

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

**AJUSTES METODOLÓGICOS E SELEÇÃO DE FONTES DE TOLERÂNCIA À
DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA EM MANDIOCA**

MARCELA TONINI VENTURINI

**CRUZ DAS ALMAS- BAHIA
NOVEMBRO - 2015**

**AJUSTES METODOLÓGICOS E SELEÇÃO DE FONTES DE TOLERÂNCIA À
DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA EM MANDIOCA**

MARCELA TONINI VENTURINI

Engenheira Agrônoma
Universidade Estadual de Santa Cruz, 2009

Tese submetida ao Colegiado do Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Ciências Agrárias. Área de Concentração: Fitotecnia.

Orientador: Dr. Eder Jorge de Oliveira
Co-orientadora: Dra. Maria Angélica P. de C. Costa
Co-orientador: Dr. Eduardo Chumbinho de Andrade

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

V469a Venturini, Marcela Tonini.

Ajustes metodológicos e seleção de fontes de tolerância à deterioração fisiológica pós-colheita em mandioca / Marcela Tonini Venturini. _ Cruz das Almas, BA, 2015.

124f.;il.

Orientador: Eder Jorge de Oliveira

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1. Mandioca - Deterioração fisiológica pós-colheita. 2. Mandioca - Armazenamento pós-colheita. 3. Genética - Análise. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

CDD: 633.682



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE
MARCELA TONINI VENTURINI

Membro Presidente: Prof. Dr. Eder Jorge de Oliveira
Instituição: Embrapa

Membro Externo à Instituição: Profa. Dra. Adriana Rodrigues Passos
Instituição: UEFS

Membro Externo ao Programa: Profa. Dra. Edna Lôbo Machado
Instituição: UFRB

Membro Externo à Instituição: Dr. Márcio Eduardo Canto Pereira
Instituição: Embrapa

Membro Externo à Instituição: Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves
Instituição: Embrapa

Homologada em / / .

*Aos meus pais José Aldino e Maria Tereza...
À minha irmã- amiga (Manamiga) Marcielli...*

DEDICO.

Ao meu marido Lucas...

Por seu amor, compreensão e companheirismo!!!

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

*Primeiramente à **Deus**, seu imenso conforto dado a meu coração em todos os momentos... e a todos os “anjos” que se apresentam no decorrer de minha vida...*

*À Meu pai **José Aldino** e minha mãe **Maria Tereza** que me deram a sabedoria para usufruir da melhor forma o conhecimento adquirido nas etapas da vida. Palavras de incentivo, amor, carinho, atenção sempre estiveram presentes e me deram suporte para chegar ao ponto almejado. Agradecimento é muito pouco por tudo que fizeram e fazem por mim... É amor, nada mais!!! Amo vocês!!!*

*À Minha querida irmã **Marcielli**... haaaaa...simplesmente meu espelho!!! Doçura, carinho, dengo, palavras verdadeiras sempre se fizeram presentes em nossa relação. Minha melhor amiga, minha confidente, minha companheira, minha princesa!!! Amooooo!!!*

*À Meu marido **Lucas**... Palavras faltam amor... nesse período que estivemos longe, só nós sabemos a dor dessa separação...período difícil, mas que foi vencido por eu ter ao meu lado um homem generoso, paciente, amoroso... a quem sempre me deu ânimo e força para continuar...Não foi fácil!!! Obrigada por seu amor... alimento diário para nossa relação continuar forte e se solidificar a cada dia...Te Amo PVT!!!*

*À minha amarelinha **Kate**... por ter sido minha companheira fiel por tantos anos...graduação, mestrado e doutorado. Em dias alegres ou tristes era ela que estava firme ao meu lado... minha companhia, meu dengo, minha princesa!!!*

*Ao meu orientador **Eder Jorge de Oliveira**... admiração ao profissional responsável, pessoa humilde de extrema competência e caráter. Muito obrigada por todos os ensinamentos transmitidos... pela amizade... paciência... incentivo e atenção... Obrigada por tudo!!!*

*À **Carlos Vildoso** pela amizade... por transmitir muito de seu conhecimento e por ter me ajudado no período inicial de trabalho.*

*Aos pesquisadores **Márcio Canto, Vanderlei Santos, Luciana Alves, Eduardo Chumbinho, Emanuel Medeiros, Paulo Meissner, José Luiz Bezerra, José Souza, Fernanda Vidigal, Jorge Loyola, Hermes Peixoto, Saulo Oliveira, Carlos Ledo e Onildo Nunes**... pelas conversas, conhecimentos passados e ajuda nas diversas fases no dia-a-dia...*

*À **Marília Lordelo** pela imensa ajuda, conhecimento transmitido e pela amizade...*

Aos queridos colegas e estagiários: **Leandro, Taylane e Josuel**... “Anjos” que sempre estiveram comigo transmitindo conhecimentos e que me ajudaram imensamente no desenvolvimento dos trabalhos. Sábados, Domingos, Feriados, São João, final de expediente, sob sol ou sob chuva... sempre me ajudando... Meu muitíssimo obrigada!!!

Pessoas que Deus coloca em nossos cominhos numa fase de nossas vidas e que se tornam amigos pra vida toda. Ajuda nos trabalhos... em emprestar um ombro amigo... em ouvir... um café da tarde... um almoço de domingo... ou mesmo uma moradia de meses... carinho, atenção... AMIZADE de VERDADE!!! Agradeço de todo coração à **Cris, Rober, Lica, Nina e Lú**... Pessoas muito especiais!!!

Aos Amigos **Ivanildes, Cátia, Juan, Gilmara, Taliane, Hilo, Cinara e Fabi** que me deram o prazer da companhia nesta caminhada e ajuda nas diversas tarefas... obrigada por tudo!!!

Ao Pessoal de campo: **Jorge Nonato, Seiji, Zara Maria, Paulo Laércio, Bodinho, Tonhão, Guga, Crispim, Dai e Jorge da Silva** pelas iníuuuumeras ajudas... quem me ajudaram na prática da pesquisa... Conhecimento prático que não se encontra em livro!!! Agradeço pela turma extrovertida, responsável e capacitada... Agradeço pela amizade formada!!!

Ao pessoal da Embrapa dos laboratórios: LCTA (**Jaciene, Miguel, Tâmara**), Virologia (**Márcio, Emanuel, Keyla, Adriana, Cícera**), Molecular (**Andressa, Marcienne, Vanderson, Raimundo**), Pós-colheita (**Elaine, Pedro**) e Solos (**Nafis**) e também todo **pessoal do setor de transporte e limpeza**... pela imensa ajuda oferecida das inúmeras vezes que precisei durante todo o percurso, e obrigada pela amizade conquistada...A ajuda de vocês todos, um em cada área, foi primordial para a conclusão de meu trabalho...Muito obrigada!!!

Ao coordenador **Carlos Alfredo** pelo seu trabalho diante ao Programa e ao **PPGCA** por me oferecer esse degrau que já me trouxe uma grande conquista... de muitas que estarei buscando.

À **Tibério** pela ajuda na obtenção dos dados de climatologia.

À **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, por toda a estrutura física para o desenvolvimento das atividades do projeto proposto...

À **Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB**, por todo o programa proposto, pelos profissionais que atuam...

À **CAPES** pelo auxílio financeiro...

Meu muitíssimo obrigada!!!!!!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO GERAL	1
Capítulo 1	
Desenvolvimento de escala diagramática para avaliação da deterioração fisiológica pós-colheita em mandioca.....	34
Capítulo 2	
Procedimentos para avaliar a tolerância de genótipos de mandioca à deterioração fisiológica pós-colheita	57
Capítulo 3	
Identificação de germoplasma de mandioca com tolerância à deterioração fisiológica pós-colheita.....	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
ANEXO	113

AJUSTES METODOLÓGICOS E SELEÇÃO DE FONTES DE TOLERÂNCIA À DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA EM MANDIOCA

Autora: Marcela Tonini Venturini

Orientador: Prof. DSc. Eder Jorge de Oliveira

RESUMO: Um dos problemas no cultivo da mandioca é a deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC), que deprecia as raízes logo após a colheita. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma escala diagramática e definir parâmetros para avaliação da DFPC, bem como identificar genótipos de mandioca tolerantes à DFPC. A escala diagramática proposta proporcionou melhores coeficientes de determinação (R^2) e acurácia na avaliação da DFPC. Com relação à definição dos parâmetros para avaliação da DFPC, constatou-se que os sintomas de DFPC e deterioração microbiana (DM) foram mais pronunciados sob condições de baixas temperaturas e maior umidade do solo. O tratamento com fungicida reduziu significativamente a severidade da DM, porém sem influência na expressão da DFPC. O período de armazenamento de até 10 dias após a colheita foi adequado para a avaliação dos genótipos, pois as raízes apresentaram menor severidade da DM e alta expressão da DFPC. Os sintomas da DFPC foram similares nas posições proximal, média e distal das raízes, embora as extremidades são mais propensas a danos mecânicos. Com relação a identificação de fontes de resistência, com base nos parâmetros de estabilidade (S_i), adaptabilidade (A_i) e análise conjunta da estabilidade e adaptabilidade (Z_i) genotípica, verificou-se que a variância da interação genótipo (G) x ambiente (A) e a variância genotípica foram as mais importantes para a expressão da tolerância à DFPC. Entretanto, o ganho genético com a seleção dos 19 melhores acessos de mandioca foi bastante expressivo para os valores genotípicos preditos livres da interação G x A, S_i , A_i e Z_i . Estas fontes de tolerância possuem elevado potencial para incorporar esta característica em variedades comerciais de mandioca.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, DFPC, estresse fisiológico.

METHODOLOGICAL ADJUSTMENTS AND SELECTION FOR TOLERANCE TO POST-HARVEST PHYSIOLOGICAL DETERIORATION IN CASSAVA

Author: Marcela Tonini Venturini

Advisor: Prof. DSc. Eder Jorge de Oliveira

ABSTRACT: One of the problems in the cultivation of cassava is the postharvest physiological deterioration (PPD) that depreciates the roots soon after the harvest. This study aimed to develop a diagrammatic scale and set parameters for evaluation of PPD and to identify cassava genotypes tolerant to PPD. The diagrammatic scale proposal provided better accuracy and determination coefficients (R^2) in assessing the PPD. With respect to the definition of parameters for assessing PPD, it was found that the physiological symptoms of PPD and the microbial deterioration (MD) were more pronounced under conditions of low temperatures and high soil humidity. The fungicide treatment significantly of MD but no effects on the expression of the PPD. The storage period of 10 days after harvest was appropriate to assess the PPD. The symptoms of the PPD were similar in average, proximal, medium and distal positions of the roots although ends are more evident to mechanical damage. With respect to the identification of sources of resistance based on the adaptability (A_i) and stability (S_i) parameters and the joint analyses of genotypic stability and adaptability (Z_i), was founded that the variance of genotype (G) x environment (E) interaction, were the most important for the expression of the tolerance to PPD. However, the genetic gain with the selection of the 19 best cassava accessions was very significant for the predicted genotypic values of the interaction G x E, S_i , A_i , Z_i . These sources of tolerance have high potential to incorporate this feature in commercial cassava varieties.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, DDP, physiological stress.

INTRODUÇÃO GERAL

Aspectos gerais sobre a mandiocultura

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à classe das Eudicotiledôneas, ordem Malpighiales, família Euphorbiaceae e gênero *Manihot* (CARVALHO, 2006). O gênero *Manihot* é composto por 98 espécies (ORLANDIN; LIMA, 2014) das quais 78 se encontram no Brasil (67 endêmicas) (CORDEIRO et al., 2013), e apenas uma espécie (*Manihot esculenta* Crantz) é cultivada comercialmente por produzir raízes tuberosas ricas em amido. Tem sua origem e diversificação na América do Sul, tendo como principal centro de diversificação o Brasil (ALLEN, 1994). A mandioca é cultivada em todas as regiões tropicais entre as latitudes de 30°N e 30°S, o que abrange a maioria do território brasileiro (SOUZA; SOUZA, 2000).

Devido a sua grande capacidade de adaptação às mais diversas condições ambientais, tais como solos de baixa fertilidade natural, ampla diversidade climática, diferentes faixas de temperatura (16 a 38°C) (COCK, 1984) e pluviosidade (<600 mm e >1500 em condições semiáridas e trópicos úmidos, respectivamente - ALVES, 1990), a mandioca é considerada uma cultura que garante a segurança alimentar de dezenas de milhões de pessoas no mundo (VALLE; LORENZI, 2014).

A mandioca é cultivada de forma anual e/ou bianual, na qual suas raízes amiláceas (21 a 33% de amido e menos que 3% de proteína na massa seca) (BUTOLO, 2002; EL-SHARKAWY, 2004) podem ser colhidas de 8 a 14 meses para mandioca de mesa e de 12 a 24 meses para a indústria. Assim, podem ser classificadas, segundo Mattos e Almeida (2006), em precoce (10 a 14 meses); semiprecoce (14 a 18 meses) e tardia (acima de 18 meses).

A raiz é o produto mais conhecido e utilizado em todo o mundo, por acumular amido, que é utilizado na alimentação humana e como matéria-prima para inúmeros produtos industriais, como papel, madeira prensada, cosméticos, fármacos, adesivos (TONUKARI, 2004) e biocombustível (EL-SHARKAWY, 2012). Entretanto, as folhas também são consumidas em várias regiões do mundo para uso animal e/ou humano (CHÁVEZ et al., 2005). No Brasil a demanda pela cultura vem aumentando, principalmente pelas indústrias de farinha e fécula que empregam mais de um milhão de trabalhadores diretos (IBGE, 2013). Ademais apresenta baixo custo de produção, comparado com outras importantes culturas alimentícias (ELIAS et al., 2001)

A mandioca, assim como outras plantas, tais como a maçã, o sorgo, a aveia, o trigo, a ameixa, o bambu, a seringueira e a cana-de-açúcar, possui glicosídeos específicos, potencialmente hidrolisáveis, que liberam cianeto, e assim, pode ser classificada quanto à sua toxicidade pelo ácido cianídrico (HCN) (HANQUE; BRADBURY, 2002). A concentração total de glicosídeos cianogênicos (GC) depende da variedade, condições ambientais e desenvolvimento da planta. Tais compostos, em quantidades maiores ou menores, são encontrados em todas as partes da planta exceto nas sementes (CALATAYUD; MÚNERA, 2002). Os maiores níveis de HCN na matéria fresca da mandioca encontram-se nos limbos foliares (1.140 mg kg^{-1}) seguido dos pecíolos (1.110 mg kg^{-1}), caules (900 mg kg^{-1}) e nas raízes, onde seus teores variam entre 9 e 660 mg kg^{-1} (SILVA et al., 2004; VALLE et al., 2004).

De acordo com a quantidade de GC que geram ácido cianídrico (HCN), as cultivares de mandioca podem ser classificadas em mandiocas mansas (aipim, macaxeira) que possuem baixo HCN (abaixo de 100 mg/kg de raiz fresca) e mandiocas bravas, com maior conteúdo de HCN, variando de 100 a 500 mg/kg (WHEATLEY; CRUZEL, 1993). As mandiocas mansas são mais comumente consumidas *in natura* e devem possuir características específicas como cozimento rápido e resistência à deterioração fisiológica (FUKUDA et al., 1989), além de características agrônômicas desejáveis, como facilidade de descascamento e alto teor de amido (FUKUDA; BORGES, 1988). A mandioca do tipo brava, por possuir maior teor de HCN, se destina à indústria, na qual são produzidos principalmente farinha e fécula. Nesse processo, há redução na toxicidade pela liberação desses

compostos, de forma a garantir a segurança no consumo de produtos derivados das raízes de mandioca (PADMAJA, 1995).

Importância econômica

De acordo com a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) em 2013, o mundo produziu mais de 275 milhões de toneladas de mandioca, distribuídos em cerca de 80 países produtores.

A África é o continente de maior produção, com 13,6 milhões de ha, seguido da Ásia com 4,1 milhões de ha e Américas com 2,6 milhões de ha. O continente Asiático possui o maior rendimento, com 21,11 t.ha⁻¹, seguido das Américas com 12,46 t.ha⁻¹, Oceania com 12,35 t.ha⁻¹ e África com 11,48 t.ha⁻¹. Dentre os países produtores, a Nigéria é o maior produtor mundial (53 milhões de toneladas em 2013), seguido da Tailândia (30,2 milhões de toneladas), Indonésia (23,9 milhões de toneladas), Brasil (21,5 milhões de toneladas) e República Democrática do Congo (16,5 milhões de toneladas) (FAO, 2013).

Em relação à área cultivada, a mandioca situa-se entre os dez principais produtos agrícolas no Brasil, além de ocupar a quinta posição em volume de produção (IBGE, 2013). Em maior ou menor escala, pode ser encontrada em todos os estados brasileiros. Dentre as principais regiões produtoras destaca-se o Norte e Nordeste, com produção de 7.467,943 t e 4.803,212 t, e produtividade de 14,73 t.ha⁻¹ e 8,12 t.ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2013). Esses baixos valores de produtividade são decorrentes da não utilização de técnicas adequadas de cultivo, como preparo correto do solo, uso de sementes melhoradas, controle de pragas e doenças, como também a baixa utilização de insumos agrícolas e de variedades pouco produtivas, sendo adotados, com isso, sistemas mais obsoletos, com produção mais tradicional e de baixo nível tecnológico (MATTOS, 2000). O contrário pode ser observado nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste com produtividade de 21,28 t.ha⁻¹, 18,21 t.ha⁻¹ e 18,41 t.ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2013). Em grandes áreas da região centro sul brasileira o plantio, a colheita e o processamento da mandioca são realizados de maneira semi-mecanizada. A utilização de variedades mais produtivas é um dos principais motivos para o crescimento da produtividade no Estado de São Paulo, por

exemplo, onde sua produtividade de 24,48 t.ha⁻¹, a maior do país (BARROS, 2004). A produção de mandioca das regiões Norte e Nordeste é direcionada principalmente para a produção de farinha, que é um produto tipicamente brasileiro (CARDOSO; SOUZA, 1999) e na região Centro Sul do país, a maior parte da produção destina-se para a indústria, sendo a fécula o principal produto com crescimento para exportação (OTSUBO; LORENZI, 2002).

Principais entraves à expansão do cultivo e uso da mandioca

Pela sua rusticidade, a mandioca tem sido plantada em condições edafoclimáticas adversas e em áreas marginais, em solos de baixa fertilidade (SOUZA et al., 2006). Apesar desta rusticidade, a mandioca pode ser severamente afetada por estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (déficit hídrico, baixa fertilidade dos solos, danos mecânicos), responsáveis por alterar o crescimento e o desenvolvimento vegetal, resultando em perdas econômicas consideráveis.

Dentre os principais fatores limitantes à produção da mandioca, têm-se as pragas: mandarová (*Erinnyis ello*), ácaro verde (*Mononychellus tanajoa*), percevejo-de-renda (*Vatiga illudens*), moscas-brancas (*Aleurotrachelus aepim*, *Aleurotrachelus socialis*, *Bemisia tibericulata*, *Bemisia tabaci*), cochonilhas (*Phenacoccus herreni*, *Phenacoccus manihoti*); e doenças, tais como: podridões radiculares (*Phytophthora* sp. e *Fusarium* sp.), bacteriose (*Xanthomonas campestris*) e viroses como o mosaico comum (*Cassava commom mosaic vírus*, *CsCMV*), mosaico das nervuras (*Cassava vein mosaic vírus*, *CsCMV*), couro de sapo (*Cassava frogskin disease*, *CFSD*) e superbrotamento como estresses bióticos mais frequentes na cultura da mandioca no Brasil.

Dentre os estresses abióticos têm-se os extremos de temperatura, umidade relativa do ar, regime hídrico e características físico-químicas do solo (LORENZI, 2003). Entretanto, o déficit hídrico e os danos mecânicos ocorridos na colheita, geralmente, são os estresses abióticos mais importantes. As respostas das plantas ao déficit hídrico dependem da duração e severidade do estresse, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e do tipo de órgão em questão (BRAY, 1994). Embora a

mandioca seja considerada uma espécie tolerante à seca, o crescimento e rendimento são reduzidos por períodos prolongados de estiagem.

A redução no rendimento de raízes depende da duração do déficit hídrico, que, torna-se crítico de 1 a 5 meses após o plantio, período que corresponde aos estádios de iniciação e tuberização das raízes (SOUZA et al., 2006). Os danos mecânicos, ocorridos principalmente durante a colheita (HAN et al., 2001) causam perdas de produção, afetando a palatabilidade e reduzindo o valor comercial das raízes para consumo *in natura* e para beneficiamento na indústria, devido a ocorrência de um processo complexo, que inviabiliza a comercialização das raízes, chamada de deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC).

Deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC)

A DFPC da mandioca pode ser desencadeada por processos fisiológicos endógenos (deterioração primária) e pela atividade microbiana (deterioração secundária). A deterioração primária é a causa inicial e principal da perda de raízes, enquanto a deterioração secundária ocorre após a ocorrência da primária (BEECHING et al., 1994; ALVES et al., 2005).

A DFPC é um dos importantes entraves à produção da mandioca, pois afeta a comercialização *in natura* e o processamento devido ao rápido aparecimento dos seus sintomas típicos que, são acentuados pela vulnerabilidade a danos mecânicos causados na colheita, transporte e armazenamento. A DFPC torna as raízes impalatáveis e sem valor comercial (HAN et al., 2001; REILLY et al., 2003, 2007), o que implica que o consumo das raízes deve ser realizado imediatamente após a colheita (VAN OIRSCHOT et al., 2000).

A DFPC começa nas primeiras 24-48 h após a colheita, sendo afetada por fatores ambientais, como temperatura (20-30°C), umidade relativa do ar (65-80%) e taxas de respiração da raiz, sendo que o manuseio e as condições de armazenamento das raízes influenciam na velocidade e magnitude dos sintomas (SILVA et al., 2003). O armazenamento das raízes a 10°C e 80% de umidade relativa do ar pode retardar o início da DFPC por duas semanas. Porém, o surgimento da

deterioração microbiana (entre cinco a sete dias após a colheita), pode acelerar o estabelecimento dos sintomas da deterioração fisiológica (WHEATLEY, 1987).

O rápido desenvolvimento da DFPC na cultura da mandioca tem sido fortemente associado a danos mecânicos que ocorrem durante a colheita e ao emprego dos tratos culturais (SALCEDO; SIRITUNGA, 2011). No processo de colheita, as raízes são destacadas da planta, o que conseqüentemente causam injúrias nas raízes. Além disso, o transporte do campo para o seu destino final (consumidor ou indústria) pode resultar em fermentos adicionais. Na maioria dos casos, a DFPC desenvolve-se a partir de danos nos tecidos e inicialmente observa-se uma coloração azul-escura do tecido vascular, que é muitas vezes referida como estrias vasculares (BUSCHMANN et al., 2000). Posteriormente aos sintomas iniciais, rapidamente ocorre uma descoloração geral do parênquima de armazenamento. Estas alterações acontecem pelo acúmulo inicial das hidroxycoumarinas (em mandioca, as mais comuns são a escopoletina e a escopolina) e compostos fenólicos após a colheita da raiz e posterior processo de oxidação, gerando compostos coloridos, azulados, evoluindo para marrom e preto, levando ao seu escurecimento (Figura 1) (BUSCHMANN et al., 2000; KOBLITZ, 2011).



Figura 1. Cortes transversais de raízes de mandioca com sintomas de deterioração fisiológica pós-colheita.

De acordo com Aristizabal e Sánchez (2007), os fatores que podem desencadear o aumento da velocidade e a manifestação da deterioração são a suscetibilidade da variedade utilizada, a idade da planta, a época de colheita, a presença ou não de pedúnculo, condições edafoclimáticas e podas na parte aérea. Alguns estudos indicam que a DFPC possui uma correlação positiva com algumas características agronômicas desejáveis, como maior teor de matéria seca e de amido nas raízes (VAN OIRSCHOT et al., 2000). Isso, é altamente indesejável, tendo em vista que estas são características de interesse aos diversos programas de melhoramento de mandioca (CEBALLOS et al., 2007) e a DFPC é um processo que torna as raízes inviáveis pra consumo. Por outro lado, raízes com alto teor de carotenóides tem sido associadas com menor aparecimento da DFPC (SÁNCHEZ et al., 2005), que pode ser explicada pelas suas propriedades antioxidantes dos mesmos (MORANTE et al., 2010).

