOOM, G.; TRAORE, S. B.; SARR, B; GARCIA, A. G.; SOMÉ, L.; RONCOLI, C. Photoperiod sensitivity of local millet and sorghum varieties in West Africa. **Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 68, p. 29-39, 2014.

SILVA, R. M. da; BANDEL, G.; FARALDO, M. I. F.; MARTINS, P. S. Reproductive biology of cassava landraces. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 101-107, 2001.

SILVA, T. S. M. da; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Boletim meteorológico da estação convencional de Cruz das Almas, BA: variabilidade e tendências climáticas. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2016.

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 agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p.70-214, 2006.

SRIKANTH, A.; SCHMID, M. Regulation of flowering time: all roads lead to Rome. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 68, n. 12, p. 2013-2037, 2011.

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.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mandioca é uma cultura chave para o Brasil, em função da sua relevante importância econômica e social. A busca de tecnologias que possam incrementar características genéticas via cruzamento de variedades elites é fundamental para aumentar a produtividade da cultura. Por isso, neste estudo buscou-se adequar estratégias tecnológicas direcionadas para o florescimento da mandioca. Uma primeira estratégia foi conduzida no intuito de estabelecer um protocolo eficiente de enxertia para que possa ser usado em cruzamento entre parentais selecionados, visando ampliar a produtividade, a resistência a fatores bióticos e a tolerância da cultura. Uma segunda estratégia, utilizada foi o uso de fitoreguladores para indução de florescimento em variedades com dificuldade de florescimento, além de avaliar o desempenho agrônomo de variedades elites de mandioca cultivadas no campo, após aplicação desses produtos. A terceira estratégia adotada ilustra as respostas de floração e frutificação que as plantas apresentam ao longo do seu ciclo de crescimento.

O primeiro capítulo abordou o uso da enxertia, associadas a diferentes combinações de genótipos com bom florescimento e genótipos com dificuldades de florescimento. Utilizou-se a enxertia para favorecer a transferência de estímulos florais entre diferentes genótipos de mandioca. O genótipo usado foi o BRS Formosa, que apresenta boa aceitação e utilização em cultivos comerciais, a fim de servir como modelo para o estabelecimento do protocolo de enxertia e que apresenta baixo florescimento combinado com dois genótipos (BGM0823 e FLA02-05) com elevada taxa de florescimento. Observou-se que a enxertia pode transferir estímulos florais entre os diferentes genótipos de mandioca e, se realizada em estágio inicial aumenta a sobrevivência das plantas e favorece a indução da floração. Outro benefício foi a elevação da frutificação e também alteração no rendimento do índice de colheita.

O segundo e o terceiro capítulos abordaram as concentrações de paclobutrazol e cloreto de cloromequat na indução do florescimento e características agrônomicas e os efeitos do ambiente no florescimento e frutificação no germoplasma de mandioca em condições de campo. Os resultados do segundo capítulo evidenciaram a ineficiência das dosagens utilizada com a

aplicação dos dois fitoreguladores na indução floral da mandioca. Por outro lado, no terceiro capítulo os resultados revelam a influência do fotoperíodo no florescimento e a possibilidade de utilização em campo de cruzamentos para aumentar o florescimento. Além disso, houve a formação de grupos de genótipos com florescimento precoce e floração consistente que permitem o planejamento de plantio para uma sincronização do florescimento. Por fim, a caracterização de germoplasma para floração e frutificação é crucial para a seleção de pais em programas de melhoramento. Esses capítulos descrevem pesquisas pioneiras, com resultados positivos, que oferecem impactos práticos na mandiocultura por proporcionar a obtenção da sincronização e possibilidade de hibridação.

Espera-se com os resultados alcançados nesse trabalho a utilização deste estudo como novas ferramentas nos programas de melhoramento da mandioca, visando à instalação de áreas produtoras de sementes, a fim de adequar estratégias baseadas na hibridação para produção de genótipos candidatos elite. Assim, esse conjunto de ferramentas pode ser usado por melhoristas convenientemente para acelerar a indução floral e aumentar a prolificidade de genótipos com baixo florescimento, quebrando a barreira do florescimento e da sincronização.

Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de haver continuidade da pesquisa com trabalhos futuros ampliando as coletas de dados de florescimento no germoplasma de mandioca por um período maior, como também o uso de estudos de mapeamento associativo (GWAS) a fim de associar regiões do genoma com os fenótipos de interesse visando assim aumentar a compreensão da influência genética sobre a expressão do florescimento.