No processo de deterioração microbiana, que ocorre de 5 a 7 dias após a colheita das raízes (REILLY et al., 2003), os sintomas manifestam-se inicialmente como uma podridão úmida, com maceração dos tecidos, ocorrendo um odor fético característico, com coloração amarronzada no tecido afetado (Figura 2). Esses sintomas normalmente estão associados com a atividade de vários microrganismos patogênicos, que desenvolvem-se em ambientes úmidos e com temperaturas elevadas, penetrando nas lesões causadas durante a colheita e manuseio das raízes. Dentre os patógenos envolvidos na podridão microbiana, estão alguns fungos como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* e *Fusarium*, e bactérias de várias espécies do gênero *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Corynebacterium* (ALCALÁ; CASTILLO, 2006).



Figura 2. Cortes transversais de raízes de mandioca com deterioração microbiana.

Metodologia para avaliação da DFPC

A definição de métodos de avaliação para DFPC em raízes de mandioca constitui-se um passo fundamental para uma melhor compreensão dos eventos que ocorrem durante este processo. Pesquisas indicam a possibilidade da identificação de genótipos tolerantes à DFPC, mas uma série de cuidados devem ser tomados na seleção dos genótipos promissores devido ao grande número de fatores que afetam a sua expressão. As mensurações, as condições ambientais e de armazenamento, e o tamanho amostral são de extrema importância para avaliar a DFPC e consequentemente, obter genótipos mais estáveis à tolerância, por meio de seleção no germoplasma de *Manihot*.

Diversas metodologias têm sido adotadas na avaliação da DFPC. Entretanto, a quantificação é geralmente realizada visualmente por uma escala de notas que varia de 0 a 100% descrita por Wheatley et al. (1985), e pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), consistindo na avaliação do perímetro afetado pela DFPC. Contudo, alguns genótipos não se ajustam adequadamente à esta escala, por não possuir apenas a distribuição periférica, por isso, a necessidade em desenvolver uma escala de dispersão dos sintomas na raiz de forma homogênea, e assim, diminuir a subjetividade nas avaliações.

O número de raízes a serem avaliadas é um fator bastante variável nos trabalhos de seleção de genótipos resistentes, variando de uma a dez raízes (MORANTE et al., 2010). A forma de quantificação também são bastante variadas, pois muitas vezes são dependentes dos efeitos ambientais e das condições de avaliação. Na literatura, as datas de avaliação variam de 24h (EKANAYAKE; LYASSE, 2003) a 40 dias (MORANTE et al., 2010), mas a maioria é feita em até cinco dias após a colheita, para evitar que a deterioração microbiana impeça a avaliação da DFPC. Alguns estudos relatam diferentes números de cortes transversais em raízes para acelerar a DFPC, como modificações e ajustes à avaliação original da DFPC. Todas essas estratégias são subjetivas e existe a necessidade de implementar uma avaliação quantitativa, sistemática e objetiva para avaliação da DFPC (HAN et al., 2001).

Métodos de controle da deterioração fisiológica pós-colheita em mandioca

Dentre as medidas de controle da DFPC, a aplicação de parafina nas raízes tem possibilitado o prolongamento da conservação de 1 a 2 meses à temperatura de 0 a 5°C, pois a parafina reduz a permeabilidade ao oxigênio e, por consequência, a perda de umidade das raízes (CEREDA; VILPOUX, 2003). O uso de parafina tem sido relatada por prolongar a vida de prateleira das raízes de mandioca até 2 meses (ARISTIZABAL; SÁNCHEZ, 2007).

Embalagens de polietileno têm sido utilizadas para reduzir a velocidade de escurecimento das raízes de mandioca, considerando que estas embalagens proporcionam menor concentração de oxigênio e maior concentração de gás carbônico, com conseqüente diminuição da atividade respiratória (PARANAÍBA et al., 1996). Embalagens à vácuo também têm sido utilizadas para este propósito (LUENGO; CALBO, 2009), sendo uma alternativa à exportação das raízes, sobretudo para países que possuem barreiras à utilização de parafina na conservação pós-colheita.

Outra alternativa para a conservação das raízes de mandioca seria o acondicionamento a baixas temperaturas, sob refrigeração. Esse processo compreende temperaturas entre 1°C a 10° C (ENVANGELISTA, 2000). A maior parte dos alimentos, incluindo-se a mandioca, pode ser conservada sob refrigeração durante um tempo limitado, onde busca-se retardar a atividade microbiana e enzimáticas (GAVA, 1999). A temperatura de 3°C tem sido relatada como ideal para o armazenamento das raízes frescas por 4 semanas (RAVI et al., 1996; OIRCHOT et al., 2000). Raízes armazenadas à temperaturas acima de 4 °C, desenvolvem sintomas de DFPC mais rapidamente (RAVI et al., 1996). Contudo, de modo geral, estas técnicas não são utilizadas rotineiramente no sistema de produção da cultura, seja pelo alto custo, ou mesmo por não apresentarem resultados consistentes e viáveis tecnicamente.

Do ponto de vista agrônômico, outra estratégia para reduzir a DFPC é a realização de poda das plantas antes da colheita, que consiste na remoção total das folhas e caules da planta, aproximadamente 40 a 50 cm do nível do solo. Em comparação com as plantas não podadas, esta prática tem sido associada com a

redução do tempo de início da deterioração fisiológica (PLUMBLEY; RICHARD, 1991). Isso ocorre por que os substratos precursores que seriam utilizados na produção da escopoletina são consumidos em outras rotas metabólicas, como o ácido indolacético e outros hormônios necessários para a regeneração e brotação da parte aérea. Por ocorrência da colheita, a produção de escopoletina fica reduzida, o que compromete o processo de deterioração (LORENZI, 2003). Kato et al. (1991) e Data et al. (1984) afirmaram que as plantas podadas aos 21 dias antes da colheita, apresentaram menor deterioração fisiológica quando comparadas com plantas não podadas. Segundo Kato et al. (1991), os teores de fenilalanina amonialiase são maiores em raízes de plantas podadas, e atividades menores de peroxidase e polifenoloxidase. Pesquisas comprovam que o efeito da poda sobre a redução da deterioração fisiológica pode prolongar a conservação das raízes por nove semanas (PAIVA, 1994). Resultados de Hirose et al. (1984), constataram que, um dia após a colheita, as raízes intactas de plantas podadas apresentaram uma taxa respiratória baixa, quando comparadas com as plantas não podadas. O mesmo comportamento foi observado quando comparados tecidos das plantas podadas e não podadas.

Diante da ampla diversidade da cultura, características para a melhoria da qualidade da raiz têm sido constantemente buscadas e não estritamente aquelas relacionadas aos aspectos produtivos e por isso vão além das abordagens convencionais, como por exemplo, a melhoria do potencial de conservação pós-colheita das raízes, como sugerem Fukuda (2005) e Morante et al. (2010), visando genótipos tolerantes à DFPC.

Eventos bioquímicos da DFPC

A DFPC é responsável pelo reduzido tempo de prateleira da mandioca, o qual é considerado como sendo um processo complexo ligado à resposta enzimática a partir de danos nos tecidos causados por estresse abiótico (ARISTIZABAL; SÁNCHEZ, 2007). Conseqüentemente, a planta induz a produção de componentes de sinalização que iniciam as respostas da planta que sofreu ao lesão, desencadeando a defesa de forma localizada ou sistêmica (BEECHING, 2001). A reparação das lesões ocorre somente quando a raiz ainda está aderida à planta,

caso contrário, a resposta no processo de cicatrização e diminuição da regulação dos sinais são insuficientes ou demasiadamente lentos. Como resultado, a produção de sinais de resposta não são desligados, desencadeando uma cascata de respostas ao longo da raiz, que são observadas como DFPC (PLUMBLEY; RICHARD, 1991; REILLY et al., 2004).

Dentre os estudos bioquímicos realizados para entender o processo de DFPC (BUSCHAMANN et al., 2000; HUANG et al., 2001; REILLY et al., 2001, 2003; IYER et al., 2010), as espécies ativas de oxigênio (EAO) são consideradas como uma das primeiras ocorrências no processo de deterioração devido a formação do radical superóxido (O_2^-), oxigênio simples (O_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ou hidroxila (OH) (FOYER; NOCTOR, 2005). Nas plantas, essas moléculas são continuamente produzidas como subprodutos da respiração aeróbia (APEL; HIRT, 2004), causando danos às proteínas, lipídios e DNA. Em condições normais, a planta tem vários mecanismos para impedir ou melhorar a sua toxicidade, sendo a produção de EAO baixa ($240 \text{ mM s}^{-1} O_2^-$ e $0,5 \text{ mM s}^{-1} H_2O_2$) (MITTLER, 2002). Sob condições de estresse, no entanto, o equilíbrio entre a produção e a eliminação dessas moléculas é perturbado (240 a $720 \text{ mM s}^{-1} O_2^-$ e 5 a 15 mM de H_2O_2) o que resulta em um aumento rápido na formação de EAO conhecida como uma “explosão” oxidativa (APOSTOL et al., 1989). Em raízes de mandioca, essa “explosão” oxidativa ocorre dentro de 15 minutos após a colheita (REILLY et al., 2003) em eventos metabólicos que ocorrem, principalmente, nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (BHATTACHARJEE, 2010).

Algumas outras alterações fisiológicas ligadas à DFPC foram observadas, tal como, a ocorrência de hidroxycumarinas (principalmente a escopoletina), observadas sob UV, devido aos sintomas iniciais visuais de DFPC serem acompanhados por um rápido acúmulo de compostos fluorescentes no parênquima do tecido da raiz da mandioca (BUSCHMANN et al., 2000). A propensão para o desenvolvimento de estrias vasculares é dependente da cultivar e tem sido associada, também, com diferentes taxas de respiração e produção de etileno (BRENCH, 2003) a partir de lesões ocorridas na colheita, ou mesmo na remoção do córtex. Outros metabólitos sugeridos no envolvimento da DFPC são a acumulação de glicosídeos cianogênicos,

ocasionando maior DFPC (WESTBY, 2002), contrastando com o aumento de b-caroteno, ocasionando maior tolerância das raízes de mandioca à DFPC (GLÓRIA; URITANI, 1984).

Mecanismos de defesa evoluíram em resposta ao estresse oxidativo para desintoxicar EAO e/ou para evitar sua posterior formação prejudicial e reativa. Essas defesas podem ser enzimáticas ou não enzimáticas, sendo responsáveis pelas mudanças na cor (escurecimento), sabor, textura e qualidade nutricional (CANTWELL, 1992). As defesas enzimáticas têm sido estudadas predominantemente incluindo superóxido dismutase, catalase e peroxidase (REILLY et al., 2004). Recentemente, Iyer et al. (2010) mostraram que essas enzimas foram mais expressas em regiões próximas do local do dano mecânico. Para alguns autores, (CARVALHO et al., 1985; TANAKA et al., 1984) a DFPC é atribuída às reações oxidativas que envolvem os compostos fenólicos, enquanto que o ascorbato, glutatona e tocoferol atuam como antioxidantes não enzimáticos (BLOKHINA et al., 2003). Tais antioxidantes podem evitar a formação de radicais livres, sequestrá-los ou promover sua degradação, prevenindo a ocorrência de danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011).

A superóxido dismutase (SOD) tem papel fundamental na defesa do organismo contra as espécies ativas de oxigênio, pois catalisa a dismutação de O_2 para H_2O_2 (SCANDALIOS, 1993), sendo eliminado pela enzima peroxidase de ascorbato, quando produzido nos cloroplastos. Quando produzido nos peroxissomos/glioxissomos, é removido pela catalase (KOTCHONI; GACHOMO, 2006), sintetizando os íons superóxido nos cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). Podem ser classificados de acordo com seus cofatores metálicos: cobre e zinco (estroma do cloroplasto e citosol, respectivamente), manganês (matriz mitocondrial) e ferro (estroma do cloroplasto) (GILL; TUJETA, 2010).

As peroxidases catalizam reações de grande número de estruturas aromáticas usando elétrons de substrato orgânico como o guaiacol, e reduz o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para formação de H_2O (LAURENTE; CLEMENTE, 2005), formado pelo metabolismo celular protegendo tecidos danificados contra os radicais livres

(MENOLLI et al., 2008) e contra patógenos (MAHANTA et al., 1993; MELLON, 1990), tendo como principal função a defesa da planta. Esta reação de oxidação aumenta a resistência às doenças pela formação de lignina e suberina via processo de catalisação e polimerização (condensação) dos polifenóis na parede celular (LOURENÇO et al., 1992), como também contribui para mudanças negativas no sabor e cor dos vegetais, promovendo o escurecimento dos tecidos danificados.

A catalase (CAT) está localizada no citoplasma, nas mitocôndrias, peroxissomos e glioxissomo (BAT'KOVÁ et al., 2008). As CATs catalizam a dismutação do H_2O_2 em água e oxigênio molecular. Para alcançar uma proteção eficiente, os tecidos dispõem de um sistema antioxidante integrado, que consiste de um arranjo de diversos componentes lipossolúveis (vitamina E; carotenóides), hidrossolúveis (ácido ascórbico; glutatinoxidase) e enzimáticos (glutatinoxidase; superóxido dismutase; catalase) (McLEAN et al., 2005).

Os compostos fenólicos agem como antioxidantes, não somente pela sua habilidade em doar hidrogênio ou elétrons, mas também em virtude de seus radicais intermediários estáveis, que impedem a oxidação de lipídios (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). Os compostos fenólicos servem de substrato para a enzima peroxidase, que em condições favoráveis, promovem respostas fisiológicas indesejáveis, como o escurecimento enzimático. Os principais compostos fenólicos associados ao desenvolvimento de deterioração fisiológica em mandioca incluem a escopoletina, escopolina, esculina, proantocianidinas, catequinas e ácido clorogênico (RICHARD, 1985). Para Tanaka et al. (1983), o principal fenólico associado com o estriamento vascular de mandioca é a escopoletina, enquanto a catequina é o mais abundante na periderme das raízes.

Owiti et al. (2011) investigaram as alterações moleculares ocorridas durante a DFPC da raiz de mandioca após a colheita, e dividiram-na em dois períodos: início (6, 12 e 24 horas) e final da DFPC (48, 72 e 96 h). Com isso, atestaram que 67 proteínas atuam no início da DFPC e 170 proteínas atuam entre 48 e 96 horas após a colheita. Este estudo também incluiu proteínas ainda não associadas à DFPC, tais como linamarase, hydroxycinnamoyl transferase, b-1, 3-glucanase, pectina

metilesterase, maturase K, redutase desidroascorbato, ciclase do óxido aleno, e proteínas envolvidas em vias de sinalização.

Melhoramento para tolerância à DFPC

A ampla variabilidade genética presente no germoplasma da mandioca no Brasil permite sua utilização para o desenvolvimento de cultivares produtivas e tolerantes à DFPC. A tolerância varia em função do genótipo (SALCEDO et al., 2010; MORANTE et al., 2010), assim, o uso de cultivares melhoradas é um dos principais componentes tecnológicos do sistema produtivo da cultura e que estão atrelados a melhorias na qualidade da raiz sem implicar em custos adicionais.

Dentro da espécie *M. esculenta* já foi identificada diversidade genética suficiente para melhoramento de quase todos os caracteres, incluindo aqueles de natureza morfológica, agrônômica e de resistência às principais pragas e doenças que afetam a cultura no país (FUKUDA et al., 1991). Contudo, a grande variabilidade de materiais existentes ainda é muito pouco explorada, em função da dificuldade de cruzamentos e pouco conhecimento da genética dos caracteres.

A mandioca é uma espécie alógama, altamente heterozigótica que apresenta ampla segregação na primeira geração. Depois de identificado um híbrido superior, na primeira geração, o mesmo é fixado por meio da propagação vegetativa, o que, constitui a maior vantagem em trabalhos de melhoramento. Porém, apresenta como principal desvantagem a necessidade de trabalhos com grandes populações na obtenção de estimativas precisas do comportamento dos genótipos gerados em vários ambientes (FUKUDA; SILVA, 2002).

Os principais métodos de melhoramento utilizados na cultura da mandioca são a introdução e a seleção de variedades, as hibridações intra e interespecíficas. A introdução é o método mais comum de desenvolvimento de novas variedades e apresenta uma grande chance de êxito, em função da ampla diversidade genética disponível. A hibridação intra-específica é utilizada quando se deseja gerar novas combinações alélicas ou transferir características de interesse econômico, sendo os cruzamentos realizados entre parentais da mesma espécie, portadores de características complementares, seguidos de seleção fenotípica dos clones com

base na sua performance em diferentes anos e locais. As hibridações inter-específicas devem ser utilizadas em maior escala somente após um completo conhecimento e exploração da diversidade genética, caso não haja variabilidade na espécie *M. esculenta*.

A maioria dos caracteres agrônômicos a serem melhorados nas espécies vegetais é de natureza complexa, governados por elevado número de genes, sofrendo grande influência ambiental. Isso torna possível que genótipos iguais apresentem fenótipos diferentes, bem como genótipos diferentes apresentem fenótipos iguais, dificultando o trabalho do melhorista (RESENDE, 2002). E para isso, os programas de melhoramento utilizam o comparativo do desempenho de genótipos em estudo com as variedades comerciais, permitindo com isso, avaliar a magnitude das interações genótipo (G) x ambiente (A). Assim, as respostas diferenciadas dos genótipos às diferentes condições do ambiente reforçam a importância de estudos dessa natureza que, aliados à qualidade dos materiais genéticos nos vários ambientes, tornam-se os principais motivadores dos programas de melhoramento.

Avaliações comparativas da DFPC entre diferentes variedades de mandioca e dentro da mesma variedade revelou uma variação considerável no grau de desenvolvimento e severidade da DFPC (PLUMBLEY; RICHARD, 1991; BUSCHMANN et al., 2000; ARISTIZABAL; SÁNCHEZ, 2007), o que implica que a resposta da DFPC está sob influência genética, mas também, é influenciada por fatores ambientais (IGLESIAS et al., 1994).

A interação G x A corresponde à resposta diferencial dos genótipos às mudanças ambientais (BOS; BALIGARI, 1997), sendo o fenótipo o produto dos efeitos genéticos com o ambiente. Ressaltando que, a interação G x A é um fenômeno natural que faz parte da evolução das espécies, promovendo o aparecimento de genótipos aptos e estáveis a um ambiente específico.

Segundo Cruz et al. (2004), podem ocorrer três situações quanto à interação G x A, tais como a ausência de interação; interação do tipo simples e interação do tipo complexa. Segundo Ramalho et al. (1993), somente esta última, causa problemas para a recomendação de genótipos, pois indica, quase sempre, a

existência de cultivares adaptadas a ambientes específicos, impedindo que a recomendação seja feita de forma generalizada.

Essas interações influenciam a seleção de genótipos, e também, possibilitam os estudos de adaptabilidade e estabilidade. Com isso, a adaptabilidade do material genético pode ser definida como a capacidade de resposta do indivíduo à melhoria do ambiente (RESENDE, 2002), sendo ponto básico a ser considerado nos estudos de melhoramento genético de plantas.

Existem inúmeras metodologias para se proceder a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, tais como as de Eberhart e Russel (1966), Cruz et al. (1989), Lin e Binns (1988), Rezende (2004) entre outras, todas fundamentadas na existência de interações e que se distinguem quanto aos conceitos de estabilidade adotados, e nos princípios estatísticos empregados, considerando-se que a escolha da metodologia depende do número de ambientes disponíveis e da precisão requerida.

As análises genético-estatísticas realizadas por modelos mistos (REML/BLUP) vêm assumindo importante papel nos programas de melhoramento de culturas anuais e perenes na última década, em substituição ao modelo de análise de variância (ANOVA) proposto por Fischer, no início do século XX (MRODE, 2005). A importância do REML/BLUP reside no fato de que a avaliação genética, por meio da predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos dos candidatos à seleção, propicia uma maior acurácia, eficiência e poder informativo do que o método da ANOVA (RESENDE, 2004).

O método REML, do inglês *restricted maximum likelihood* (máxima verossimilhança restrita ou residual), estima os componentes de variância e o BLUP, do inglês *best linear unbiased predictor* (melhor preditor linear não viesado), prediz os valores genotípicos (RESENDE, 2004, 2007). Nessa técnica, os valores genotípicos são assumidos como aleatórios, enquanto os efeitos de blocos, ambientes e outros podem ser considerados fixos ou aleatórios.

Na estimação ou predição de valores genotípicos, o mais importante é a escolha do método, que deve propiciar a inferência mais precisa e realista possível, devendo ser avaliado segundo parâmetros estatísticos adequados. O estudo e a

identificação de parâmetros genéticos como a acurácia, o coeficiente de variação genética e herdabilidade entre caracteres de grande importância, permitem conhecer a variabilidade genética, o grau de expressão de um caráter de uma geração para outra e a possibilidade de ganhos por meio da seleção direta ou indireta (RESENDE, 2007; ROCHA et al., 2003).

No contexto de avaliação genotípica, o parâmetro estatístico mais importante é a acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}). Esse parâmetro refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do material genético e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos de campo. A acurácia é tanto mais alta quanto menor for os desvios absolutos entre os valores genéticos paramétricos ou verdadeiros e os valores genéticos estimados ou preditos (RESENDE, 2007). A alta acurácia é indicativa de ótima relação entre os valores preditos e os reais, o que resulta em segurança na seleção de clones agronomicamente superiores (RESENDE; DUARTE, 2007). Resende (2007) sugere que nas diferentes fases dos programas de melhoramento genético a acurácia seja no mínimo igual a 0,70. Dessa maneira, os valores preditos não são iguais aos valores genéticos verdadeiros e a proximidade entre esses dois valores é traduzida pela acurácia, a qual mostra o grau de confiabilidade dos resultados na avaliação genética do caráter.

A estimativa da herdabilidade (h^2) é um dos parâmetros genéticos de grande utilidade para os melhoristas, pois quantifica a fração da variação fenotípica de natureza herdável, passível de ser explorada na seleção (ROSADO et al., 2012). Caracteres com alta herdabilidade possuem menor influência do ambiente, enquanto caracteres com baixa herdabilidade têm forte componente ambiental, o que faz este caráter variar aleatoriamente, diminuindo sua eficiência discriminatória. Além disso, baixas estimativas de herdabilidade podem indicar pequena variabilidade genética da característica no material estudado (SEVERINO et al., 2002). A herdabilidade no sentido amplo (h_g^2) considera a variação genética total, livre da interação com ambiente. Outro tipo de herdabilidade estudada, a herdabilidade da média de genótipos (h_{mg}^2) é estimada quando se usam médias como unidade de avaliação/seleção, sendo um parâmetro que interessa para a predição do sucesso do

melhoramento na seleção de clones, em que os valores genotípicos são preditos com base em média de várias repetições (MAIA et al., 2009).

Dentre as vantagens do modelo misto utilizado para mensurar estes parâmetros tem-se: fornecer a estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica; possibilidade de lidar com desbalanceamento, heterogeneidade de variâncias; considerar erros correlacionados dentro de locais; uso com número de ambientes; fornecer valores genéticos já descontados (penalizados) da instabilidade; considerar a estabilidade e adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênie; gerar resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado; permitir computar o ganho genético com a seleção pelos três atributos simultaneamente (RESENDE, 2002).

Vários estudos observaram comportamento contrastante de genótipos para tolerância à DFPC (SÁNCHEZ et al., 2006; SALCEDO et al., 2010; CANTO et al., 2013), e as sugestões de avaliação baseiam-se em metodologias diversas, fazendo haver uma subjetividade na avaliação adotada. Outra questão é a seleção e recomendação de genótipos com características de interesse, objetivo maior do melhoramento genético. Entretanto, quando os genótipos são testados em vários ambientes (anos e locais), a identificação dos genótipos superiores é dificultada pela interação genótipo x ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCALÁ, L.A.; CASTILLO, S.G. Tecnologías para el manejo poscosecha del cultivo de la yuca. **Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA)**; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2006, 64 p.

ALLEM, A C. The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). **Genetic Resource and Crop Evolution**, v. 41, p.133-150.1994.

ALVES, A.; CANSIAN, R.L.; STUART, G.; VALDUGA, E. Alterações na qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas. **Ciência Agrotécnica**, v. 29, p. 330-337, 2005.

ALVES, A.A.C. Fisiologia da mandioca. **Embrapa Mandioca e Fruticultura (INFOTECA-E)**. Cruz das Almas, Bahia. cap.7, p. 139-162, 1990.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.

APOSTOL, I.; HEINSTEIN, P.F.; LOW, P.S. Rapid stimulation of an oxidative burst during elicitation of cultured plant cells: role in defense and signal transduction. **Plant Physiology**, v. 90, p. 106-116, 1989.

ARISTIZABAL, J.; SANCHEZ, T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. **Boletín de servicios agrícolas de la FAO**, p. 134, 2007.

BARROS, G. S. de C. **Melhoria da competitividade da cadeia agroindustrial de mandioca no Estado de São Paulo**. São Paulo: SEBRAE; Piracicaba, SP: ESALQ: CEPEA, 2004. 347p.

BAT'KOVÁ, P.; POSPISILOVÁ, J.; SYNKVÁ, H. Produção de espécies reativas de oxigênio e desenvolvimento de sistemas antioxidantes durante *in vitro* crescimento e *ex vitro* de transferência. **Biologia Plantarum**, v. 52, p. 413-422, 2008.

BEECHING, J. R. **Identifying target points for the control of post-harvest physiological deterioration in cassava**. Relatório final do programa pós-colheita de culturas, 2001, p. 31.

BEECHING, J.R.; DODGE, A.D.; MOORE, K.G.; PHILLIPS, H.M.; WENHAM, J.E. Physiological deterioration in cassava: possibilities for control. **Tropical Science**, v. 34, p. 335-343, 1994.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. (ed). **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010, p. 1-30.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E; FAGERSTEDT, K.V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v.91, p.179-194, 2003.

BOS, I.; CALIGARI, P. **Selection methods in plant breeding**. 1997, p. 347.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, London, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRAY, E. A. Alterations in gene expression in response to water deficit. In: BARSA, A.S. **Stress-induced gene expression in plants**, 1994, p. 1 – 23.

BRENCH, J.K. (2003). Underground storage organs. In: BARTZ, J.A.; BRENCH, J. K. (eds.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. Marcel Dekker, New York, 2003, p, 625-647.

BUSCHMANN, H.; RODRIGUEZ M.X.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Accumulation of hydroxycoumarins during post-harvest deterioration of tuberous roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Annals of Botany**, v.86, p.1153-1160, 2000.

BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Agros Comunicação, 2002, p. 420.

CALATAYUD, P. A.; MÚNERA, D. F. Defensas naturales de la yuca a las plagas e artrópodos. In: OSPINA, B. CEBALLOS, H. (eds.). **La yuca en el tercer milenio: sistemas 83 modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización**. Cali: CIAT, 2002. p. 250-254.

CANTO, A.R.; JÚNIOR, N. da S.F.; BELEIA, A. Alterações químicas e histológicas em mandiocas armazenadas das cultivares Catarina Amarela e Catarina Branca. **Acta Agronômica**, v.62, p. 105-113, 2013.

CANTWELL M. Postharvest handling systems, minimally processed fruits and vegetables. In: KADER AA (ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2.ed. Davis: University California. Division of Horticultural and Natural Resources, 1992, p. 277-281.

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

CARVALHO, P.C.L de. Caracterização da cadeia industrial. In: SOUZA, L.S.; FARIAS, A.R.; MATTOS, P.L.P.; FUKUDA, W.M.G. (eds.). **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. cap. 5, p. 112-125.

CARVALHO, V.D.; CHALNFOUN, S.M.; CLEMENTE, E.; LEITE, I.P. Relação entre compostos fenólicos, atividade de peroxidase, polifenoloxidase e deterioração fisiológica em raízes de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.4, n.2, p.89-96, 1985.

CEBALLOS, H.; FREGENE, M.; PEREZ, J.C.; MORANTE, N.; CALL, F. Cassava genetic improvement. In: KANG, M.S.; PHIYADARSHAN, P.M. (ed.). **Breeding major food staples**. Blackwell Publ., Ames, IA., p. 365-391, 2007.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. Conservação de raízes. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. (eds.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, 2003. v.3, p. 13-29.

CHÁVEZ, A. L.; SÁNCHEZ, T.; JARAMILLO, G.; BEDOYA, J. M.; ECHEVERRY, J.; BOLAÑOS, E. A.; CEBALLOS, H.; IGLESIAS, C. A. Variation of quality traits in cassava roots evaluated in landraces and improved clone. **Euphytica**, v. 143, p. 125–133. 2005.

COCK, J.H. Cassava. In: GOLDSWORTHY, P.R.; FISHER, N.M. (ed.). **The physiology of tropical field crops**. New York: JohnWiley, p.529-549, 1984.

CORDEIRO, I., SECCO, R., SILVA, M. J. da, SODRÉ, R.C. 2013. *Manihot*. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB17591> (acesso em 21.04.2014).

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed., v.1. Viçosa, MG: UFV, 2004, 480 p.

CRUZ, C. D., TORRES, R. A. A., VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

DATA, E.S.; QUEVEDO, M.A.; GLÓRIA, L.A. Pruning techniques affecting the root quality of cassava at harvest and subsequent storage. In: URITANI, J.; REYES, E.D.

(eds.). **Tropical root crops**: postharvest physiology and processing. Scientific Societies Press, 1984, p. 127 – 143.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1 p.36-40, 1966.

EKANAYAKE, I.; LYASSE, O. Genotypic variations in physiological deterioration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) storage roots under inland valley conditions. **Food, Agriculture & Environment**, v. 1, p. 108-111, 2003.

ELIAS, M.; McKEY, D.; PANAUD, O.; ANSTETT, M. C.; ROBERT, T. Traditional management of cassava morphological and genetic diversity by the Makushi Amerindians (Guyana, South America): perspectives for on-farm conservation of crop genetic resources. **Euphytica**, v. 120, p.143–157, 2001.

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

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v.56, p. 481-501, 2004.

ENVANGELISTA, J. **Tecnología de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2000. p.652.

FAO. **Food Agriculture Organization**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 28 de maio, 2015.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. **Plant Cell**, v.17, p. 1866 – 1875, 2005.

FUKUDA, W.M.G. **Associação brasileira dos produtores de amido de mandioca**. Embrapa pesquisa mandioca para indústria de amido, v. 3, p.1, 2005.

FUKUDA, W. M. G.; SILVA, S. O. E. Melhoramento de mandioca no Brasil. In: CEREDA, M. P. (org.). **Agricultura**: tuberosas amiláceas latino americanas. São Paulo: Fundação Cargil, v. 2, p. 242- 257, 2002.

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

FUKUDA, W.M.G.; SILVA, R.C.A.; BORGES, M.F. Seleção de cultivares de mandioca para consumo “in natura”. **Revista Brasileira de Mandioca**, v. 7, p.7-18, 1989.

FUKUDA, W.M.G.; BORGES, M.F. Avaliação qualitativa de mandioca de mesa. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.7, p.7-63. 1988.

GAVA, J.A. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Nobel, 1999, p.132.

GIL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

GLÓRIA, L., URITANI, I. Changes in β -carotene content of golden yellow cassava in relation with physiological deterioration. In: URITANI, I.; REYES, E.G. (ed.). Tropical Root Crops In: Postharvest Physiology and Processing. **Japan Scientific Societies Press**, 1984, p. 163- 168.

HAN, Y.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; REILLY, K.; LI, H.; TOHME, J.; COOPER, R.M.; BEECHING, J.R. Hydroxyproline-rich glycoproteins expressed during stress responses in cassava. **Euphytica**, v.120, p.59-70, 2001.

HAQUE, M.R.; BRADBURY, J.H. Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods. **Food Chemistry**, v.77, p.107-114, 2002.

HIROSE, S.; DATA, E.S.; QUEVEDO M.A.; URITANI, I. Relation between respiration and postharvest deterioration in cassava roots. **Japan Journal of Crop Sciences**, v. 53, p. 187- 196, 1984.

HUANG, J.; BACHEM, C.; JACOBSEN, E.; VISSER, R.G.F. Molecular analysis of differentially expressed genes during postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tuberous roots. **Euphytica**, v.120, p. 85–93, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>. Acesso em: 10 maio de 2015.

IGLESIAS, C.A., CALLE, F., HERSEY, C., JARAMILLO, G., MESA, E. Sensitivity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) clones to environmental-changes **Field Crop Research**, v. 36, 213-220, 1994.

IYER, S.; MATTINSON, D.S.; FELLMAN, J.K. Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. **Tropical Plant Biology**, v.3, p.151–165, 2010.

KATO, M.S.A.; CARVALHO, V.D.; CORREA, H. Efeito da poda na deterioração fisiológica, atividade enzimática e nos teores de compostos fenólicos em raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.26, p. 237-245, 1991.

KOBLITZ, M. G. B. Mandioca In: KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 36-41.

KOTCHONI, S. O.; GACHOMO, E.W. The reactive oxygen species network pathways: an essential prerequisite for perception of pathogen attack and the acquired disease resistance in plants. **Journal of Bioscience**, v.31, p.389-404, 2006.

LAURENTE, C.; CLEMENTE, E. Avaliação da atividade da peroxidase em carambola (*Oxalidacia avertroha*) em diferentes estágios de maturação. **Acta Scientiarum**, v.27, p.159-163, 2005.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivars x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p.193-198, 1988.

LORENZI, J.O. **Mandioca**. 1ªed. Campinas, CATI, 2003.116p (Boletim Técnico, 245).

LOURENÇO, E.J.; NEVES, V.A. da; SILVA, M.A. Polifenoloxidase de batata-doce: Purificação e propriedades. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v.40, p.2369-2373, 1992.

LUENGO, R. de F.A.; GALBO, A.G. (ed.). **Embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 256p.

MAHANTA, P.K.; BORUAH, S.K.; BORUAH, H.K.; KALITA, J.N. Changes of polyphenol oxidase and peroxidase activities and pigment composition of some manufactured black teas (*Camellia sinensis* L.) **American Chemical Society**, v.41, p.272-276, 1993.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V., PAIVA, J.R.; CAVALCANTI, J.J.V.; BARROS, L. de M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.39, p.43-50, 2009.

MATTOS, P.L.P. de; ALMEIDA, P.A. de. Colheita. In: **Aspectos sócioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p.736- 750.

MATTOS, P. L. P. de. Consorciação. In: MATTOS, P. L. P de.; GOMES, J de. C. (coord.). **O cultivo da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. (Circular Técnica nº 37). p. 33-41.

McMAHON, J.; WHITE, W.; SAYRE, R. Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta*). **Journal of Experimental Botany**, v.46, p. 731–741, 1995.

MELLON, J.E. Purification and characterization of isoperoxidases elicited by *Aspergillus flavus* in cotton ovule cultures. **Plant Physiology**, v.95, p.14-20, 1990.

MENOLLI, L.N.; FINGER, F.L.; PUIATTI, M.; BARBOSA, J.M.; RARROS, R.S. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata-baroa. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, p.57-63, 2008.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, v.9, p.405-410, 2002.

MORANTE, N.; SANCHEZ, T.; CEBALLOS, H.; CALLE, F.; PEREZ, J.C.; EGESI, C.; CUAMBE, C.E.; ESCOBAR, A.F.; ORTIZ, D.; CHAVEZ, A.L.; FREGENE, M. Tolerance to postharvest physiological deterioration on in cassava roots. **Crop Science**, v.50, p.1333-1338, 2010.

MRODE, R. A. **Linear models for the prediction of animal breeding values**. 2nd ed. Wallingford: CABI, 2005.

OIRSCHOT, Q.; O'BRIEN, G.M.; DUFOUR, D.; EI-SHARKAWY, M.A.; MESA, E. The effect of pre-harvest pruning of cassava upon root deterioration and quality characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.1866-1873, 2000.

ORLANDINI, P.; LIMA, L.R. de. Sinopse do gênero *Manihot* Mill. (Euphorbiaceae) no Estado de São Paulo, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, p. 51-60, 2014.

OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. Cultivo da mandioca na região Centro Sul do Brasil. **Sistemas de produção**, p.11-111, 2002.

OWITI, J.; GROSSMANN, P. G.; DESSIMOZ, C.; LALOI, C.; HANSEN, M.B.; GRUISSEM, W.; VANDERSCHUREN, H. iTRAQ-based analysis of changes in the cassava root proteome reveals pathways associated with post-harvest physiological deterioration. **The Plant Journal**, v. 67, p. 145–156, 2011.

PADMAJA, G. Cyanide detoxification in cassava for food and feed uses. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 35, p.299-329, 1995.

PAIVA, F.F.A. Conservação e armazenamento de raízes de mandioca. **Circular Técnica**. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará, n.8, p.7-37, 1994.

PARANAÍBA, J.L.V.; CHAGAS, S.J. de R.; COSTA, L. Efeitos da poda e uso de embalagens na conservação de raízes de mandioca durante o armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.269-276, 1996.

PLUMBLEY, R.A., RICHARD, J.E. Post-harvest deterioration of cassava. **Tropical Science**, v. 31, 295-303, 1991.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. 1993, p. 271.

RAVI, V.; AKED, J.; BALAGOPALAN, C. Review on tropical root and tuber crops I. Storage methods and quality changes. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 36, p. 661-709, 1996.

REILLY, K.; BERNAL, D.F.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Towards identifying the full set of genes expressed during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.64, p.187-203, 2007.

REILLY, K.; GÓMEZ-VÁSQUEZ, R.; BUSCHMANN, H.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.56, p. 625–641, 2004.

REILLY, K.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; BUSCHMAN, H.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.53, p.669-685, 2003.

REILLY, K.; HAN, Y.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Isolation and characterization of a cassava catalase expressed during post-harvest physiological deterioration. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1518, p.317-323, 2001.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007. 561p.

RESENDE, M.D.V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, (Documentos, 100), 2004, 65p.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002, 975p.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p. 182-194, 2007. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007, 561p.

RICHARD, J.E. Physiological deterioration of cassava roots. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 36, p. 167-176, 1985.

ROCHA, M. M. et al. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi de tegumento branco. **Revista Científica Rural**, v.8, p. 135-141, 2003.

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com a produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.964-971, 2012.

SALCEDO, A.; SIRITUNGA, D. Insights into the physiological, biochemical and molecular basis of postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta*) roots. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.1, p. 414-431, 2011.

SALCEDO, A.; DEL VALLE, A.; SANCHEZ, B.; OCASIO, V.; ORTIZ, A.; MARQUEZ, P.; SIRITUNGA, D. Comparative evaluation of physiological post-harvest root deterioration of 25 cassava (*Manihot esculenta*) accessions: visual vs. hydroxycoumarins fluorescent accumulation analysis. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p. 3138-3144. 2010.

SÁNCHEZ, T.; CHÁVEZ, A.L.; CEBALLOS, H.; RODRIGUES-AMAYA, D.B.; NESTEL, P.; ISHITANI, M. Reduction or delay of post-harvest physiological

deterioration in cassava roots with higher carotenoid content. **Journal Science and Food Agriculture**, v.86, p.634–639, 2006.

SANCHEZ, T.; CHAVEZ, A.L.; CEBALLOS, H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; NESTEL, P.; ISHITAMI, M. Reduction or delay of post-harvest physiological deterioration in cassava roots with higher carotenoid content. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, p. 634-639, 2005.

SCANDALIOS, J. G. Oxigen stress and superoxide desmutase. **Plant Physiology**, v. 101, p. 7-12, 1993.

SERKEDJIEVA, J. Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. In: GUPTA, S.D. (ed.). **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. v.13, p.275-293.

SEVERINO, L.S.; SAKIYAMA, N.S.; PEREIRA, A. A.; MIRANDA, G.V.; ZAMBOLIM, L.; BARROS, U.V. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”). **Acta Scientiarum**, v.24, p.1467-1471. 2002.

SILVA, G.G.C. da; NUNES, C.G.F.; OLIVEIRA, E.M.M; SANTOS, M.A. dos. Toxicidade cianogênica em partes da planta de cultivares de mandioca cultivados em Mossoró-RN. **Revista Ceres**, v.51, p.56-66, 2004.

SILVA, V.V.; SOARES, N.F.F.; GERALDINE, R.M. Efeito da embalagem e temperatura de estocagem na conservação da mandioca minimamente processada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, p. 197-202, 2003.

SOUZA, L.S.da; FARIAS, A.R.N.; MATTOS, P.L.P. de; FUKUDA, W.M.G. **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca.** Cruz das Almas – Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006, p. 817.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L da. S. Clima e solo. In: MATTOS, P. L. P de; GOMES, J de. C. (coord.). **O cultivo da mandioca.** Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. (Circular Técnica nº 37). p. 11-13.

TANAKA, Y.; URITANI, I. Purification and properties of phenylalanine ammonia-lyase in cut, injured sweet potato. **Journal of Biochemistry**, v.81, n.4, p.963-970, 1984.

TANAKA, Y.; DATA, E.S.; HIROSE, E.S.; TANAGUCHI, T.; URITANI, I. Biochemical changes in secondary metabolites in wounded and deteriorated cassava roots. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 47, p. 693-700, 1983.

TONUKARI, N. J. Cassava and the future of starch. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 7, p. 5-8, 2004.

VALLE, T.L.; LORENZI, J.O. Variedades melhoradas de mandioca como instrumento de inovação, segurança alimentar, competitividade e sustentabilidade: contribuições do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.31, p. 15-34, 2014.

VALLE, T.L.; CARVALHO, C.R.L.; RAMOS, M.T.B.; MÜHLEN, G.S.; VILLELA, O.V. Conteúdo cianogênico em progênies de mandioca originadas do cruzamento de variedades mansas e bravas. **Bragantia**, v.63, p.221-226, 2004.

VAN OIRSCHOT, Q.E.A.; O'BRIEN, G.M.; DUFOUR, D.; EL-SHARKOWY, M.A.; MESA, E. The effect of pre-harvest pruning of cassava upon root deterioration and quality characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.1866-1873, 2000.

WESTBY, A. Cassava utilization, storage and small-scale processing. In: HILLOCKS, R.J.; THERESH, J.M.; BELLOTTI, A.C. (eds.) **Cassava Biology, Production and Utilization**, CABI publishing Oxfordshire, UK., 2002, p. 480.

WHEATLEY, C.C.; CHUZEL, G. Cassava: The nature of the tuber and use as a raw material. In: MACRAE, R.; ROBINSON, R.K.; SADLER, M.J. (ed). **Encyclopedia of food science, food technology, and nutrition**. San Diego: Academic Press, p. 734-743, 1993.

WHEATHEY, C.C. **Conservación de raíces de yucca en bolsas de polietileno**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1987. p.33.

WHEATLEY, C.; LOZANGO, C.; GOMEZ, G. Post-harvest deterioration of cassava roots. In: COCK, J.H.; REYES, J.A. (ed.) **Cassava: Research, production and utilization**. UNDP-CIAT, Cali, Colombia, 1985, p.655–671.

CAPÍTULO 1

DESENVOLVIMENTO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA EM MANDIOCA¹

¹Artigo publicado na revista *Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)*

(Development of a diagrammatic scale for the evaluation of postharvest physiological deterioration in cassava roots, v.50, n.8, p.658-668, 2015).

DESENVOLVIMENTO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA EM MANDIOCA

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma escala para avaliar a severidade da deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) da mandioca. Uma escala diagramática (0 a 100%) referente à área lesionada das raízes foi avaliada de acordo com sua precisão, acurácia e reprodutibilidade. Sete avaliadores (quatro experientes e três inexperientes) quantificaram a severidade da DFPC, com ou sem o uso da escala, considerado-se 150 raízes com diferentes níveis de DFPC. Sem e com o uso da escala, respectivamente, os avaliadores inexperientes obtiveram coeficiente de determinação (R^2) de 0,76 a 0,86 e de 0,87 a 0,92, e os avaliadores experientes obtiveram R^2 de 0,90 a 0,96 e de 0,96 a 0,97. Os valores do intercepto (a), obtidos tanto pelos avaliadores experientes quanto pelos inexperientes, sem uso da escala, foram significativos, enquanto, após o uso da escala, apenas dois avaliadores obtiveram valores que não foram significativamente diferentes de um. A reprodutibilidade das avaliações entre os avaliadores variou de 0,61 a 0,91, para os inexperientes, e de 0,83 a 0,95, para os experientes. A escala diagramática proposta foi considerada adequada para estimar a severidade da DFPC em raízes de mandioca e poderá ser utilizada para identificar fontes de tolerância à deterioração pós-colheita.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, processos fisiológicos, vida de prateleira.

DEVELOPMENT OF A DIAGRAMMATIC SCALE FOR THE EVALUATION OF POST-HARVESTED PHYSIOLOGICAL DETERIORATION IN CASSAVA

ABSTRACT: The objective of this work was to develop and validate a scale to assess the severity of postharvest physiological deterioration (PPD) of cassava roots. A diagrammatic scale (0 to 100%) for the damaged roots was analyzed according to precision, accuracy, and reproducibility. Seven evaluators (four with experience and three without it) quantified the PPD severity, with or without the scale, considering 150 roots with different levels of PPD. Without and with the use of the scale, respectively, the inexperienced evaluators obtained coefficients of determination (R^2) from 0.76 to 0.86 and 0.87 to 0.92, and the experienced evaluators obtained R^2 from 0.90 to 0.96 and 0.96 to 0.97. The values of the intercept (a) obtained by both the experienced and inexperienced evaluators who did not use the scale were all significant, while after using the scale, only two evaluators got values that were not significantly different from one. Evaluation reproducibility between the evaluators ranged from 0.61 to 0.91 for the inexperienced ones and from 0.83 to 0.95 for the experienced ones. The proposed diagrammatic scale was considered appropriate to estimate the severity of PPD in cassava roots, and can be used to identify sources of tolerance to postharvest deterioration.

Keywords: *Manihot esculenta*, physiological processes, shelf life.

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) representa um importante papel na dieta alimentar mundial, por seu alto teor energético, facilidade de cultivo, baixa incidência de pragas e doenças, tolerância a seca e solos ácidos e flexibilidade na colheita, caracterizando a cultura com elevada segurança alimentar em alguns países (SÁNCHEZ et al., 2006). No entanto, a mandioca é afetada por uma vida curta de prateleira devido a um rápido processo de deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) que torna a raiz impalatável e sem valor comercial no período de 24 a 48h após a colheita (SÁNCHEZ et al., 2006; MORANTE et al., 2010), com desenvolvimento de estrias azuladas ou marrom escuras nos tecidos parenquimáticos, seguido por um escurecimento (SALCEDO; SIRITUNGA, 2011). Devido à elevada perecibilidade da raiz de mandioca causada pela DFPC, as perdas econômicas são inevitáveis, impactando negativamente o fornecimento de raízes como matéria-prima para consumo *in natura* ou industrial. As perdas causadas por DFPC podem ocorrer durante várias etapas da cadeia produtiva, o que torna difícil estimar as perdas totais, embora observações de campo indicam perdas acima de 60% quando as raízes não forem tomadas para processamento após três dias de colheita.

Os processos de DFPC envolvem a produção de espécies ativas de oxigênio (EAO) relacionadas com a respiração aeróbia. A EAO é capaz de iniciar a transdução de sinal em cascatas que ativam a expressão dos genes relacionados com a defesa e imediatamente causam danos celulares e rápida oxidação de componentes celulares (ZIDENGA et al., 2012).

Em geral, a principal medida para mitigar as perdas que são causadas pela DFPC é no momento da colheita, período de maior ocorrência de danos mecânicos nas raízes, de modo que as estas são armazenadas no campo até o momento da comercialização. No entanto, este processo tornam as raízes vulneráveis às flutuações de preços pelos produtores e, requer uma logística diferenciada. Outras medidas, como a embalagem das raízes em sacos plásticos ou em câmara fria e a proteção das raízes com cera de parafina, foram sugeridas (CEREDA; VILPOUX, 2003; ARISTIZABAL; SÁNCHEZ, 2007). No entanto, essas estratégias envolvem um

custo enorme para o sistema de produção de mandioca, tornando-as economicamente inviáveis.

Ademais, o desenvolvimento de variedades de mandioca tolerantes a DFPC a médio e longo prazo, é uma estratégia economicamente viável, no que se refere a pesquisas desenvolvidas pelo setor público, que culmina na diminuição dos gastos de produção da cultura, quando relacionados à outros métodos de curto prazo que são mais onerosos na sua cadeia de produção e comercialização. Vários estudos observaram comportamento contrastante de genótipos para tolerância à DFPC (SÁNCHEZ et al., 2006; SALCEDO et al., 2010; CANTO et al., 2013).

Wheatley et al. (1985) sugeriram a avaliação da severidade da DFPC por uma metodologia baseada na quantificação visual do sintoma distribuído por meio de uma escala (0 a 100%). Esta escala de notas considera a avaliação do perímetro afetado pela DFPC. Entretanto, observações recentes demonstraram que muitos acessos de germoplasma não se ajustam adequadamente a este tipo de distribuição dos sintomas. O desenvolvimento de uma escala diagramática para avaliação da severidade causada pela DFPC deve servir de auxílio para minimizar a subjetividade estimada pelo avaliador a fim de evitar discrepância nos resultados.

Assim, é necessário desenvolver métodos confiáveis, fáceis de manusear e adaptados a diferentes sintomas de DFPC que ocorram em diferentes níveis de tonalidade nos tecidos parenquimáticos. Neste contexto, há uma lacuna em relação ao desenvolvimento de ferramentas adequadas para avaliação/quantificação da DFPC, de fácil e rápida utilização, com alta acurácia, precisão e reprodutibilidade. A acurácia representa o grau de proximidade entre a severidade estimada e a severidade real. A precisão refere-se à variação ou repetibilidade associadas com uma estimativa e a reprodutibilidade refere-se a ausência de variação em estimativas quando a mesma amostra é avaliada por outro avaliador (NUTTER Jr.; SCHULTZ, 1995).

A exemplo do que ocorre com doenças de plantas, a quantificação da severidade dos sintomas da DFPC pode ser estimada visualmente, sendo suscetível a grande subjetividade e erros. Por outro lado, várias estratégias têm sido propostas para minimizar a subjetividade das estimativas de severidade, dentre as quais se

destacam as escalas diagramáticas, que consistem na representação ilustrada de estresse biótico e abiótico, orientando na estimativa visual de modo que a avaliação torne-se mais precisa e acurada.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma escala para avaliação da severidade da deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) em raízes de mandioca, e sua validação por meio das estimativas de precisão, acurácia e reprodutibilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Elaboração da escala diagramática

Para a elaboração da escala diagramática, raízes de mandioca BRS Formosa foram coletadas na área da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas (BA). Plantas de mandioca foram cuidadosamente colhidas aos 11 meses para evitar dano físico, e armazenadas à temperatura ambiente. Raízes com 20-30 cm foram cortadas transversalmente (1 cm) todos os dias, até 20 dias para monitorar o progresso da DFPC. Os cortes foram fotografados individualmente com auxílio de uma câmera fotográfica digital de alta resolução e as imagens foram digitalizadas na resolução de 300 dpi (Sony SLT A37KDT 18-55 mm).

Um total de 150 imagens das seções transversais das raízes com diferentes níveis de severidade da deterioração fisiológica foram analisadas utilizando o software Assess® (The American Society Phytopathological, St. Paul, MN, EUA), que foram selecionadas para determinar a área total e área lesada de cada seção transversal da raiz. Estes dados foram utilizados como os valores reais de severidade causados pela DFPC nos modelos de regressão linear, utilizando a fórmula $y = bx + a$, em que: y representa a pontuação prevista; b é o declive da linha; e a é o intercepto de y .

Validação da escala diagramática

Para validação da escala diagramática para DFPC, foram utilizadas 150 imagens de raízes de mandioca de diversos genótipos apresentando diferentes níveis de severidade de DFPC (0 a 100%). A severidade da doença foi avaliada por sete avaliadores (numeradas de 1 a 7), sendo quatro sem experiência (1 a 4) e três

com experiência (5 a 7). A distinção entre avaliadores experientes e inexperientes refere-se às pessoas que trabalham diretamente com avaliação de DFPC em raízes de mandioca e as que são leigas sobre esse distúrbio fisiológico, respectivamente. Inicialmente, os avaliadores estimaram a severidade, em percentagem, para cada uma das 150 imagens de raízes anteriormente analisadas com o uso do software Assess®, organizadas de forma aleatória quanto à severidade, sem o uso da escala diagramática. Na segunda etapa, após uma semana, os avaliadores utilizaram a escala diagramática proposta para estimar a severidade de DFPC (Figura 1).

A acurácia e a precisão das estimativas visuais dos avaliadores foram determinadas por regressão linear simples. A precisão da escala, que mede a confiabilidade na avaliação da doença foi quantificada pela análise da variância de erros absolutos (severidade estimada menos severidade real) e pelos coeficientes de determinação de regressões lineares, considerando que quanto mais próximo de um for o coeficiente de determinação (R^2) maior será a precisão.

A acurácia, que representa o grau de proximidade entre severidade observada e severidade real, foi avaliada pelo intercepto (a) e pelo coeficiente angular da regressão linear (b) segundo a interseção das linhas de regressão, entre a severidade real e a estimativa pelos avaliadores. Quanto mais próximo de zero for o intercepto da regressão linear (a) e mais próximo de um o coeficiente angular (b) maior a acurácia das estimativas (MAZARO et al., 2006).

Valores de intercepto significativamente diferentes de 0 indicam presença de desvios constantes, enquanto valores de coeficiente angular da reta que desviam significativamente de um, indicam presença de desvios sistemáticos. Aplicou-se o teste t aos interceptos das regressões lineares (a) e aos coeficientes angulares (b) de todos os avaliadores para verificar se foi significativamente diferente de zero e um, respectivamente. A reprodutibilidade das estimativas foi determinada pelos valores de R^2 obtidos de regressões lineares entre as severidades estimadas por diferentes avaliadores combinados aos pares. As análises de regressão linear e dos erros absolutos e o significado de parâmetros das equações foram analisados na versão 3.0.1 do software R (R Development Core Team, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de severidade são representados pela escala proposta: 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100% (Figura 1). Todos os valores das notas foram representados nas 150 imagens fornecidas aos avaliadores, visando representação completa da escala de classificação. Entretanto, a severidade média da deterioração fisiológica foi de 44%, das imagens avaliadas.

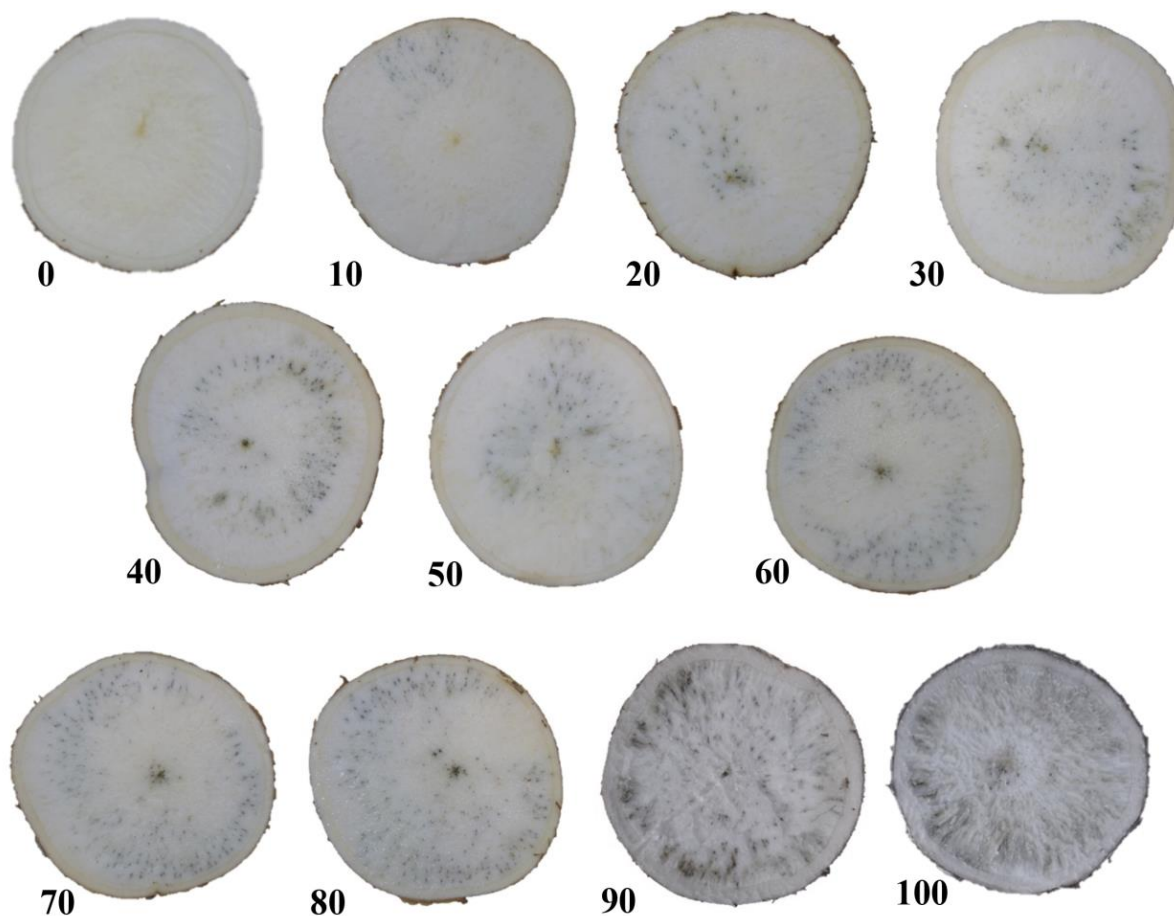


Figura 1. Escala diagramática para avaliação de severidade da deterioração fisiológica de raízes de mandioca indicando os níveis de 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100% de área lesionada.

De modo geral, observou-se que a precisão na avaliação dos sintomas da DFPC estimada pelo R^2 foi bastante elevada, com ou sem uso da escala diagramática (Tabela 1). Sem o uso da escala o R^2 para as retas de regressão entre severidade real e estimada variou de 0,76 a 0,86 para os avaliadores inexperientes e

de 0,90 a 0,96 para os experientes. A média conjunta dos avaliadores foi de 0,81 e 0,93 para os avaliadores inexperientes e experientes, respectivamente, com média geral de 0,86. Com uso da escala de notas para DFPC o coeficiente de determinação (R^2) entre os avaliadores inexperientes variou de 0,87 a 0,92, e entre os experientes de 0,96 a 0,97, com média geral de 0,93.

Tabela 1. Intercepto (*a*), coeficiente angular (*b*) e coeficiente de determinação (R^2) das equações de regressão linear calculadas entre severidade real e estimada da deterioração fisiológica pós-colheita em raízes de mandioca, mensuradas por sete avaliadores, com e sem o auxílio da escala de notas.

Avaliadores	Sem escala			Com escala		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
Inexperientes						
1	10,37 *	0,93 ^{ns}	0,86	8,35 *	0,89 ^{ns}	0,92
2	5,44 *	0,97 ^{ns}	0,80	1,54 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,91
3	5,44 *	0,84 ^{ns}	0,82	5,78 *	0,95 ^{ns}	0,88
4	15,60 *	0,92 ^{ns}	0,76	4,08 *	1,04 ^{ns}	0,87
Média	9,21	0,92	0,81	4,94	0,97	0,90
Experientes						
5	8,62 *	0,96 ^{ns}	0,90	4,67 *	0,93 ^{ns}	0,96
6	3,81 *	0,86 ^{ns}	0,92	0,87 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,97
7	3,70 *	0,94 ^{ns}	0,96	2,00 *	0,96 ^{ns}	0,97
Média	5,38	0,92	0,93	2,51	0,95	0,97
Média geral	7,57	0,92	0,86	3,90	0,96	0,93

* - situação em que a hipótese nula ($a=0$ e $b=1$) foi rejeitada pelo teste t ($p<0,05$).

Ao utilizar a escala de DFPC, os avaliadores melhoraram os níveis de precisão e acurácia das estimativas de severidade, a exemplo do observado por outros autores ao avaliarem a mancha-de-dendrophoma em morangueiro (MAZARO et al., 2006), mofo cinzento na mamoneira (SUSSEL et al., 2009) e mancha branca do milho (MALAGI et al., 2011). Alguns estudos mostram que existe certa variação entre avaliadores mesmo com o uso da escala, de tal forma que a acurácia e a precisão das avaliações são fortemente influenciadas pela habilidade em estimar severidade, inerente a cada avaliador (NUTTER Jr; SCHULTZ, 1995), que pode ser

afetada por fatores como complexidade da severidade e os diferentes tipos de DFPC em suas formas e cores. Ressalta-se que a utilização da escala de notas desenvolvida por Weatley et al. (1985) e a escala diagramática proposta, auxiliam na avaliação da severidade da DFPC na parte periférica e não-periférica da raiz, respectivamente, e são ferramentas complementares para a avaliação da DFPC, diante dos diversos tipos da severidade que acomete o parênquima de armazenamento da raiz da mandioca, melhorando com isso, a precisão nas avaliações.

Na validação da escala diagramática, os valores do intercepto (a) de todos os avaliadores sem o uso da escala, diferiram significativamente de zero ($p < 0,05$), indicando que as estimativas da severidade da DFPC foram superestimadas, com a presença de desvios positivos constantes para todos os níveis de severidade. Com uso da escala diagramática, dois avaliadores (um experiente e um não experiente) foram mais acurados na indicação dos valores da severidade causada pela DFPC (intercepto $p > 0,05$). Sem o uso da escala, o valor médio do intercepto (a) para os avaliadores inexperientes foi 9,21 e 5,38 para os experientes. Por outro lado, com o uso da escala, o valor médio do intercepto da regressão (a) entre os avaliadores inexperientes e experientes foi de 4,94 e 2,51, respectivamente (Tabela 1).

Outros estudos demonstraram que 60% dos avaliadores sofreram desvios sistemáticos sem o uso da escala, e após utilização da escala, esse número reduziu à metade (CELOTO; PAPA, 2010). Em maracujazeiro amarelo quatro avaliadores que não utilizaram a escala (dois experientes e dois inexperientes) superestimaram a severidade de antracnose em frutos, e após o uso da escala, apenas os dois inexperientes continuaram a apresentar desvios sistemáticos (FISCHER et al., 2009). Existe uma tendência natural em superestimar doenças em função da ilusão proporcionada pelo tamanho e número de lesões, que faz com que diversas lesões de menor tamanho tenham maiores notas em comparação com lesões maiores em menor número (VALE et al., 2004). Neste caso, a superestimação das notas pode ser reduzida com uso da escala diagramática. Outro aspecto importante para corrigir a tendência em superestimar a severidade do estresse, refere-se ao treinamento dos avaliadores para a utilização da escala (MICHEREFF et al., 2009).

Com relação aos valores do coeficiente angular (b), não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para nenhum avaliador, independente do uso ou não da escala para DFPC, indicando que não houve desvios sistemáticos na estimação da severidade da deterioração. O valor médio do coeficiente angular da reta (b) sem o uso da escala para ambos avaliadores foi de 0,92. Por outro lado, quando se utilizou a escala diagramática, o coeficiente b foi de 0,95 para os avaliadores experientes e 0,97 para os inexperientes, indicando uma redução significativa dos erros sistemáticos das estimativas de severidade e melhoria na acurácia (Tabela 1). Resultados similares foram observados em mancha de *Isariopsis clavispora* da videira (LENZ et al., 2009), mancha alvo da soja (SOARES et al., 2009) e *Cercospora spot* em pimentão (MICHEREFF et al., 2006).

Quando a avaliação foi realizada com uso da escala diagramática, houve melhoria significativa da acurácia dos avaliadores, uma vez que as médias de severidade foram próximas aos valores reais obtidos pela análise computadorizada (Figuras 2 e 3). A dispersão dos dados da severidade estimada e severidade real da DFPC sem o uso da escala diagramática revela uma alta dispersão dos dados entre os avaliadores inexperientes (Figura 2 A, B, C e D), sendo que apenas o avaliador A apresentou uma melhor precisão nas estimativas ($R^2 = 0,86$) (Figura 2). Por outro lado, ao analisar a dispersão dos dados entre os avaliadores experientes (Figura 2 E, F, e G), observa-se que o avaliador G foi o mais preciso, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,96.

Com a utilização da escala para DFPC observou-se para todos os avaliadores (inexperientes e experientes), uma maior precisão em comparação com a não utilização da escala. Isso pode ser comprovado pelo maior valor de R^2 que em média foi 10% e 7,5% maior para os avaliadores inexperientes e experientes, respectivamente quando comparado com o não uso da escala (Tabela 1 e Figura 3). Estudos similares, como o de Aquino et al. (2008), identificaram um aumento na precisão entre os avaliadores experientes de 11% e entre os inexperientes de 15%, ao utilizarem a escala para avaliação da mancha de *Ramularia gossypii* em algodoeiro. Semelhantemente, Fischer et al. (2009) observaram um incremento na precisão de 11% e 22% nos avaliadores experientes e inexperientes,

respectivamente após o uso da escala para avaliação de antracnose em frutos de maracujazeiro amarelo.

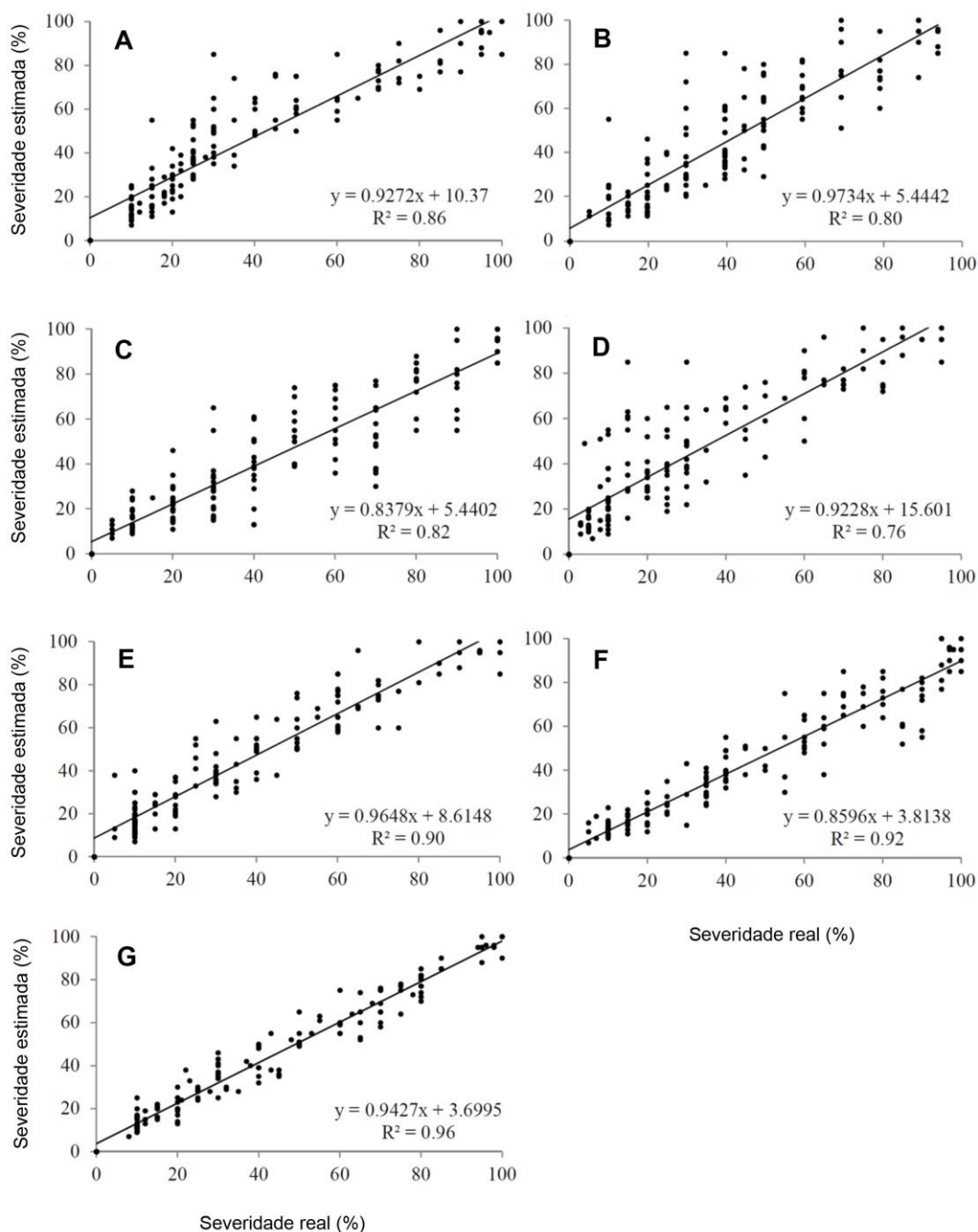


Figura 2. Relação entre severidade real (%) e severidade estimada (%) para deterioração fisiológica pós-colheita em raízes de mandioca, de acordo com estimativas obtidas por sete avaliadores (inexperientes: A, B, C, D; experientes: E, F, G) sem auxílio da escala diagramática.

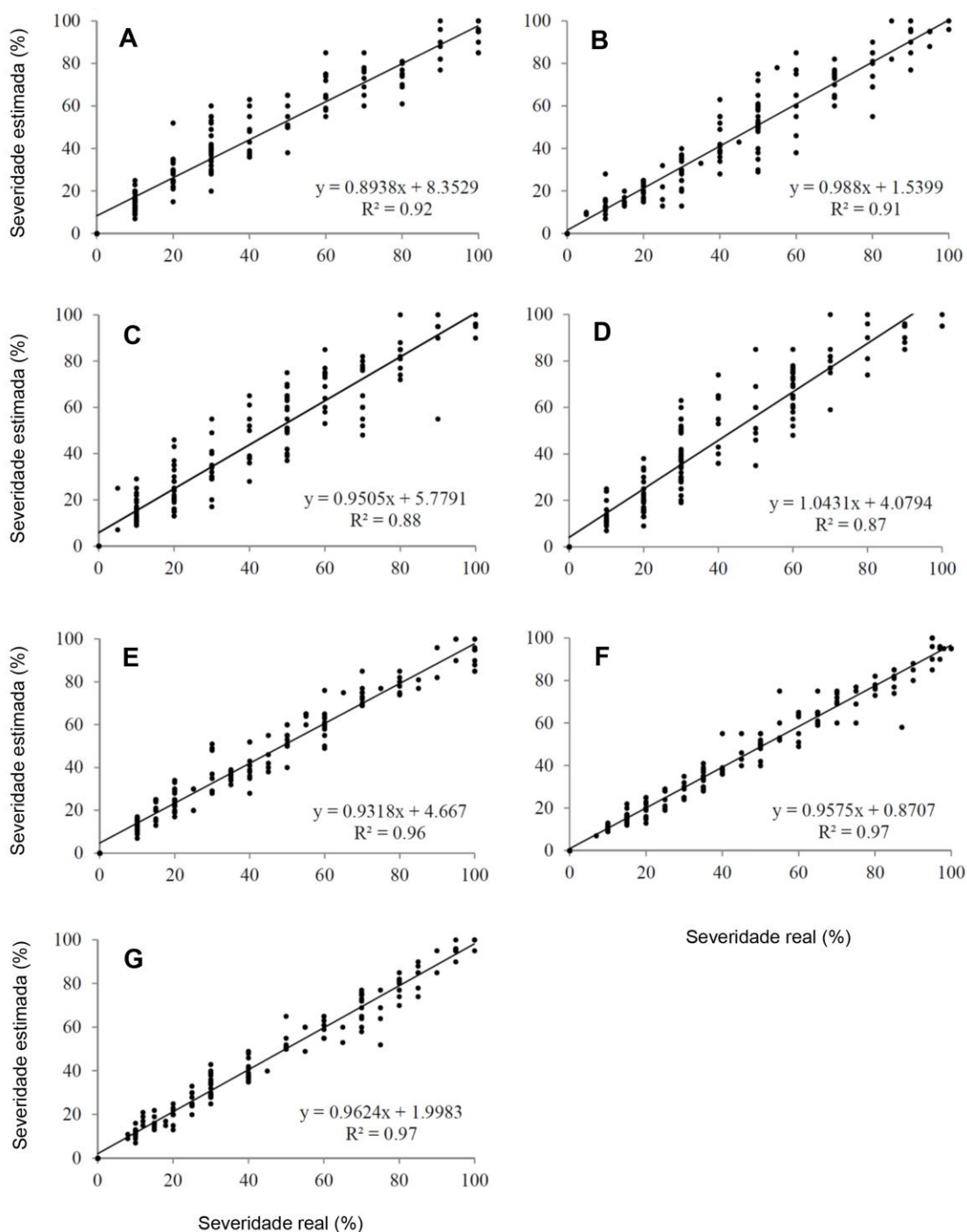


Figura 3. Relação entre severidade real (%) e severidade estimada (%) para deterioração fisiológica pós-colheita em raízes de mandioca, de acordo com estimativas obtidas por sete avaliadores (inexperientes: A, B, C, D; experientes: E, F, G) com auxílio da escala diagramática.

Nesses estudos observou-se que a utilização da escala entre os avaliadores inexperientes foi mais vantajosa em comparação com os avaliadores experientes. O uso de escalas para avaliação de doenças ou distúrbios fisiológicos orienta avaliadores na tomada de dados, tornando a avaliação mais precisa e acurada, e, apesar de não substituir a experiência e o conhecimento de sintomas característicos de um determinado patógeno ou estresse fisiológico, pode melhorar a eficiência do avaliador inexperiente, bem como de avaliadores experientes, pois fornece um ponto de referência para comparação (AQUINO et al., 2008).

De modo geral, observou-se redução dos erros absolutos para as estimativas obtidas com o auxílio da escala diagramática, comparada com a distribuição dos erros sem uso da escala, a exemplo do observado no estudo de Nascimento et al. (2005) que avaliaram o cancro bacteriano em videira e constataram que sem o uso da escala a diferença entre os resíduos chegaram a 73,8%, e após o uso da escala, permaneceram em 10%. Em outro patossistema, antracnose em bastão do imperador, os erros foram reduzidos de 25% para 10% após o uso da escala (BARGUIL et al., 2008).

Para os erros na quantificação da severidade, representados pelas diferenças entre os valores estimados e os reais, a distribuição dos resíduos das avaliações realizadas sem o auxílio da escala para os avaliadores inexperientes variou de -70,0 (Figura 4 D) a 40,0 (Figura 4 C) e para os avaliadores experientes, variaram de -33,0 (Figura 4 E) a 35,0 (Figura 4 F). Por outro lado, com a utilização da escala, os erros absolutos variaram entre os avaliadores inexperientes de -35,0 (Figura 5 D) a 35,0 (Figura 5 C) e entre -21,0 (Figura 5 E) a 29,0 (Figura 5 F) para os experientes, sendo que a média dos erros dos avaliadores (em módulo) foi de 4,04 e 2,38, respectivamente (Figura 5).

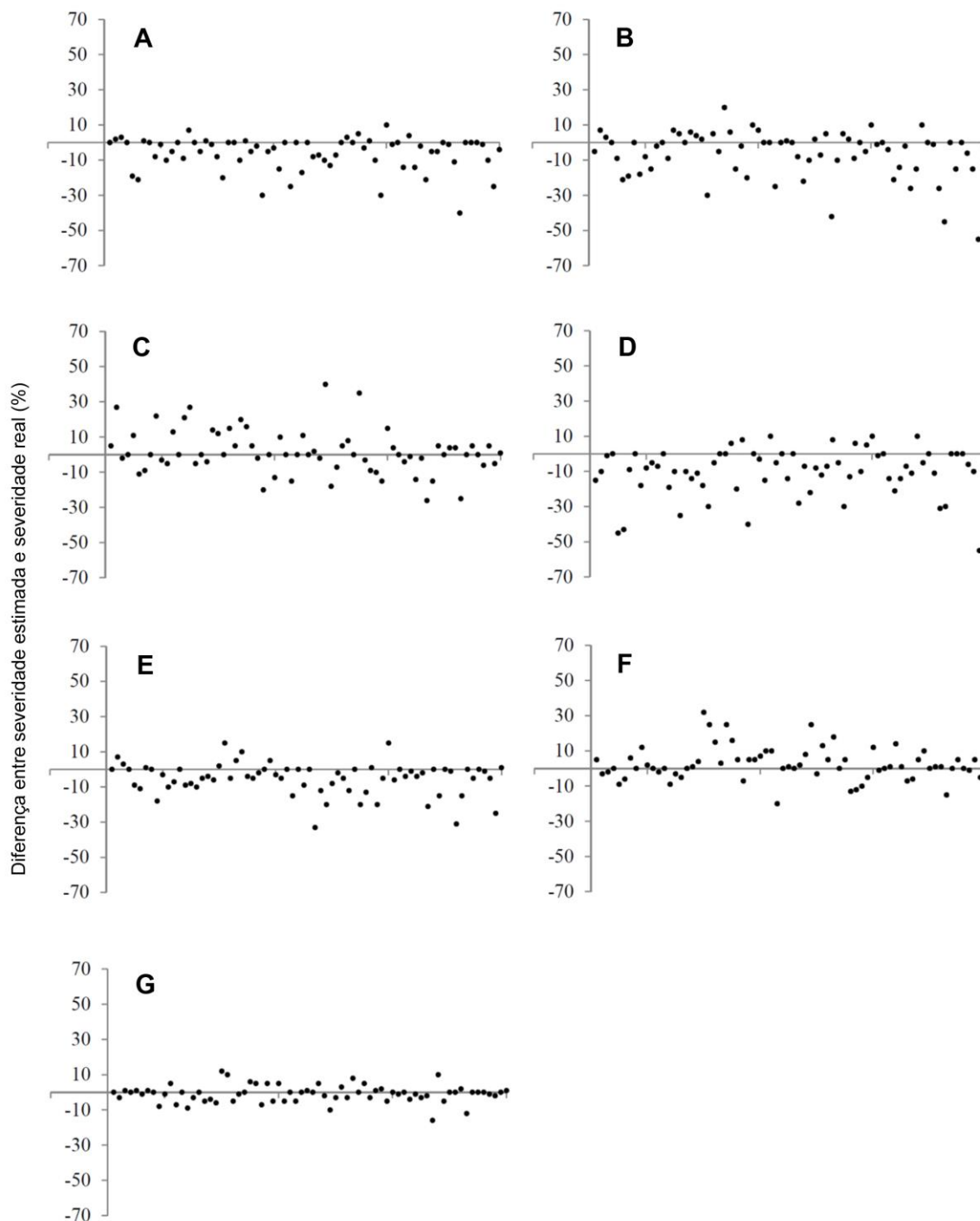


Figura 4. Distribuição dos erros absolutos (severidade estimada menos severidade real) das estimativas da severidade da deterioração fisiológica pós-colheita em raízes de mandioca, obtidos por sete avaliadores (inexperientes: A, B, C, D; experientes: E, F, G), sem auxílio da escala diagramática.

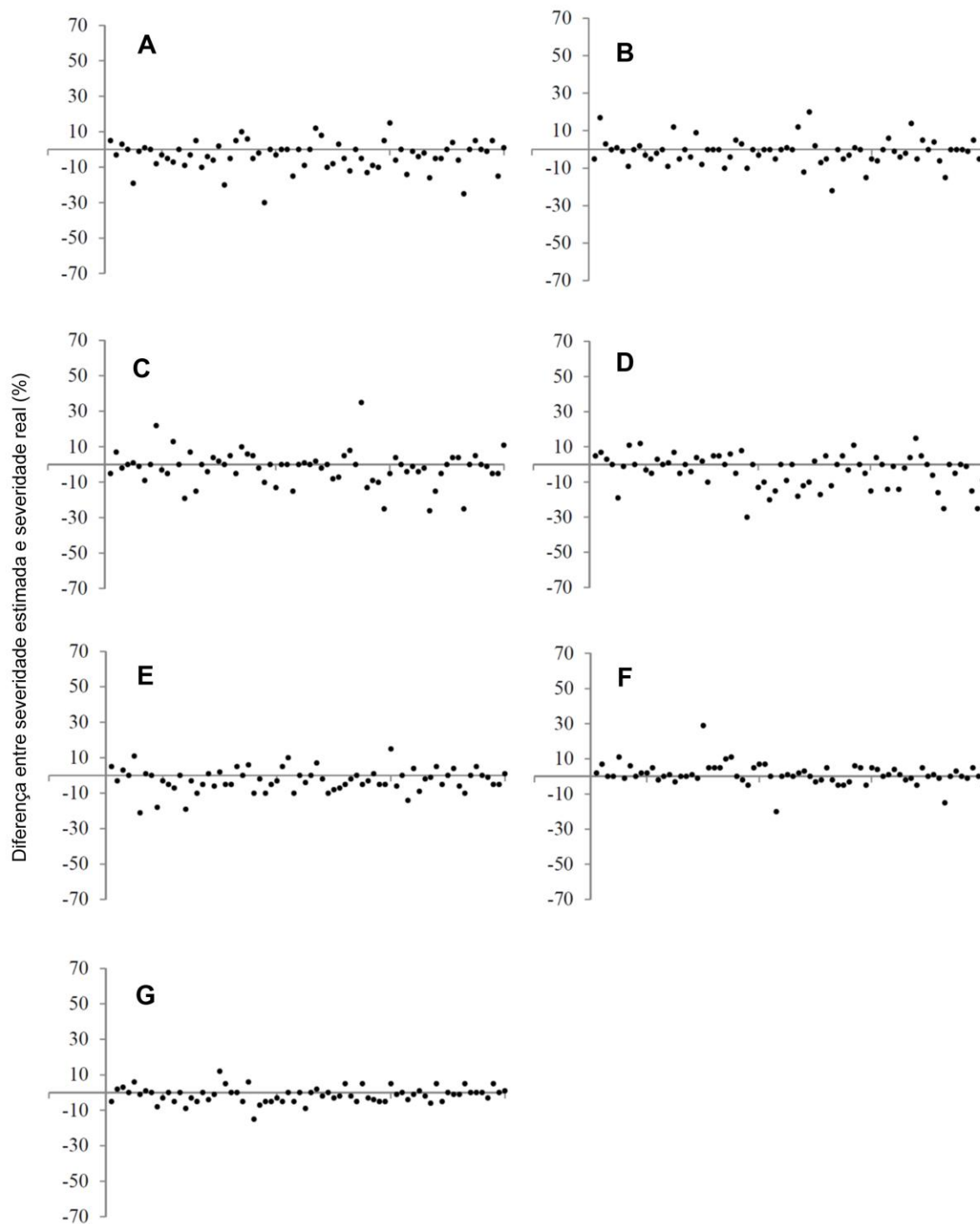


Figura 5. Distribuição dos erros absolutos (severidade estimada menos severidade real) das estimativas da severidade da deterioração fisiológica pós-colheita em raízes de mandioca, obtidos por sete avaliadores (inexperientes: A, B, C, D; experientes: E, F, G), com auxílio da escala diagramática.

A maioria dos erros absolutos foi inferior a 10%, mesmo quando os avaliadores não utilizaram a escala para estimar a severidade, o que demonstra a boa precisão das estimativas dos avaliadores. De acordo com Nutter Jr e Schultz (1995), valores inferiores a 10% na distribuição dos erros absolutos são considerados bons para classificação de uma escala de notas. Considerando este critério, apenas um avaliador (4 - inexperiente) apresentou erros absolutos das estimativas acima dos 10% (13,23), quando não foi utilizada a escala diagramática. Porém, com uso da escala, para este mesmo avaliador, houveram erros absolutos de 5,73, ou seja, abaixo de 10%, havendo assim uma diminuição destes erros em torno de 43% com a utilização da escala. Para a maioria dos avaliadores inexperientes (1, 2 e 3) e todos experientes, o uso da escala para DFPC possibilitou a redução global dos erros absolutos em comparação com a ausência da escala (Figuras 4 e 5). A presença de erros absolutos, mesmo que mínimos, nas mensurações são comuns e podem ser compensadas pela rapidez e padronização que o uso da escala proporciona (STONEHOUSE et al., 1994).

A reprodutibilidade das avaliações entre os avaliadores combinados aos pares, também pode ser utilizada como um indicativo de precisão de um método de avaliação (NUTTER Jr et al., 1993). O coeficiente de determinação (R^2) das equações de regressão linear nas comparações das estimativas dos avaliadores entre si foram menores sem a utilização da escala diagramática, variando de 0,61 a 0,91, sendo que 76% dos casos foram $\geq 0,75$. Por outro lado, com a utilização da escala as avaliações da severidade da DFPC apresentaram maiores coeficientes de determinação (R^2), com variação de 0,83 a 0,95, sendo $\geq 0,75$ em 100% dos casos, assemelhando-se ao constatado na validação das escalas diagramáticas para outros patossistemas (BARBOSA et al., 2006; MARTINS et al., 2004) (Tabela 2).

Com relação à avaliação de severidade aos pares sem a utilização da escala, os melhores coeficientes de determinação (R^2) foram observados para os avaliadores experientes (5:6; 5:7 e 6:7), com R^2 de 0,86; 0,91 e 0,91, respectivamente, comparados com os avaliadores inexperientes (1:2; 1:3; 1:4; 2:3; 2:4 e 3:4), que apresentaram, em sua maioria, valores menores de R^2 . Os coeficientes de determinação foram elevados nas interações entre os avaliadores 5,

6 e 7 (experientes) sem o uso da escala, cuja variação foi de 0,76 a 0,91 e com a utilização da escala esses valores variaram de 0,84 a 0,95, contrastando com os avaliadores inexperientes (1, 2, 3 e 4) que apresentaram valores de R^2 de 0,61 a 0,85 sem o uso da escala e de 0,83 a 0,89 com o uso da escala.

Tabela 2. Coeficiente de determinação (R^2) de equações de regressão linear simples relacionando as estimativas da deterioração fisiológica pós-colheita da mandioca entre avaliadores com e sem o auxílio da escala de notas.

Avaliadores	Sem escala					
	2	3	4	5	6	7
1	0,79	0,75	0,85	0,87	0,81	0,86
2		0,74	0,74	0,80	0,78	0,79
3			0,61	0,76	0,86	0,81
4				0,82	0,69	0,74
5					0,86	0,91
6						0,91

Avaliadores	Com escala					
	2	3	4	5	6	7
1	0,87	0,85	0,89	0,93	0,91	0,89
2		0,85	0,83	0,89	0,89	0,90
3			0,83	0,87	0,88	0,88
4				0,86	0,87	0,84
5					0,94	0,94
6						0,95

CONCLUSÃO

A escala diagramática para quantificação da severidade da deterioração fisiológica da mandioca propiciou melhoria significativa nos níveis de precisão, acurácia e reprodutibilidade das estimativas. Portanto, pode ser utilizada no estudo do progresso da doença, bem como na avaliação da severidade em germoplasma de mandioca.

REFERÊNCIAS

AQUINO, L.A.; BERGER, P.G.; RODRIGUES, F.Á.; ZAMBOLIM, L.; HERNANDEZ, F.R.; MIRANDA, L.M. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da mancha de ramularia do algodoeiro. **Summa Phytopathologica**, v.34, p.361-363, 2008.

ARISTIZABAL, J.; SANCHEZ, T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. **Boletín de servicios agrícolas de la FAO**, p. 134, 2007.

BARBOSA, M.A.G.; MICHEREFF, S.J.; MORA-AGUILERA, G. Elaboration and validation of diagrammatic key to evaluate white rust severity in *Chrysanthemum*. **Summa Phytopathologica**, v.32, p. 57-62, 2006.

BARGUIL, B.M.; ALBERT, I.C.L.; MICHEREFF, S.J.; OLIVEIRA, S.M.A. de. Escala diagramática para avaliação da severidade da antracnose em bastão do imperador. **Ciência Rural**, v.38, p. 807-810, 2008.

CANTO, A.R.; JÚNIOR, N. da S.F.; BELEIA, A. Alterações químicas e histológicas em mandiocas armazenadas das cultivares Catarina Amarela e Catarina Branca. **Acta Agronômica**, v.62, p. 105-113, 2013.

CEBALLOS, H.; IGLESIAS, C.A.; PÉREZ, J.C.; DIXON, A.G.O. Cassava breeding: opportunities and challenges. **Plant Molecular Biology**, v.56, p.503-516, 2004.

CELOTO, M.I.B.; PAPA, M. F.S. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da mancha alvo em folhas de acerola. **Tropical Plant Pathology**, v.35, p. 258-262, 2010.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. Conservação de raízes. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. (eds). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, v.3, p. 13-29, 2003.

FISCHER, I.H.; ALVES, S.A.M.; ARRUDA, M.C.; BERTANI, R.M.A.; GARCIA, M.J.M. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da severidade da antracnose em frutos de maracujá amarelo. **Summa Phytopathológica**, v.35, p.226-228, 2009.

LENZ, G.; COSTA, I.D. da; BALARDIN, R.S.; MARQUES, L.N.; ARRUE, A.; STEFANELO, M.S.; ZEMOLIN, C.R. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da mancha de *Isariopsis* da videira. **Ciência Rural**, v.39, p. 2301-2308, 2009.

MALAGI, G.; SANTOS, I. dos; CAMOCHENA, R.C.; MOCCELLIN, R. Elaboração e validação da escala diagramática para avaliação da mancha branca do milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, p. 797-804, 2011.

MARTINS, M.C.; GUERZONI, R.A.; CÂMARA, G.M.S.; MATTIAZZI, P.; LOURENÇO, S.A.; AMORIM, L. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.179-184, 2004.

MAZARO, S.M.; GOUVEA, A. de; MAY-DE-MIO, L.L.; DESCHAMPS, C.; BIASI, L.A.; CITADIN, I. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha-de-dendrophoma em morangueiro. **Ciência Rural**, v. 36, p.1630-1633, 2006.

MICHEREFF, S.J.; NORONHA, M. de A.; ANDRADE, D.E.G.T. de; OLIVEIRA, E.P. de; FILHA, M.S.X; MOREIRA, P.A.A. Elaboração e validação de escala diagramática para a cercosporiose do pimentão. **Summa Phytopathologica**, v.32, p.260-266, 2006.

MICHEREFF, S.J.; NORONHA, M.A.; LIMA, G.S.A.; ALBERT, I.C.L.; MELO, E.A.; GUSMÃO, L.O. Diagrammatic scale to assess downy mildew severity in melon. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.76- 79, 2009.

MORANTE, N.; SANCHEZ, T.; CEBALLOS, H.; CALLE, F.; PEREZ, J.C.; EGESI, C.; CUAMBE, C.E.; ESCOBAR, A.F.; ORTIZ, D.; CHAVEZ, A.L.; FREGENE, M. Tolerance to postharvest physiological deterioration on in cassava roots. **Crop Science**, v.50, p.1333-1338, 2010.

NASCIMENTO, A.R.P.; MICHEREFF, S.J.; MARIANO, R. de L.R.; GOMES, A.M.A. Elaboração e validação da escala diagramática do cancro bacteriano da videira. **Summa Phytopathologica**, v.31, p. 59-64, 2005.

NUTTER Jr., F.W.; SCHULTZ, P.M. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.17, p.174-184, 1995.

NUTTER Jr, F.W.; GLEASON, M.L.; JENCO, J.H.; CHRISTIANS, N.C. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. **Phytopathology**, v.83, p.806-812, 1993.

SALCEDO, A.; SIRITUNGA, D. Insights into the physiological, biochemical and molecular basis of postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta*) roots. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.1, p. 414-431, 2011.

SALCEDO, A.; DEL VALLE, A.; SANCHEZ, B.; OCASIO, V.; ORTIZ, A.; MARQUEZ, P.; SIRITUNGA, D. Comparative evaluation of physiological post-harvest root deterioration of 25 cassava (*Manihot esculenta*) accessions: visual vs. hydroxycoumarins fluorescent accumulation analysis. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p. 3138-3144. 2010.

SÁNCHEZ, T.; CHÁVEZ, A.L.; CEBALLOS, H.; RODRIGUES-AMAYA, D.B.; NESTEL, P.; ISHITANI, M. Reduction or delay of post-harvest physiological deterioration in cassava roots with higher carotenoid content. **Journal Science and Food Agriculture**, v.86, p.634–639, 2006.

SILVA, G.G.C. da; NUNES, C.G.F.; OLIVEIRA, E.M.M; SANTOS, M.A. dos. Toxicidade cianogênica em partes da planta de cultivares de mandioca cultivados em Mossoró-RN. **Revista Ceres**, v.51, p.56-66, 2004.

SOARES, R.M.; GODOY, C.V.; OLIVEIRA, M.C. de. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha alvo da soja. **Tropical Plant Pathology**, v.34, p.333-338, 2009.

STONEHOUSE, J. Assessment of Andean bean diseases using visual keys. **Plant Pathology**, v.43, p. 519-527, 1994.

SUSSEL, A.A.B.; POZZA, E.A.; CASTRO, H.A. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidade do mofo cinzento em mamoneira. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, p.186-191, 2009.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; LIBERATO, J.R.; SOUZA, C.A. Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIN, L. (eds.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo horizonte, 2004, cap.3, p.91-121.

VALLE, T.L.; CARVALHO, C.R.L.; RAMOS, M.T.B.; MÜHLEN, G.S.; VILLELA, O.V. Conteúdo cianogênico em progênies de mandioca originadas do cruzamento de variedades mansas e bravas. **Bragantia**, v.63, p.221-226, 2004.

WHEATLEY, C.; LOZANGO, C.; GOMEZ, G. Post-harvest deterioration of cassava roots. In: COCK, J.H.; REYES, J.A. (ed.) **Cassava: Research, production and utilization**. UNDP-CIAT, Cali, Colombia.1985. p. 655–671.

ZIDENGA, T.; LEYVA- GUERRERO, E.; MOON, H.K.; SIRITUNGA, D.; SAYRE, R. Extending cassava root shelf life via reduction of reactive oxygen species production. **Plant Physiology**, v.159, p.1396- 1407, 2012.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAR A TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA À DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA¹

¹Artigo publicado na revista *Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)*.

(Procedures for evaluating the tolerance of cassava genotypes to postharvest physiological deterioration, v.50, n.7, p.562-570, 2015).

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAR A TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA À DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi definir procedimentos para a avaliação da tolerância de genótipos de mandioca à deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) e à deterioração microbiana (DM). Raízes de seis genótipos de mandioca foram avaliadas em dois experimentos, durante armazenamento em diferentes condições ambientais: alta temperatura e baixa umidade do solo; ou baixa temperatura e alta umidade do solo. As raízes foram tratadas ou não com fungicida (carbendazim) antes do armazenamento. As reações dos genótipos à DM e à DFPC foram avaliadas aos 0, 2, 5, 10, 15, 20 e 30 dias após a colheita (DAC), nas partes proximal, mediana e distal das raízes. Uma escala diagramática foi proposta para avaliar sintomas não periféricos da DFPC. O tratamento com fungicida e a posição das raízes não influenciaram a expressão da DFPC; no entanto, todos os fatores apresentaram efeito significativo sobre a severidade da DM. Os genótipos diferiram quanto à tolerância à DFPC e à DM. Ambos os tipos de deterioração foram mais pronunciados durante os períodos de maior umidade e de temperaturas mais baixas. O tratamento com fungicida proporcionou maior vida de prateleira às raízes, por reduzir a severidade da DM até 10 DAC. As raízes inteiras apresentaram baixa severidade da DM e alta expressão da DFPC até 10 DAC, o que possibilitou a avaliação da DFPC sem interferência significativa dos sintomas da DM nesse período.

Palavras-chave: Deterioração microbiana, padronização de procedimentos, condições de armazenamento.

PROCEDURES FOR EVALUATING THE TOLERANCE OF CASSAVA GENOTYPES TO POSTHARVEST PHYSIOLOGICAL DETERIORATION

ABSTRACT - The objective of this work was to define procedures to assess the tolerance of cassava genotypes to postharvest physiological deterioration (PPD) and to microbial deterioration (MD). Roots of six cassava genotypes were evaluated in two experiments, during storage under different environmental conditions: high temperature and low soil moisture; or low temperature and high soil moisture. Roots were treated or not with fungicide (carbendazim) before storage. Genotype reactions to MD and PPD were evaluated at 0, 2, 5, 10, 15, 20, and 30 days after harvest (DAH), in the proximal, medial, and distal parts of the roots. A diagrammatic scale was proposed to evaluate nonperipheral symptoms of PPD. Fungicide treatment and root position did not influence PPD expression; however, all factors had significant effect on MD severity. Genotypes differed as to their tolerance to PPD and MD. Both deterioration types were more pronounced during periods of higher humidity and lower temperatures. The fungicide treatment increased root shelf life by reducing MD severity up to 10 DAH. Whole roots showed low MD severity and high PPD expression up to 10 DAH, which enabled the assessment of PPD without significant interference of MD symptoms during this period.

Keywords: Microbial deterioration, procedure standardization, storage conditions.

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é considerada uma cultura rústica, com alguma tolerância à seca, a baixa fertilidade do solo, e algumas doenças e pragas, no entanto, suas raízes têm uma vida útil curta após a colheita devido ao processo de deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) (SALCEDO; SIRITUNGA 2011).

Considerado um processo complexo enzimático (OWITI et al., 2011), a DFPC começa 15 minutos após o corte de raiz, e torna-se visível entre 24 e 72 horas após a colheita, tornando as raízes inadequadas para o consumo (SÁNCHEZ et al., 2006; REILLY et al., 2007; MORANTE et al., 2010). Os principais sintomas da DFPC incluem estrias vasculares, que é uma descoloração azul-escuro do parênquima do xilema, seguido por descoloração geral do parênquima, formando sulcos vasculares (REILLY et al., 2003).

O desenvolvimento da DFPC e sua severidade na mandioca têm sido fortemente associados a fatores ambientais e danos mecânicos, principalmente durante a colheita, transporte e armazenamento de raízes (SALCEDO; SIRITUNGA, 2011). O processo fisiológico pode ser subdividido em duas fases distintas. Na primeira, há uma produção rápida induzida por cianeto de espécies ativas de oxigênio (EAO), o que inicia uma morte celular programada. Na segunda, o que geralmente começa no quinto dia após a colheita, ocorre o aparecimento de deterioração microbiana (DM), resultando em apodrecimento da raiz (REILLY et al., 2003).

Para estender a vida útil de raízes, algumas medidas de controle de DFPC e DM têm sido sugeridas, como o envolvimento de raízes com embalagem a vácuo (LUENGO; GALBO, 2009), sacos de polietileno, revestindo-as com parafina e armazenamento em baixas temperaturas (HUANG et al., 2001; MORANTE et al., 2010). No entanto, estas técnicas têm sido raramente utilizadas no sistema de produção de mandioca, devido ao seu elevado custo, ou devido à falta de resultados consistentes e viáveis tecnicamente. Em contraste, a seleção de genótipos tolerantes a DFPC constitui uma alternativa para assegurar uma maior competitividade da cultura, aumentando a vida de prateleira da raiz após a colheita.

Uma vez que há um componente genético associado à tolerância da DFPC (MORANTE et al., 2010; SALCEDO et al., 2010), a ampla variabilidade genética presente no germoplasma de mandioca do Brasil pode ser utilizado para superar as perdas. No entanto, o grande número de fatores que afetam a expressão dos sintomas de DFPC limita a eficácia de seleção dos genótipos. Embora a informação sobre a tolerância dos genótipos à DFPC ainda não tenham sido sistematizadas, sabe-se que as mensurações, as condições de cultivo e o tamanho amostral são de extrema importância para avaliar a DFPC e subsequentemente obter genótipos mais estáveis quanto à tolerância (ZIDENGA et al., 2012).

Uma das metodologias para avaliação visual da DFPC é a utilização de uma escala de notas que varia de 0 a 100% (WHEATLEY et al., 1985). No entanto, esta escala é restrita para avaliação do perímetro das raízes, e vários acessos de mandioca não se ajustam devido à ausência dos sintomas periféricos de DFPC. Além disso, há uma falta de padronização da metodologia para a seleção de genótipos tolerantes em relação ao número de raízes, período de avaliação e as partes da raiz para serem avaliadas (WHEATLEY et al., 1985; EKANAYAKE; LYASSE, 2003; MORANTE et al., 2010; SALCEDO et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi definir procedimentos para avaliar a tolerância de genótipos de mandioca à deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) e deterioração microbiana (DM).

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área e material vegetal

Os experimentos foram conduzidos nos campos experimentais da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, Brasil (12°40'19"S, 39°06'22"W, a 226 m de altitude). A região possui clima tropical (Aw e Am), com 24,5°C de temperatura média anual, 80% de umidade relativa e 1.250 mm de precipitação.

A avaliação da expressão da DFPC e severidade de DM foram feitos nas raízes dos seguintes genótipos de mandioca: BRS Caipira, BRS Dourada, BRS Mulatinha, BRS Poti Branca, BGM1685, e BGM0212.

A colheita da raiz foi realizada manualmente aos 12 meses após o plantio com especial cuidado para evitar lesões nas raízes e para selecionar as raízes de qualidade comercial. Foram realizados dois experimentos em diferentes condições ambientais. O primeiro experimento foi realizado em Janeiro de 2014, quando foram observadas as seguintes condições ambientais nos sete dias que antecederam a colheita: temperatura média de 26°C; umidade relativa do ar de 76±3% e ausência de precipitação – solo seco (baixa umidade do solo + alta temperatura, BUAT), sendo as raízes armazenadas a uma temperatura média de 27±1°C. O segundo experimento foi realizado em Março de 2014, sob temperatura média de 24°C, umidade relativa do ar de 87±3% e precipitação de 6,1 mm – solo úmido (alta umidade do solo + baixa temperatura, AUBT), com as raízes sendo armazenadas a uma temperatura média de 22±1°C.

Tratamento da raiz

O tratamento da raiz após a colheita consistiu na remoção do excesso de terra e uma desinfestação por imersão das raízes em solução de hipoclorito de sódio (200 mg L⁻¹) durante 5 minutos. Em seguida, metade das raízes foram imersas durante 2 minutos em suspensão do fungicida com 50 ug mL⁻¹ Metil-benzimidazol-2-il-carbamato (Carbendazim).

Avaliação da deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC)

As raízes colhidas foram armazenadas em prateleiras contidas em um galpão aberto com circulação de ar livre. As avaliações visuais dos sintomas de DFPC foram realizadas em cinco raízes a 0, 2, 5, 10, 15, 20 e 30 dias após a colheita (DAC). Cortes transversais de 1,0 cm foram feitos nas posições proximal, média e distal das raízes, a 25, 50 e 75% do comprimento da base, respectivamente.

Os níveis de severidade de DFPC foram avaliados utilizando uma escala de 0 a 100% de distribuição periférica dos sintomas (WHEATLEY et al., 1985). Além disso, uma escala diagramática foi proposta para avaliar a distribuição não-periférica dos sintomas da DFPC (Figura 1).

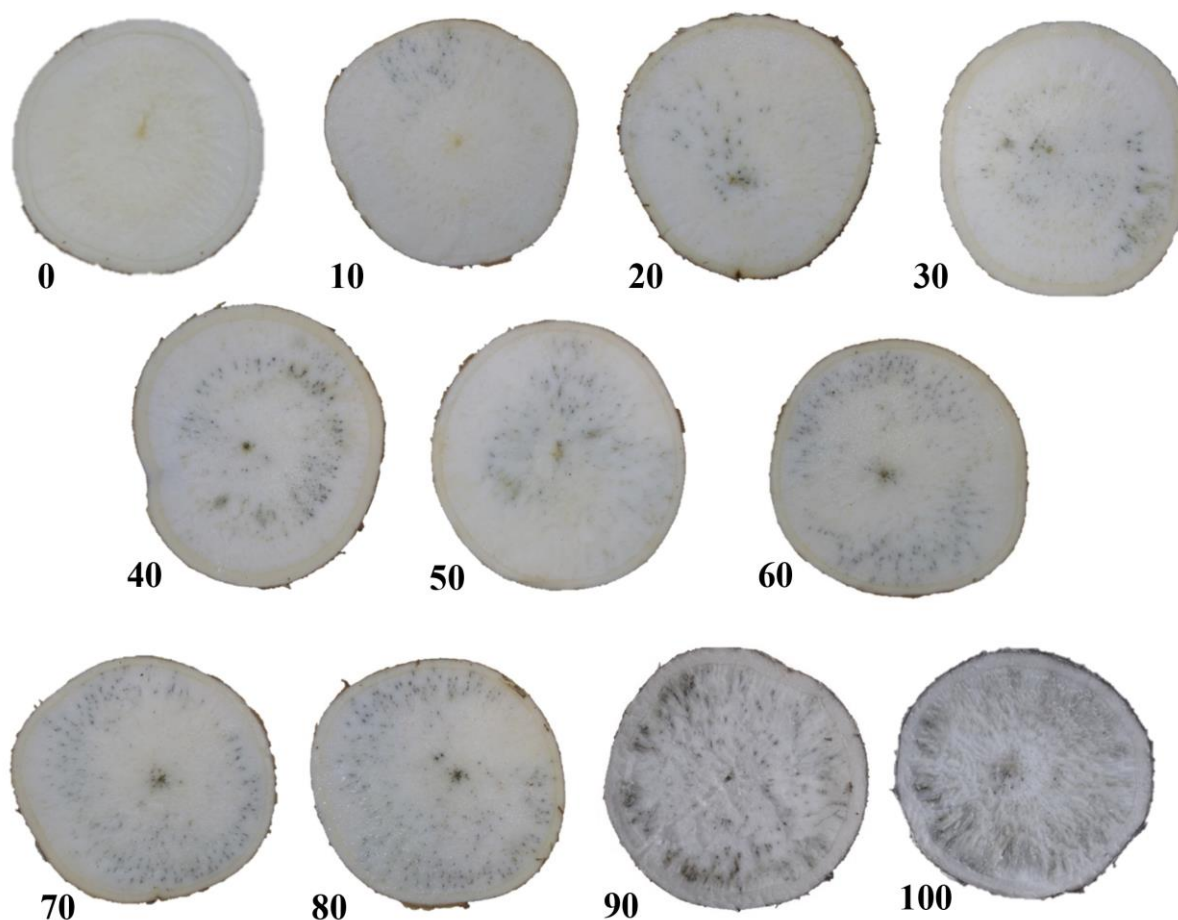


Figura 1. Proposta de escala diagramática de deterioração fisiológica pós-colheita com base na distribuição de sintomas não periféricos em raízes de mandioca.

Avaliação da deterioração microbiana (DM)

A análise de DM foi baseada numa escala descritiva com as seguintes atribuições de pontuação: 0 (para raízes não podres), 1 (raízes mostrando a perda de firmeza), 2 (amolecimento das raízes) e 3 (raízes sem qualquer firmeza, com aspecto aquoso). Estas avaliações foram realizadas nas mesmas datas e posições da raiz utilizadas para avaliação de DFPC.

A escala descritiva para DM foi transformada em um índice de intensidade de infecção, expresso como $I = \text{sen}^2 \omega$, em que a sua transformação angular $\omega = \text{arc sen} \sqrt{I}$ permite a aplicação da análise de variância (CZERMAINSKI, 1999). ω

é dada por
$$\omega = \sum_{j=1}^J k_j \sqrt{p_{j-1,J}} \arcsen \sqrt{f_j}$$
, onde k_j são constantes com pesos determinados

a partir da atribuição do valor I máximo teórico correspondente a cada nota da

escala, dada por
$$k_j = (\arcsen \sqrt{I/J})/90 - k_1 - k_2 - \dots - k_{j-1} = 1 - \sum_{j=1}^{j-1} k_j$$
; $p_{j-1,J}$ são as

probabilidades de infecção, associados a cada escala de doença para o indivíduo,

cujo índice de intensidade de infecção está a ser determinado, expressa por

$p_{j-1,J} = p_j + p_{j+1} + \dots + p_J$ $j=1, \dots, J$, e f_j são frequências relativas que representam frações

da frequência absoluta (F_j) dadas por:

$$f_j = (F_j + F_{j+1} + \dots + F_J) / (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_J), \quad j=1, \dots, J.$$

Delineamento experimental e análise dos dados

Para cada condição ambiental avaliada (BUAT e AUBT) um delineamento em blocos casualizados foi realizado, em arranjo fatorial 6x2x7, sendo seis genótipos (BRS Caipira, BRS Dourada, BRS Mulatinha, BRS Poti Branca, BGM1685, e BGM0212), com ou sem tratamento com fungicida e sete dias de avaliação (0, 2, 5, 10, 15, 20 e 30 dias após a colheita), com três repetições e avaliação de cinco raízes por parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para ambos os casos, o software R, versão 3.01 (R Fundação para a Computação Estatística, Viena, Áustria) foi utilizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC)

A DFPC foi significativamente influenciada pelas condições ambientais (CA), genótipos (G) e dias após a colheita (DAC), com as seguintes interações significativas: G x CA; G x TF (tratamento fungicida); G x DAC; G x PR (posição de

raiz); DAC x CA, e DAC x TF (Tabela 1). O grau de tolerância à DFPC aumentou de acordo com a seguinte sequência de genótipos: BRS Caipira, BRS Mulatinha, BRS Poti Branca, BGM1685, BRS Dourada, e BGM0212 (Tabela 2). Os genótipos BRS Dourada e BGM0212, apresentaram alta tolerância a DFPC, que correspondem a polpa de cor amarelo e creme, respectivamente. Esta descrição está de acordo com o de Sánchez et al. (2006), que relataram uma maior tolerância a DFPC em genótipos com altos teores de carotenóides. Em seu conjunto, estes resultados mostram que a DFPC não só é dependente das condições ambientais, mas também de fundo genético, que é uma informação de extrema importância para programas de melhoramento e para os produtores de mandioca.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para a avaliação da deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) e deterioração microbiana (DM) em seis genótipos de mandioca.

Fonte de variação	Quadrado médio	
	DFPC	DM
Genótipo (G)	355.365,00 ***	2528,00 ***
Condições ambientais (CA)	18.689,00 ***	3376,00 ***
Tratamento fúngico (TF)	28,00 ns	103.916,00 ***
Dias após a colheita (DAC)	375.695,00 ***	84.070,00 ***
Blocos	3374,00 *	588,00 *
Posição da raiz (PR)	208,00 ns	861,00 **
G x CA	12.340,00 ***	943,00 ***
G x TF	5475,00 ***	1299,00 ***
G x DAC	18.525,00 ***	703,00 ***
G x PR	3905,00 ***	205,00 ns
CA x TF	1725,00 ns	8112,00 ***
CA x DAC	2694,00 **	1854,00 ***
CA x PR	1420,00 ns	627,00 *
TF x DAC	2304,00 **	18.834,00 ***
TF x PR	642,00 ns	158,00 ns
DAC x PR	756,00 ns	296,00 ns

*, ** e *** significativo a 5%, 1% e 0.1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns: não significativo

Tabela 2. Efeito de interação entre os genótipos (G) e condições ambientais (CA), tratamento com fungicida (TF), dias após a colheita (DAC) e posição de raiz (PR) sobre a severidade da deterioração fisiológica pós-colheita (0 a 100%) em raízes de mandioca, de acordo com as escalas de notas da distribuição periférica dos sintomas (WHEATLEY et al., 1985) e para a escala diagramática de sintomas não-periféricos ⁽¹⁾.

Genótipos (G)	Condição ambiental		Tratamento fúngico (TF)		Dias após a colheita (DAC)						Posição da raiz (PR)			Média	
	BUAT	AUBT	Não tratado	Tratado	0	2	5	10	15	20	30	Proximal	Mediana		Distal
BRS Caipira	56,0 bA	66,5 aA	57,4 bA	63,8 aA	0,0 cA	74,6 bA	86,5 aA	84,0 abA	78,8 abA	72,4 bA	32,5 bcAB	54,7 bA	64,2 aA	65,0 aA	61,2
BRS Mulatinha	51,9 bA	59,8 aB	51,1 bB	59,3 aA	0,0 cA	61,9 bB	80,1 aAB	76,3 aAB	72,6 abA	73,9 abA	17,5 bcAB	53,7 aA	56,4 aB	57,9 aB	55,2
BRS P. Branca	50,8 aA	53,2 aC	51,9 aAB	52,1 aB	0,0 cA	66,4 bAB	77,8 aB	69,5 abB	67,9 abA	54,5 bB	73,1 abA	55,7 aA	50,7 abB	49,6 bC	55,2
BGM 1685	28,8 bB	36,2 aD	36,0 aC	30,0 bC	0,0 bA	39,7 aC	41,4 aC	41,2 aC	42,9 aB	41,9 aB	-	36,6 aB	33,0 abC	28,9 bD	33,6
BRS Dourada	22,2 bC	29,7 aE	28,8 aD	24,0 bD	0,0 cA	30,5 abD	39,0 aC	33,4 abC	36,3 abB	25,8 bC	10,5 bcB	26,2 aC	27,1 aC	24,5 aD	25,6
BGM 0212	14,0 aD	04,7 bF	10,4 aE	07,8 aE	0,0 cA	07,0 bcE	15,3 abD	07,7 bcD	19,8 aC	08,1 bcD	03,8 bcB	10,1 aD	08,9 aD	07,8 aE	9,0
Média	37,3	41,7	39,3	39,5	0,0	46,7	56,7	52,0	53,1	46,1	27,5	39,5	40,1	39,0	39,9

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

BUAT, avaliação realizada sob condições de alta temperatura e baixa umidade do solo; e *AUBT*, avaliação realizada sob condições de baixa temperatura e alta umidade do solo. *Tratados*: imersas as raízes na solução de fungicida (50 ug mL⁻¹ carbendazim) por 2 minutos; *Não tratados*: raízes não imersas em solução de fungicida.

Os sintomas da DFPC foram mais pronunciados nas condições climáticas AUBT, exceto para o BGM0212. Portanto, a melhor diferenciação significativa entre os genótipos ocorreu com as amostras colhidas após as primeiras chuvas (condições AUBT), que também levaram à maior facilidade de colheita das raízes. Os genótipos BGM0212, BRS Dourada e BGM1685 tiveram a menor expressão de DFPC, independentemente das condições ambientais (Tabela 2).

De acordo com Wheatley et al. (1985), algumas condições ambientais, tais como temperatura e umidade relativa do ar influenciam na expressão da DFPC, principalmente quando há danos mecânicos. Este é um dos principais entraves para a cultura da mandioca, pois o ferimento mecânico é prejudicial e dificilmente é impedido durante a colheita (HUANG et al., 2001). Os sintomas de DFPC foram mais expressivos nas condições AUBT, não concordando com outros estudos, em que a expressão de sintomas foram menores em raízes colhidas em solo úmido, quando comparadas com aquelas colhidas com baixa umidade do solo (EKANAYAKE; LYASSE, 2003). De acordo com a Huang et al. (2001), os sintomas típicos da DFPC ocorrem mais rapidamente quando a cultura é colhida e armazenada em baixa umidade do ar

O tratamento fúngico não interferiu sobre a expressão da DFPC. Na interação $G \times TF$, no entanto, mostrou que não houve consenso em relação à manifestação da DFPC nos genótipos tratadas e não tratadas, considerando a maior expressão da DFPC nos genótipos BRS Dourada e BGM1685 sem tratamento fúngico, e nos genótipos BRS Caipira e BRS Mulatinha quando o tratamento fúngico foi utilizado (Tabela 2). Apesar destas diferenças, o comportamento de BGM0212 e BRS Poti Branca não variou, independentemente do tratamento utilizado. Estes resultados indicam um forte componente genético na expressão dos sintomas DFPC. Segundo Alves et al. (2008), o escurecimento vascular manifestou mais rapidamente nos cilindros de raízes descascadas não tratadas quando comparadas com raízes tratadas com solução fungistática de hipoclorito de sódio e ácido cítrico.

Considerando a interação $G \times DAC$, observou-se que os sintomas da DFPC iniciaram aos 2 dias após a colheita, atingindo valores máximos cerca de 5 dias após a colheita (Tabela 2). Para a maioria dos genótipos, os valores de DFPC diminuíram

após este ponto. Este resultado é um contrassenso, considerando que a DFPC tende a aumentar ao longo do tempo. No entanto, uma hipótese para explicar essa discrepância é que a partir de 5 DAC, muitas raízes foram perdidas por deterioração microbiana, por conseguinte, apenas raízes com poucos danos mecânicos na colheita permaneceram na análise e, desse modo, contribuiu para redução na expressão da DFPC, independentemente do genótipo avaliado. Aos 10, 15 e 20 DAC, os valores de DFPC foram bastante variáveis. Essa oscilação nos sintomas de DFPC também foi observada por Morante et al. (2010), na qual a partir do 10^o dia de avaliação, os valores de DFPC foram maiores quando comparados aos 20 e 40 dias de avaliação. Diferenças na expressão dos sintomas da DFPC podem ser devidas a condições climáticas e da tolerância dos diferentes genótipos. De modo geral, os genótipos BGM0212, BRS Dourada e BGM1685 apresentaram os menores valores de DFPC, independente do tempo de avaliação.

Relativamente à interação G x PR, os valores da DFPC das posições da raiz (proximal, média e distal) foram de 39,5, 40,1, e 39,0%, respectivamente, o que é muito próxima e indica que qualquer uma destas posições pode ser utilizada para avaliação da DFPC. No entanto, a posição mediana proporciona uma maior estabilidade na avaliação, considerando, que de modo geral, as injúrias e traumas ocorrem em maior intensidade nas extremidades da raiz. Houve uma menor DFPC na média das três posições avaliadas para os genótipos BGM0212, BRS Dourada e BGM1685, i.e., 9,0, 25,6 e 33,6, respectivamente, estando todos abaixo da média geral (39,9). De acordo com Salcedo e Siritunga (2011), as injúrias causadas na raiz no momento da colheita ocorrem principalmente nas partes proximal e distal. Por outro lado, Iyer et al. (2010) relataram que a DFPC avança da porção proximal para a distal. Entretanto, nossos resultados não corroboram com essas observações.

Com relação à interação DAC x TF, observou-se diferenças relativamente pequenas nos valores de DFPC entre o tratamento fúngico e o controle até 10 DAC. A partir do 10^o dia de avaliação, a expressão dos sintomas da DFPC foi mais elevada nas raízes que foram submetidas ao tratamento fúngico (Tabela 3).

Ao analisar a interação DAC x CA observou-se que a severidade da DFPC atingiu seu nível máximo 5 DAC, independentemente das condições ambientais de

avaliação (Tabela 3). A partir do 10^o dia de avaliação, os valores entre as condições de avaliação (BUAT e AUBT) diferiram no 10^o e 20^o dias de avaliação, quando houve uma tendência para maior DFPC nas condições AUBT, que coincidiu com período de chuva durante a colheita e sob armazenamento em temperaturas mais amenas.

Tabela 3. Efeito da interação entre dias após a colheita e tratamento com fungicida, e das condições ambientais, na severidade da deterioração fisiológica pós-colheita (0 a 100%) em raízes de mandioca, de acordo com a escala da distribuição periférica dos sintomas (WHEATLEY et al., 1985) e da escala diagramática dos sintomas não-periféricos ⁽¹⁾.

Dias após a colheita	Tratamento fúngico		Condições ambientais	
	Não Tratado	tratado	BUAT	AUBT
0	0,0 aC	0,0 aE	0,0 aD	0,0 aD
2	43,7 bB	49,7 aB	46,6 aB	46,8 aC
5	53,1 bA	60,2 aA	55,0 aA	57,9 aA
10	48,6 aAB	47,5 aB	43,3 bBC	52,2 aB
15	50,7 aA	38,5 bC	46,1 aB	49,8 aBC
20	43,7 aB	25,7 bCD	37,1 bC	43,9 aC
30	10,5 aC	2,2 aDE	14,2 aD	6,0 aD

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *BUAT*: avaliação realizada em condições de alta temperatura e baixa umidade do solo; e *AUBT*: avaliação realizada em condições de baixa temperatura e alta umidade do solo. *Tratados*: imersão das raízes em solução de fungicida (50 ug mL⁻¹ carbendazim) por 2 minutos; *Não tratados*: raízes não imersas em solução de fungicida.

Deterioração Microbiana (DM)

A deterioração microbiana (DM) foi influenciada pelos genótipos (G), condições ambientais (CA), tratamento fúngico (TF), dias após a colheita (DAC), posição de raiz (PR) e também pelas interações (G x CA; G x TF; G x DAC; CA x TF; CA x DAC; PR x CA; e TF x DAC). As únicas interações que não foram significativas citam-se: G x PR, TF x PR, e DAC x PR (Tabela 1).

Com relação à média da infecção geral para a deterioração microbiana (DM), pode-se observar um valor alto sobre a BRS Dourada, com índice de intensidade de 25,6, seguido por BRS Mulatinha (22,4), BRS Poti Branca (21,7), BGM1685 (20,1),

BRS Caipira (19,1), e BGM0212 (15,9) (Tabela 4). Considerando a interação G × CA, foi observado um alto valor de DM para as condições AUBT, com temperaturas mais baixas, tanto na colheita como durante a pós-colheita, principalmente para BRS Dourada e BRS Mulatinha. Os genótipos BGM1685, BRS Caipira, BRS Poti Branca, e BGM0212 não mostraram diferença significativa para o valor de DM sob as diferentes condições ambientais. O genótipo BGM0212 apresentou valor de DM abaixo da média geral, independentemente da CA.

Esses resultados demonstram que os sintomas de DM parecem ser mais severos quando as raízes são colhidas em condições de umidade elevada. De acordo com Salami e Akintokun (2008), os patógenos mais frequentes que causam DM na mandioca são *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizopus stolonifer*, e *Fusarium pallidoroseum*. Geralmente seu crescimento é favorecido sob umidade elevada.

Quanto à interação G × TF, as raízes sem tratamento com fungicida apresentaram maior índice de infecção por DM para todos os genótipos (Tabela 4). Os genótipos BGM1685 e BRS Caipira apresentaram DM abaixo da média geral, independentemente do TF, indicando que pode haver um efeito genético envolvido na severidade da DM.

Tabela 4. Efeito de interação entre genótipos e condições ambientais, tratamento fúngico, dias após a colheita e posição de raiz na deterioração microbiana ⁽¹⁾ em raízes de mandioca ⁽²⁾.

Genótipos (G)	Condição ambiental		Tratamento fúngico		Dias após a colheita							Média
	BUAT	AUBT	Não tratado	Tratado	0	2	5	10	15	20	30	
BRS Dourada	17,1 bA	30,1 aA	34,2 aA	14,3 bA	0,0 eA	0,0 eA	3,6 eA	21,9 dAB	39,9 bcA	51,3 bA	69,7 aAB	25,6
BRS Mulatinha	14,6 bA	21,4 aB	31,0 aAB	4,4 bC	0,0 dA	0,0 dA	0,7 dA	20,4 cAB	34,3 bAB	42,3 bAB	77,1 aAB	22,4
BRS Poti Branca	18,7 aA	18,8 aBC	28,7 aBC	10,8 bAB	0,0 cA	0,0 cA	4,5 cA	28,7 bA	36,8 abA	42,4 aB	49,7 aCD	21,7
BGM1685	16,9 aA	15,3 aC	22,8 aD	9,4 bABC	0,0 dA	0,0 dA	0,6 dA	13,7 cBC	29,0 bBC	36,1 bB	77,7 aA	20,1
BRS Caipira	17,0 aA	13,8 aC	24,8 aCD	7,0 bBC	0,0 dA	0,0 dA	1,5 dA	19,3 cBC	33,8 bABC	34,2 bB	58,7 aBC	19,1
BGM0212	13,8 aA	16,5 aBC	20,8 aD	10,0 bAB	0,0 dA	0,0 dA	2,0 cdA	10,3 cC	24,9 bC	33,2 abB	43,1 aD	15,9
Média	16,4	19,3	27,1	9,3	0,0	0,0	2,2	19,1	33,1	39,9	62,7	20,8

⁽¹⁾ Transformado com índice de intensidade de infecção (CZERMAINSKI, 1999).

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *BUAT*: avaliação realizada em condições de alta temperatura e baixa umidade do solo; *AUBT*: avaliação realizada em condições de baixa temperatura e alta umidade do solo. *Tratados*, imersão das raízes em solução de fungicida (50 ug mL⁻¹ carbendazim) por 2 minutos; *Não tratados*, raízes não imersas em solução de fungicida.

Para a interação G × DAC, a DM apresentou um crescimento progressivo entre o 5º e 10º dia, com uma diferença significativa entre os genótipos neste período. As diferenças entre os genótipos começam a aparecer a partir de 10 DAC, possivelmente devido ao período de carência do fungicida. Foi observado um maior aumento da DM entre 20 e 30 DAC. Huang et al. (2001) não encontrou sinais visíveis de infecção bacteriana/fúngica durante 17 dias de armazenamento, a 30°C (umidade relativa de 50%). No entanto, a cultivar analisada por esses autores (M Col 22) é altamente sensível a DFPC, mas bastante resistente à deterioração secundária. Além disso, o experimento foi conduzido sob baixa umidade relativa do ar, o que pode explicar o atraso no início dos sintomas de DM.

De modo geral, os genótipos BGM0212 e BGM1685 apresentaram menores índices de infecção por DM durante todo o período de avaliação, sobretudo até o 20º dia. No 30º dia de avaliação, o genótipo BGM1685 apresentou comportamento similar aos demais. Portanto, o componente genético foi um fator importante para explicar a severidade da DM. Salami e Akintokun (2008) relataram DM severa em 'Odongbo' e 'TMS 4(2)1425' e moderada suscetibilidade em 'Oko-Iyawo'.

Com relação à interação DAC × TF, o tratamento com fungicida atrasou o início da DM para 10 DAC, enquanto que na ausência do tratamento, os sintomas começaram aos 5 DAC (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito da interação entre tratamento com fungicida e dias após a colheita sobre a deterioração microbiana ⁽¹⁾ em raízes de mandioca ⁽²⁾.

Tratamento Fúngico (TF)	Dias após a colheita (DAC)						
	0	2	5	10	15	20	30
Tratado	0,0 dA	0,0 dA	0,0 dB	3,2 dB	12,7 cB	23,3 bB	46,7 aB
Não tratado	0,0 dA	0,0 dA	4,3 dA	35,0 cA	56,0 bA	59,8 bA	79,8 aA

⁽¹⁾ Transformado com índice de intensidade de infecção (CZERMAINSKI, 1999).

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Tratados*, imersão das raízes em solução de fungicida (50 ug mL⁻¹ carbendazim) por 2 minutos; *Não tratados*, raízes não imersas em solução de fungicida.

Para a interação CA x TF, observa-se uma maior DM nas raízes não tratadas, com uma tendência de aumento sob condições ambientais AUBT (Tabela 6). Para a interação CA x DAC foi observado um aumento progressivo da DM ao longo dos 30 dias de avaliação, com o início dos sintomas no 5^o DAC. A DM foi mais elevada quando observada em condições BUAT até 10 DAC. Após 15 DAC, os valores da DM foram maiores nas condições AUBT. Para a interação CA x PR, os sintomas da DM foram maiores nas condições AUBT, com diferença significativa entre as posições proximal e distal ao longo do período de avaliação (Tabela 6).

O recente relatório da variação genética para tolerância a DFPC (MORANTE et al., 2010) implicou em uma nova oportunidade de explorar essa variação na mandioca em sistemas de cultivo e programas de melhoramento. Os resultados do presente estudo contribuem para a padronização e otimização dos procedimentos de triagem em germoplasma na busca de fontes de tolerância para DFPC e resistência à DM.

Tabela 6. Efeito de interação entre condições ambientais e tratamento com fungicida (TF), dias após a colheita (DAC) e da posição da raiz (PR) para deterioração microbiana ⁽¹⁾ em raízes de mandioca ⁽²⁾.

Condições ambientais (CA)	Variáveis											
	TF		DAC							PR		
	Tratado	Não tratado	0	2	5	10	15	20	30	Proximal	Mediana	Distal
BUAT	6,4 bB	27,3 aA	0,0 dA	0,0 dA	3,4 dA	22,5 cA	30,9 bB	33,2 bB	51,0 aB	17,1 aB	16,6 aA	15,2 aB
AUBT	12,5 bA	26,8 aA	0,0 eA	0,0 eA	0,09 eA	15,6 dB	37,1 cA	45,4 bA	64,2 aA	21,3 aA	16,9 bA	20,4 aA

⁽¹⁾ Transformado com índice de intensidade de infecção (CZERMAINSKI, 1999).

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *BUAT*: avaliação realizada em condições de alta temperatura e baixa umidade do solo; *AUBT*: avaliação realizada em condições de baixa temperatura e alta umidade do solo. *Tratados*, imersão das raízes em solução de fungicida (50 ug mL⁻¹ carbendazim) por 2 minutos; *Não tratados*, raízes não imersas em solução de fungicida.

CONCLUSÕES

Pelos resultados, foi constatado que os sintomas de DFPC e DM são mais pronunciados em condições de baixa temperatura e maior umidade do solo.

Os procedimentos adequados para avaliação da severidade da DFPC em raízes de mandioca indicam a utilização de raiz inteira com aplicação de fungicida e avaliação por 10 dias após a colheita, sendo utilizada para cada avaliação, a porção mediana da raiz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.M.A.; COSTA, F.A. da; UCHÔA, S.C.P.; SANTOS, C.S.V. dos; ALBUQUERQUE, J. de A.A. de; RODRIGUES, G.S. Avaliação de dois clones de mandioca em duas épocas de colheita. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.2, p.15-24, 2008.

CZERMAINSKI, A.B.C. Generalização de um índice de intensidade de infecção em experimentos de avaliação de doenças em plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1545-1555, 1999.

EKANAYAKE, I.J.; LYASSE, O. Genotypic variations in physiological deterioration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) storage roots under inland valley conditions. **Food, Agriculture and Environment**, v.1, p.108-111, 2003.

HUANG, J.; BACHEM, C.; JACOBSEN, E.; VISSER, R.G.F. Molecular analysis of differentially expressed genes during postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tuberous roots. **Euphytica**, v.120, p.85-93, 2001.

IYER, S.; MATTINSON, D.S.; FELLMAN, J.K. Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. **Tropical Plant Biology**, v.3, p.151-165, 2010.

LUENGO, R. de F.A.; GALBO, A.G. (ed.). **Embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 256p.

MORANTE, N.; SÁNCHEZ, T.; CEBALLOS, H.; CALLE, F.; PEREZ, J.C.; EGESI, C.; CUAMBE, C.E.; ESCOBAR, A.F.; ORTIZ, D.; CHÁVEZ, A.L.; FREGENE, M. Tolerance to postharvest physiological deterioration in cassava roots. **Crop Science**, v.50, p.1333-1338, 2010.

OWITI, J.; GROSSMANN, J.; GEHRIG, P.; DESSIMOZ, C.; LALOI, C.; HANSEN, M.B.; GRUISSEM, W.; VANDERSCHUREN, H. iTRAQ-based analysis of changes in the cassava root proteome reveals pathways associated with post-harvest physiological deterioration. **The Plant Journal**, v.67, p.145-156, 2011.

REILLY, K.; BERNAL, D.; CORTÉS, D.F.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Towards identifying the full set of genes expressed during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.64, p.187-203, 2007.

REILLY, K.; GÓMEZ-VÁSQUEZ, R.; BUSCHMANN, H.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.53, p.669-685, 2003.

SALAMI, A.O.; AKINTOKUN, A.K. Post-harvest enzymatic activities of healthy and infected Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tubers. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.20, p.1-17, 2008.

SALCEDO, A.; DEL VALLE, A.; SANCHEZ, B.; OCASIO, V.; ORTIZ, A.; MARQUEZ, P.; SIRITUNGA, D. Comparative evaluation of physiological post-harvest root deterioration of 25 cassava (*Manihot esculenta*) accessions: visual vs. hydroxycoumarins fluorescent accumulation analysis. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p.3138-3144, 2010.

SALCEDO, A.; SIRITUNGA, D. Insights into the physiological, biochemical and molecular basis of postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta*) roots. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.1, p.414-431, 2011.

SÁNCHEZ, T.; CHÁVEZ, A.L.; CEBALLOS, H.; RODRIGUES-AMAYA, D.B.; NESTEL, P.; ISHITANI, M. Reduction or delay of post-harvest physiological deterioration in cassava roots with higher carotenoid content. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, p.634-639, 2006.

WHEATLEY, C.; LOZANO, C.; GÓMEZ, G. Post-harvest deterioration of cassava roots. In: COCK, J.H.; REYES, J.A. (ed.). **Cassava**: research, production and utilization. Cali: UNDP-CIAT, 1985. p.655-671.

ZIDENGA, T.; LEVYVA-GUERRERO, E.; LUA, H.; SIRITUNGA, D.; SAYRE, R. Extending cassava root shelf life via reduction of reactive oxygen species production. **Plant Physiology**, v.159, p.1396-1407, 2012.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICAÇÃO DE GERMOPLASMA DE MANDIOCA COM TOLERÂNCIA À DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA¹

¹Artigo aceito para publicação na revista *Genetics and Molecular Research*.

IDENTIFICAÇÃO DE GERMOPLASMA DE MANDIOCA COM TOLERÂNCIA À DETERIORAÇÃO FISIOLÓGICA PÓS-COLHEITA

Resumo - O uso de variedades tolerantes pode ser uma medida efetiva de controle da deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) da mandioca, embora seja preciso gerar conhecimento sobre a variabilidade genética e o controle deste caráter. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos, identificar fontes de tolerância à DFPC, e avaliar a estabilidade do caráter em acessos de mandioca. Foram avaliadas raízes de 418 acessos de mandioca, cultivados em quatro experimentos independentes, com avaliações realizadas aos 0, 2, 5 e 10 dias após a colheita. Os dados foram transformados em valores da área abaixo da curva do progresso da DFPC (AACPD). A predição dos parâmetros genéticos e a estabilidade (S_i), adaptabilidade (A_i) e análise conjunta da estabilidade e adaptabilidade (Z_i) genotípica foram obtidos via REML (*Residual Maximum Likelihood*) e BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). A variância da interação genótipos (G) x ambientes (A) e variância genotípica foram as mais importantes para a expressão da tolerância à DFPC. As herdabilidades em nível de plantas individuais ($h_g^2 = 0,38 \pm 0,04$) e média de genótipos ($h_{mg}^2 = 0,52$) demonstraram um bom controle genético da tolerância à DFPC. A correlação genotípica da AACPD nos diferentes experimentos foi de magnitude mediana ($\hat{r}_{gA} = 0,42$), indicando uma expressiva interação G x A. Os valores genotípicos preditos livres da interação GxA ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$) apresentaram elevada amplitude. Dos 30 acessos com maior Z_i , 19 foram comuns aos parâmetros $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, S_i e A_i . O ganho genético com a seleção destes 19 acessos de mandioca foi de -55,94%, -466,86%, -397,72% e -444,03% para os parâmetros $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, S_i , A_i e Z_i , respectivamente, quando comparado com a média geral de cada parâmetro. Estes resultados demonstram a variabilidade e o potencial de uso do germoplasma de mandioca para introduzir a tolerância à DFPC em variedades comerciais.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, REML/BLUP, estresse abiótico, melhoramento, perdas pós-colheita.

IDENTIFICATION OF CASSAVA GERMPLASM WITH TOLERANCE POST-HARVEST PHYSIOLOGIC DETERIORATION

Abstract - The use of tolerant varieties can be an effective measure to control cassava post-harvest physiological deterioration (PPD), although it is necessary to generate knowledge about the genetic variability and control of this character. This study aimed to estimate genetic parameters, identify sources of PPD tolerance, and evaluate the stability of this character in cassava accessions. Roots from 418 cassava accessions were evaluated, grown in four independent experiments, with assessments made at 0, 2, 5 and 10 days after harvest. The data were transformed into values below the PPD progress curve (AUDPC). Genetic parameters and stability (S_i), adaptability (A_i) and joint analysis of genotypic stability and adaptability (Z_i) were obtained via REML (*Residual Maximum Likelihood*) and BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). The genotypic variance (G) x environment (E) interaction and genotypic variance were the most important for the expression of PPD tolerance. The heritability at individual plants level ($h_g^2 = 0.38 \pm 0.04$) and average genotypes ($h_{mg}^2 = 0.52$) showed a good genetic control for PPD tolerance. Genotypic AACPD correlation at different experiments showed medium magnitude ($\hat{r}_{gA} = 0.42$), indicating a significant G x E interaction. Freely predicted genotype values on the GxE interaction ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$) showed high amplitude. From 30 accessions with higher Z_i , 19 were common to $\hat{\mu} + \hat{g}_i$ parameters S_i and A_i . The genetic gain with selection from these 19 cassava accessions was -55.94% -466.86% -397.72% and -444.03% and for $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, S_i , A_i and Z_i , parameters, respectively, compared with the overall average of each parameter. These results demonstrate the variability and the potential of cassava used to introduce germplasm PPD tolerance in commercial varieties.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, REML / BLUP, abiotic stress, breeding, post-harvest losses.

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem sua origem e diversificação na América do Sul, sendo que o Brasil é considerado seu centro de diversidade (ALLEM, 2002). De modo geral a mandioca possui elevada adaptação a condições edafoclimáticas extremas (solos de elevada acidez e baixa fertilidade natural, áreas sujeitas a estresse hídrico e encharcamento), além de possuir ampla capacidade de recuperação após ataques de pragas e doenças (MORANTE et al., 2010). Atualmente o Brasil é o quarto maior produtor mundial de mandioca com produção superior a 21 milhões de toneladas (FAO, 2013).

Um dos grandes entraves à competitividade da cadeia produtiva da mandioca em comparação com outras culturas amiláceas é a deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC), que faz com que a comercialização e o processamento das raízes ocorram no menor tempo possível após a colheita. Embora haja a ocorrência de deterioração microbiana em etapas subsequentes, a DFPC é um processo puramente fisiológico, que rapidamente torna as raízes impalatáveis e sem valor comercial no período de 24 a 72h dependendo da cultivar e das condições ambientais (HAN et al., 2001; REILLY et al., 2003, 2007), fazendo com que o consumo seja realizado imediatamente após a colheita (VAN OIRSCHOT et al., 2000).

Na maioria dos casos, a DFPC desenvolve-se a partir de danos nos tecidos e é observada uma coloração azul-escura do tecido vascular, seguidos por uma descoloração geral do parênquima de armazenamento (BUSCHMANN et al., 2000; KOBLITZ, 2011), cuja análise microscópica revela a presença de oclusões coloridas e tiloses nos vasos do xilema, seguida de aumento na respiração, alterações na composição lipídica, acúmulo de metabólitos secundários muitos dos quais com atividade antimicrobiana e antioxidante, aumento na atividade de diversas enzimas, bem como picos de espécies ativas de oxigênio (EAO) (BUSCHAMANN et al., 2000; HUANG et al., 2001; REILLY et al., 2001, 2003, 2004; IYER et al., 2010).

Diversas alternativas de controle da DFPC têm sido propostas, como a exclusão de oxigênio com uso de sacos plásticos durante o armazenamento e transporte das raízes; revestimento das raízes com cera de parafina,

armazenamento em atmosfera controlada com baixo teor de oxigênio, ou mesmo congelamento de raízes (PARANAIBA et al., 1996; CEREDA; VILPOUX, 2003; REILLY et al., 2003; LUENGO; GALBO, 2009). Entretanto, existe uma inviabilidade técnica destas estratégias em função do alto custo de sua implantação, em matéria prima de baixo valor agregado. Por outro lado, o desenvolvimento de variedades de mandioca mais tolerantes à DFPC pode ser um método de controle viável e de baixo custo para proporcionar uma maior durabilidade das raízes após a colheita e, conseqüentemente, maior aproveitamento tanto para o consumo humano como para a indústria (FUKUDA, 2005; MORANTE et al., 2010). Desde a década de 90 a busca por fontes de tolerância à DFPC tem sido uma das prioridades da pesquisa elencadas pela Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO) e pela Rede de Biotecnologia de Mandioca (WENHAM, 1995).

Um primeiro passo para o desenvolvimento de variedades tolerantes à DFPC refere-se à identificação de fontes de tolerância no germoplasma de mandioca. Recentemente, alguns autores relataram a existência de variabilidade genética para tolerância à DFPC em germoplasma de mandioca (MORANTE et al., 2010; SALCEDO et al., 2010). No trabalho de Morante et al. (2010), fontes de tolerância à DFPC foram identificadas em genótipos com altos níveis de carotenóides, genótipos oriundos de irradiação de sementes e genótipos com amido ceroso.

Embora alguns autores afirmem que a tolerância à DFPC é o resultado do efeito de poucos genes supostamente envolvidas nos mecanismos de defesa da planta (REILLY et al., 2003, 2007), aparentemente existe uma maior complexidade no número de genes envolvidos do controle do caráter, tendo em vista a grande desuniformidade de variâncias resultantes da alta influência ambiental na expressão dos sintomas da DFPC (MORANTE et al., 2010). Estes últimos resultados indicam a possibilidade de ocorrência de elevada instabilidade genotípica dos acessos de mandioca para tolerância à DFPC, em função das diversas variáveis ambientais de cultivo, processamento e análises das raízes.

Para atributos relacionados à produtividade, os programas de melhoramento genético tradicionalmente promovem a seleção dos melhores genótipos com uso de métodos que levam em consideração a estabilidade e adaptabilidade de produção.

Por isso, a repetição dos ensaios em vários ambientes (anos e locais) é necessária para possibilitar melhor quantificação do efeito da interação genótipos x ambientes (G x A) e de seu possível impacto sobre a seleção e indicação de cultivares. Esta mesma estratégia pode ser utilizada para a seleção de genótipos de mandioca com maior estabilidade e adaptabilidade da tolerância à DFPC, de modo a assegurar maior confiabilidade na recomendação de genótipos para uso *per se* no sistema de produção ou mesmo como parentais em cruzamentos visando introdução da tolerância em cultivares elite.

Para a identificação de genótipos mais adaptados e estáveis a determinadas condições de plantio, é importante utilizar ferramentas estatísticas biométricas mais acuradas para estimação dos efeitos ambientais sobre a DFPC. Neste aspecto, o uso de modelos mistos a exemplo do REML/BLUP tem como maior vantagem a aleatoriedade dos efeitos genotípicos, ao estimar os componentes de variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e prever os valores genotípicos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2002a). A consideração dos genótipos como efeitos aleatórios contribui para não subestimar a interação genótipo x ambiente (YANG, 2007), além de minimizar o erro quadrático médio na predição dos verdadeiros valores genéticos (RESENDE; DUARTE, 2007).

O método REML tem sido bastante utilizado para estimação de parâmetros genéticos em programas de melhoramento pelas suas propriedades teóricas desejáveis. Uma melhor compreensão dos parâmetros genéticos associados à tolerância à DFPC é de suma importância para o desenvolvimento de novas cultivares de mandioca, pois ajudam na definição das estratégias de melhoramento mais eficazes para aumentar os ganhos com a seleção. Apesar desta importância, informações sobre parâmetros genéticos como herdabilidade, correlações genéticas, ganhos com seleção e acurácia seletiva não tem sido reportados na literatura.

A análise de modelos mistos, também possibilita a seleção de genótipos com maior estabilidade para o caráter em análise, bem como a seleção de genótipos responsivos (com alta adaptabilidade) à ambientes específicos, e seleção pelos três atributos (tolerância, estabilidade e adaptabilidade), simultaneamente, com uso da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG), que

classifica os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica (RESENDE, 2004).

Diante destas considerações, o objetivo deste trabalho foi avaliar parte do germoplasma de mandioca do Brasil para tolerância à DFPC, estimar parâmetros genéticos associados ao caráter, identificar fontes de tolerância à DFPC, bem como avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos acessos de mandioca utilizando a metodologia de modelos mistos.

MATERIAL E MÉTODOS

Material genético e condução experimental

Foram avaliados 418 acessos de mandioca pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Mandioca) da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). Fazem parte deste conjunto de genótipos dois clones elite (9624-09 e 98150-02), seis variedades melhoradas resultante de procedimentos convencionais de melhoramento (BRS Aipim Brasil, BRS Caipira, BRS Dourada, BRS Gema de Ovo, BRS Tapioqueira e BRS Verdinha), bem como a variedade local Eucalipto, utilizados como testemunhas. Os ensaios foram conduzidos neste mesmo município nos anos agrícolas de 2011 e 2012 (primeiro e segundo semestre de cada ano). Estas quatro épocas de avaliação foram consideradas ambientes independentes para as análises estatísticas. Em cada ambiente de avaliação, os experimentos foram compostos por aproximadamente 316 a 359 acessos.

O plantio destes acessos foi realizado com manivas de 20 cm de comprimento, distribuídas em sulcos com cerca de 10 cm de profundidade, utilizando espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,80 m entre plantas, com parcelas constituídas por duas filas de oito plantas. Os tratos culturais seguiram as recomendações de Souza et al. (2006).

A colheita das raízes foi realizada manualmente aos 10 meses após plantio, sendo selecionadas raízes com padrão e tamanho comercial, sem danos mecânicos evidentes para as análises de DFPC.

Avaliação da DFPC

As raízes colhidas foram armazenadas em prateleiras contidas em um galpão aberto com circulação de ar livre e lavadas em água corrente para remoção do excesso de terra somente no dia da avaliação. As avaliações da DFPC foram realizadas aos 0; 2; 5 e 10 dias após a colheita. Foram realizados três cortes transversais ao longo da raiz, a partir da extremidade proximal. A espessura do corte das fatias foi de aproximadamente 1 cm na posição correspondente a 25; 50 e 75% do comprimento total da raiz, denominadas como posição proximal, média e distal, respectivamente. Em seguida foram avaliados os níveis de severidade da DFPC de acordo com escala proposta por Wheatley et al. (1985) para sintomas periféricos e por Venturini et al. (2015) para sintomas distribuídos por toda a raiz, ambas com variação nas notas de 0 a 100%. Os valores da DFPC para cada raiz foram calculados pela média dos escores das três fatias transversais. O delineamento experimental utilizado para avaliação dos dados foi o de blocos completos casualizados com três repetições e cinco raízes por repetição.

Embora o método padrão para a quantificação da DFPC (WHEATLEY et al., 1985) utilize a remoção das extremidades proximal e distal da raiz, para acelerar o DFPC, no presente estudo as raízes foram avaliadas sem cortes para que fosse possível simular melhor a realidade que ocorre no sistema produtivo da mandioca, sobretudo pelo armazenamento temporário em galpões com ou sem cobertura. As raízes que apresentaram sintomas de podridão relacionados a deterioração por microrganismos ou afetadas por insetos não foram utilizadas para a quantificação da tolerância à DFPC.

Os dados médios da porcentagem de deterioração fisiológica pós-colheita considerando as avaliações dos sintomas na área total e periférica das raízes nas diferentes datas de avaliação foram utilizados para calcular a área abaixo da curva do progresso da DFPC (AACPD), de acordo com a

fórmula: $AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_{i+1} + Y_i)}{2} \times (T_{i+1} - T_i)$, em que n é o número de observações; Y_i é a severidade da DFPC na i -ésima observação; T_i é o tempo decorrido em dias na i -ésima observação.

Estimativa dos ganhos e parâmetros genéticos

Para análise dos dados utilizou-se o delineamento de blocos incompletos, em quatro experimentos, com uma observação por parcela com uso do modelo estatístico: $y = Xr + Tb + Zi + Wg + e$, em que y é o vetor das observações, r é o vetor dos efeitos de ambientes (considerado como fixo) somados à média geral, b é o efeito de bloco dentro de ambiente (considerado como aleatório), g é o vetor dos efeitos genotípicos (considerado como aleatório), i é vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes (GxA) (aleatórios) e e é o vetor de resíduos (aleatório). X , T , Z e W , representam as matrizes de incidência relativa dos efeitos de ambiente, bloco, genótipo e interação GxA, respectivamente.

A distribuição e estrutura das médias e variâncias foram dadas por: $y/r, V \sim N(Xr, V)$, $b/\sigma_b^2 \sim N(0, I\sigma_b^2)$, $g/\sigma_g^2 \sim N(0, I\sigma_g^2)$, $i/\sigma_i^2 \sim N(0, I\sigma_i^2)$ e $e/\sigma_e^2 \sim N(0, I\sigma_e^2)$. As covariâncias entre todos os efeitos aleatórios do modelo foram: $Cov(b, g')$, $Cov(b, i')$, $Cov(b, e')$; $Cov(g, i')$; $Cov(g, e')$; $Cov(i, e')=0$; de tal forma que:

$$E \begin{bmatrix} y \\ b \\ g \\ i \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xr \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ e } \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ b \\ g \\ i \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & TP & ZG & WC & R \\ T' & P & 0 & 0 & 0 \\ Z' & 0 & G & 0 & 0 \\ W' & 0 & 0 & C & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}, \text{ em que } P = I\sigma_b^2, G = I\sigma_g^2; R = I\sigma_e^2;$$

$$C = I\sigma_i^2 \text{ e } V = TPT' + ZGZ' + WCW' +$$

O sistema de equações lineares (chamados de equações do modelo misto - EMM) utilizado para obter as soluções do modelo foi:

$$\begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'X & XT & X'Z & X'W \\ T'X & TT + D_1 & T'Z & T'W \\ Z'X & ZT & Z'Z + G^{-1}\lambda_1 & Z'W \\ W'X & WT & W'Z & WW + D_3 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} X'y \\ T'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix},$$

em que: $\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_b^2} = \frac{1}{b^2} \rho$, $\lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1}{h_g^2} \rho$ e $\lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_i^2} = \frac{1}{i^2} \rho$ referem-se aos fatores de

encolhimento dos efeitos aleatórios do modelo de equações mistas,

$c_b^2 = \frac{\hat{\sigma}_b^2}{\hat{\sigma}_b^2 + \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_e^2}$ refere-se ao coeficiente de determinação do efeito de bloco;

$h_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_b^2 + \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_e^2}$ é a herdabilidade individual no sentido amplo dentro do bloco;

$h_{mg}^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + (\hat{\sigma}_b^2/b) + (\hat{\sigma}_i^2/r) + (\hat{\sigma}_e^2/r \ b)}$ é a herdabilidade genotípica média, sendo r e b o

número de ambientes e blocos, respectivamente; $\hat{r}_{gg} = \sqrt{h_{mg}^2}$ a acurácia da seleção dos

acessos; $c_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_i^2}{\hat{\sigma}_b^2 + \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_e^2}$ refere-se ao coeficiente de determinação do efeito

individual dentro do bloco; $\hat{\sigma}_b^2$ é a variância do efeito de blocos; $\hat{\sigma}_g^2$ é a variância

genotípica entre acessos; $\hat{\sigma}_i^2$ é a variância da interação GxA; $\hat{\sigma}_e^2$ é a variância residual;

$\hat{r}_{gA} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2}$ é a correlação genotípica entre o comportamento dos acessos nos

diferentes experimentos; $cv_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\bar{X}} \times 100$ é o coeficiente de variação genotípica;

$cv_e = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\bar{X}} \times 100$ é o coeficiente de variação residual; e \bar{X} é a média geral.

As estimativas REML dos componentes de variância foram obtidas por meio do algoritmo de EM (esperança e maximização), de acordo com as seguintes

expressões: $\hat{\sigma}_e^2 = \frac{y'y - \hat{r}'X'y - bT'y - \hat{g}'Z'y - \hat{i}W'y}{N - r(x)}$, $\hat{\sigma}_b^2 = \frac{\hat{b}'\hat{b} + \hat{\sigma}_e^2 tr(C^2)}{q}$

$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{\hat{g}'G^{-1}\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 tr(C^3)}{s}$ e $\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\hat{i}'\hat{i} + \hat{\sigma}_e^2 tr(C^4)}{t}$ em que C^{22} , C^{33} e C^{44} foram derivados da

matriz dos coeficientes das equações do modelo misto, i.e:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix} \text{ que é a inversa generalizada}$$

dos coeficientes da matriz EMM, tr é o traço da matriz; $r(x)$ é o posto da matriz X ; N -

$r(x)$ é o número de graus de liberdade do erro; q é o número de blocos; s é o número de genótipos e t é o número de combinações genótipos x ambientes.

Os preditores BLUP empíricos dos valores genotípicos livres da interação, foram dados por $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, em que $\hat{\mu}$ é a média geral da AACPD em todos os experimentos e \hat{g}_i é o efeito genotípico livre da interação GxA. Para cada local j , os valores genotípicos são preditos por $VG_j = \mu_j + g_i + g_{ij}$, em que μ_j é a média do local j , g_i é o efeito genotípico do genótipo i , no local j , e g_{ij} é o efeito da interação genótipo x ambiente relativo ao genótipo i no ambiente j . A predição dos valores genotípicos considerando a interação média (g_{em}) nos diferentes locais foi obtida por $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_{em}$, na qual $\hat{\mu} + \left[\left(\hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_i^2}{n} \right) / \hat{\sigma}_g^2 \right] \hat{g}_i$, em que, $\hat{\mu}$ é a média geral de todos os experimentos, n é o número de locais e \hat{g}_i é o efeito genotípico do acesso i .

Estabilidade dos valores genotípicos da tolerância à DFPC

A estabilidade dos acessos de mandioca nos diferentes ambientes (anos e épocas de cultivo) quanto à tolerância à DFPC foi avaliada por meio da média

harmônica do valor genotípico (S_i), dada por: $S_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{VG_j}}$, em que n_i é o número de

experimentos em que o acesso i foi avaliado; e VG_j o valor genotípico predito do acesso i no experimento j . Neste caso, quanto menor o desvio padrão do comportamento genotípico nos diferentes experimentos, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos. Portanto, a seleção dos maiores valores de S_i resulta na seleção de acessos com maior tolerância e estabilidade à DFPC, de forma simultânea.

Com uso dos conceitos de estabilidade e adaptabilidade, amplamente empregados na análise de atributos produtivos, a adaptabilidade dos acessos foi calculada considerando o desempenho relativo dos valores genotípicos nos diferentes experimentos (A_i). Neste caso, os valores genotípicos preditos foram expressos pela proporção da média geral de cada local e, em seguida, obtido o valor

médio desta proporção nos diferentes locais. O A_i foi obtido por $A_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} VG_{ij}$, em que n_i é o número de experimentos na qual o acesso i foi avaliado; μ_j é a média do experimento j ; $VG_{ij} = \mu_j + g_i + g_{ij}$ é o valor genotípico predito do acesso i no experimento j , em que g_i é o efeito genotípico do acesso i e g_{ij} é o efeito da interação do acesso i no ambiente j , estimados via REML/BLUP.

A estabilidade e adaptabilidade quanto a tolerância à DFPC foi estimada pelo método da média harmônica do desempenho relativo do valor genotípico (Z_i) predito dado por $Z_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{PRVG_{ij}}}$, de acordo com Resende (2004). A estimação dos

componentes de variância e efeitos de predição não viesada foram estimados pelo procedimento REML do software Selegen (RESENDE, 2007).

Os ganhos genéticos foram calculados como a média dos valores genéticos dos acessos selecionados em comparação com a média dos experimentos. A seleção foi realizada utilizando os valores genéticos dos 30 melhores acessos (menores estimativas dos valores BLUP para tolerância à DFPC). Os valores genotípicos de cada acesso foram obtidos por adição de cada efeito genotípico à média geral.

Todas estas análises foram realizadas com auxílio do programa Selegen - Seleção Genética Computadorizada, (RESENDE, 2002b), utilizando o delineamento em blocos incompletos e uma observação por parcela – Método MHPRVG: modelo 52, que faz de forma simultânea a predição de valores genéticos e a estimação de componentes de variância. O procedimento adotado para predição de valores genéticos é o BLUP, utilizando estimativas de componentes de variância obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativas de parâmetros genéticos

Os efeitos de genótipos livres de interação, bem como efeito do ambiente e da interação G x A foram significativos pelo teste de χ^2 ($p < 0,1\%$) pela análise de deviance (Tabela 1). Estes resultados demonstraram a importância de cada um destes componentes na expressão da tolerância da mandioca à DFPC, especialmente ao considerar a interação G x A, que neste caso demanda análises mais específicas para recomendação mais adequada de genótipos, à exemplo das análises de estabilidade e adaptabilidade.

Tabela 1. Estimativas de deviance para tolerância à deterioração fisiológica pós-colheita em mandioca.

Efeito	Deviance ¹	LRT(χ^2)	Significância
Genótipo (G)	23119,80	41,80	0,000
Ambiente (A)	23091,03	13,03	0,000
GxA	24001,04	923,04	0,000
Modelo completo	23078,00		

¹Deviance do modelo ajustado sem o efeito correspondente; com 1 grau de liberdade. LRT (*Likelihood Ratio Test*), com distribuição de χ^2 .

A significância dos efeitos genotípicos indica a existência de variabilidade genética suficiente para seleção de acessos de mandioca mais tolerantes à DFPC. Isto pode ser confirmado pela ampla variação nos valores de AACPD (633,04 a 2.265,19) (Tabela 2), que permitem proceder a seleção de acessos superiores com base em métodos estatístico-genéticos mais adequados que considerem os efeitos genotípicos do caráter sob seleção.

Tabela 2. Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos da análise conjunta dos experimentos relacionados à avaliação da deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC) em mandioca.

Parâmetro ¹	Estimativas
σ_g^2	183.687,79
σ_b^2	893,41
$\hat{\sigma}_i^2$	253.061,97
σ_e^2	52.706,44
σ_f^2	490.349,61
h_g^2	0,38 ± 0,04
h_{mg}^2	0,52
\hat{r}_{gg}	0,72
c_{GxA}^2	0,52
\hat{r}_{gA}	0,42
CV_g	26,68
CV_e	14,29
\bar{X}	1.606,24
Variação	633,04 – 2.265,19

¹ $\hat{\sigma}_g^2$: variância genotípica; $\hat{\sigma}_b^2$: variância do efeito de blocos; $\hat{\sigma}_i^2$: variância da interação GxA; $\hat{\sigma}_e^2$: variância residual; σ_f^2 variância fenotípica; h_g^2 : herdabilidade individual no sentido amplo dentro do bloco; h_{mg}^2 : herdabilidade média genotípica; \hat{r}_{gg} : acurácia da seleção dos genótipos; c_{GxA}^2 : coeficiente de determinação da interação GxA ; \hat{r}_{gA} : correlação genotípica do comportamento dos genótipos nos diferentes ambientes; CV_g : coeficiente de variação genotípica; CV_e : coeficiente de variação residual; \bar{X} : média fenotípica geral.

As variâncias da interação GxA ($\hat{\sigma}_i^2$), variância genotípica (σ_g^2) e variância ambiental (σ_e^2) foram as mais importantes para a expressão da tolerância à DFPC, representando cerca de 52%, 37% e 11%, da variância fenotípica, respectivamente (Tabela 2). Em estudos relacionados ao potencial produtivo de arroz, também foram observadas proporções similares entre a variância genotípica e da interação GxA (COLOMBARI FILHO et al., 2013), indicando que os efeitos da interação GxA tem forte influência na expressão de caracteres quantitativos. Por outro lado, ao avaliarem 10 variedades de mandioca para produção de raízes frescas, Farias Neto et al. (2013) relataram que a maior parte da variação foi devida ao efeito ambiental (79%)

em detrimento da interação GxA (18%) e da variação genotípica (3%). Também em mandioca, Oliveira et al. (2015) avaliaram o efeito do déficit hídrico sobre os parâmetros e os valores genéticos em algumas dezenas de acessos. Segundo estes autores, as estimativas de σ_g^2 foram, de modo geral, mais importantes que a σ_e^2 , embora nos ambientes com déficit hídrico, as estimativas de σ_g^2 foram 3, 9, 10 e 12 vezes menores que no ambiente sem déficit. Isto indica que embora haja componentes genéticos importantes no controle genético de caracteres quantitativos, o ambiente pode influenciar na expressão dos caracteres de modo a ser responsável pela maior parte da variação fenotípica.

A herdabilidade em nível de plantas individuais nos diferentes ambientes de avaliação foi de magnitude mediana ($h_g^2 = 0,38 \pm 0,04$). Estimativas medianas de h_g^2 (0,30) também foram observadas na cultura da mandioca, para produtividade da parte aérea em condições de déficit hídrico (OLIVEIRA et al., 2015). Por outro lado, h_g^2 de alta magnitude (0,74) foram observadas para compostos cianogênicos (OLIVEIRA et al., 2014), produtividade de raízes e amido (0,80) (OLIVEIRA et al., 2015). A herdabilidade é um dos mais importantes parâmetros genéticos, pois quantifica a fração da variação fenotípica de natureza herdável, passível de ser explorada na seleção (ROSADO et al., 2012). Portanto, h_g^2 de magnitude mediana indica que a seleção baseada em plantas individuais e em poucos ambientes de avaliação pode não ser uma estratégia eficiente para aumentar a tolerância da mandioca à deterioração fisiológica, sendo necessária a realização de avaliações agronômicas em diversos ambientes e anos de cultivo.

A herdabilidade média dos genótipos (h_{mg}^2) para AACPD nos quatro ambientes foi mais elevada (0,52) do que a h_g^2 , indicando um bom controle genético na expressão da tolerância à DFPC. A h_{mg}^2 é um parâmetro de grande interesse para a predição do sucesso do melhoramento na seleção de clones, pois os valores genotípicos são preditos com base na média de várias repetições (MAIA et al., 2009). De fato, Oliveira et al. (2015) observaram uma melhoria significativa nas estimativas

de h_{mg}^2 em comparação com h_g^2 , tanto na ausência quanto na presença de déficit hídrico em experimentos de mandioca. Para exemplificar, a característica número de raízes apresentou $h_g^2 = 0,25 \pm 0,12$ e $h_{mg}^2 = 0,50$, tendo neste um aumento de duas vezes na herdabilidade do caráter, ao se considerar a média ajustada.

De acordo com Resende (2002a), a acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}) pode ser classificada em: alta ($\hat{r}_{gg} > 0,70$), média ($0,40 < \hat{r}_{gg} < 0,70$) e baixa ($0,10 < \hat{r}_{gg} < 0,40$). No caso da AACPD a \hat{r}_{gg} foi de alta magnitude (0,72), de forma a garantir uma alta confiabilidade na seleção dos acessos superiores. Em outro estudo relacionado à produtividade de raiz fresca em mandioca, mesmo ao observarem uma acurácia seletiva de magnitude moderada (0,53), Farias Neto et al. (2013) relataram sucesso na seleção de genótipos superiores. Entretanto, estes autores alertaram que a adoção de um número adequado de repetições é essencial em ensaios visando uma seleção mais eficiente e precisa, pois contribui para aumento da \hat{r}_{gg} . Adicionalmente, Resende e Duarte (2007) sugerem que nas fases intermediárias dos programas de melhoramento genético, a \hat{r}_{gg} seja de no mínimo 0,70. Portanto, os dados referentes à AACPD possuem boa acurácia seletiva para indicação dos acessos com maior potencial para serem utilizados no programa de melhoramento genético.

O coeficiente de determinação da interação GxA (c_{GxA}^2) para os diferentes experimentos de avaliação da DFPC foi de 0,52 (Tabela 2). O alto valor de c_{GxA}^2 resultou em estimativa mediana da correlação genotípica dos valores de AACPD dos acessos de mandioca nos diferentes experimentos ($\hat{r}_{gA} = 0,42$). Resultados semelhantes foram observados em cana-de-açúcar por Bastos et al. (2007) e arroz por Colombari Filho et al. (2013), cujos valores de \hat{r}_{gA} foram de 0,49 e 0,47, respectivamente. Por outro lado, Farias Neto et al. (2013) relataram baixa correlação genotípica do comportamento dos genótipos de mandioca quanto à produtividade de raízes em diferentes ambientes (0,15). A \hat{r}_{gA} é um parâmetro bastante dependente das condições ambientais de cultivo, da natureza do material genético e do caráter avaliado, pois em outras culturas como cana-de-açúcar e café a correlação genotípica dos genótipos nos diferentes ambientes de teste foi bastante elevada,

0,80 para produtividade de colmos (OLIVEIRA et al., 2005) e 0,93 para produtividade de grãos (RODRIGUES et al., 2013), respectivamente. Contudo, diferentemente do presente estudo, no qual foram avaliados 418 genótipos de mandioca, os estudos mencionados anteriormente avaliaram apenas algumas dezenas de genótipos. Certamente, diferenças na natureza do caráter e no número de genótipos avaliados podem contribuir para maior dificuldade no ordenamento dos genótipos nos diferentes ambientes, considerando o grande efeito da interação GxA.

Segundo Resende (2007) o \hat{r}_{gA} pode ser utilizado com um indicador do tipo de interação existente para o caráter, na qual $\hat{r}_{gA} \geq 0,70$ indica interação do tipo simples e $\hat{r}_{gA} < 0,70$ interação complexa. Portanto, de acordo com este autor a interação existente para tolerância da mandioca à DFPC é do tipo complexa, cuja classificação dos acessos nos diferentes experimentos é substancialmente alterada e a seleção dos melhores genótipos não deve ser feita apenas com base na média dos experimentos.

O coeficiente de variação genotípica (CV_g) foi elevado (26,68%), indicando a existência de variabilidade genética possível de seleção para tolerância à DFPC. Este valor representa o dobro das estimativas obtidas na análise de clones de cana-de-açúcar, para a característica produtividade, em cinco dos sete locais avaliados (BASTOS et al., 2007). Valores acima de 10% já indicam haver presença de variabilidade genética com possibilidade de seleção (OLIVEIRA et al., 2005; BASTOS et al., 2007). O coeficiente de variação residual (CV_v) foi de 14,29% e, pode ser considerado de média magnitude, pois segundo Gomes (2000), CV_v menores que 10% são classificados como baixos e valores acima de 30% são tidos como muito altos, chegando inclusive a comprometer a precisão experimental. Resultados análogos ao do presente estudo, com $CV_v = 20,93\%$ foram observados para outros caracteres em mandioca como produtividade de raízes (FARIAS NETO et al., 2013). Por outro lado, CV_v acima de 50% foram observados para caracteres produtivos em hastes e raízes de mandioca (AINA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015).

Como a classificação de Gomes (2000) é muito abrangente e não leva em consideração o número de repetições e nem a grandeza do caráter sob seleção,

Resende (2007) tem sugerido o uso do coeficiente de variação relativa ($CV_r = CV_g / CV_e$) para avaliar a qualidade experimental. Para DFPC a CV_r foi acima da unidade (1,87), e, portanto, reforça a possibilidade de ganho de seleção para essa característica. CV_r acima da unidade tem sido relatado para outras características produtivas em mandioca como número e produtividade de raízes, peso da parte aérea, teor de matéria seca e produtividade de amido (OLIVEIRA et al., 2015).

Valores genotípicos da tolerância à DFPC

Na Tabela 3 é apresentado o desempenho médio dos 30 melhores acessos de mandioca com base nos valores genotípicos preditos livres da interação GxA ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$) e valores genotípicos considerando a interação média dos acessos e ambientes ($\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$), avaliados nos quatro ambientes. A classificação dos acessos tolerantes à DFPC seguiu a mesma ordem pelos dois critérios ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$ e $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$), embora as estimativas dos valores genotípicos médios foram de menor magnitude, pois este último critério leva em consideração a capitalização da interação média no sentido de redução da média do caráter (menor severidade). Observações semelhantes foram relatadas em cana-de-açúcar na qual o parâmetro $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$ permitiu capitalizar maior proporção do caráter produtividade de açúcar (GONÇALVES et al., 2014). Contudo, estes autores alertaram que sobre o fato de que esta superioridade só é capitalizada quando os genótipos são plantados em áreas com os mesmos padrões de interação GxA. Por outro lado, o parâmetro $\hat{\mu} + \hat{g}_i$ permite a extrapolação dos resultados para locais fora da rede experimental de avaliação, uma vez que os desempenhos dos materiais são livres da interação GxA. Em qualquer situação, fora destas especificações, a escolha dos melhores acessos com base nos valores $\hat{\mu} + \hat{g}_i$ é mais segura. Desta forma, como não houve alteração no ranking dos acessos de mandioca para tolerância à DFPC, adotou-se o ranqueamento com base nas menores estimativas de $\hat{\mu} + \hat{g}_i$.

Tabela 3. Estimativas dos valores genotípicos preditos ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$), valores genotípicos médios ($\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$) e ganhos genéticos para tolerância à deterioração fisiológica em acessos de mandioca.

Ordem	Acessos ¹	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
418	BGM1209	633,04	-153,73	633,04	297,85
417	BGM0624	658,78	-148,68	645,91	332,46
416	BGM1190	806,47	-129,65	699,43	531,01
415	BGM0930	909,33	-113,62	751,91	669,30
414	BGM1370	946,38	-103,12	790,80	719,11
413	BGM0928	977,42	-95,43	821,90	760,84
412	BGM1179	985,59	-90,02	845,29	771,82
411	BGM0626	989,88	-86,05	863,36	777,59
410	BGM0356	1013,29	-82,52	880,02	809,06
409	BGM1342	1025,98	-79,55	894,62	826,13
408	BGM0367	1045,26	-76,84	908,31	852,05
407	BGM0878	1050,36	-74,56	920,15	858,91
406	BGM1371	1057,15	-72,59	930,69	868,03
405	BGM0623	1058,56	-70,91	939,82	869,93
404	BGM0497	1064,82	-69,41	948,15	878,35
403	BGM1137	1079,22	-67,96	956,35	897,70
402	BGM0640	1084,46	-66,64	963,88	904,74
401	BGM1567	1089,50	-65,45	970,86	911,53
400	BGM1024	1090,90	-64,38	977,18	913,40
399	BGM1185	1094,98	-63,39	983,07	918,89
398	BGM0631	1101,55	-62,46	988,71	927,72
397	BGM0452	1110,25	-61,56	994,23	939,42
396	BGM1508	1110,76	-60,74	999,30	940,11
395	BGM1184	1114,50	-59,97	1004,10	945,14
394	BGM1291	1126,09	-59,19	1008,98	960,71
393	BGM0276	1127,32	-58,48	1013,53	962,38
392	BGM1236	1143,83	-57,73	1018,36	984,56
391	BGM0601	1144,62	-57,03	1022,87	985,63
390	BGM0307	1146,18	-56,38	1027,12	987,73
389	BGM1037	1151,45	-55,75	1031,26	994,81
2	<u>9624-09</u>	2211,00	-0,10	1604,66	2419,29
165	<u>98150-02</u>	1711,72	-13,86	1410,76	1748,05
220	<u>BRS Aipim Brasil</u>	1605,30	-19,65	1342,46	1604,97
26	<u>BRS Caipira</u>	2053,31	-2,08	1573,47	2207,29
277	<u>BRS Dourada</u>	1473,33	-27,34	1261,42	1427,55
206	<u>BRS Gema de Ovo</u>	1631,74	-18,05	1360,66	1640,52
242	<u>BRS Tapioqueira</u>	1561,11	-22,38	1312,52	1545,57
11	<u>BRS Verdinha</u>	2111,00	-0,87	1592,41	2284,85
330	<u>Eucalipto</u>	1322,99	-36,79	1174,25	1225,44

¹: acessos em itálico e sublinhados referem-se às variedades locais ou melhoradas.

A seleção e multiplicação assexuada dos melhores acessos de mandioca explora a predição dos valores genotípicos totais de cada acesso (aditivos, dominantes e epistáticos), pois o genótipo do indivíduo será integralmente transmitido para as próximas gerações, ao contrário do que é praticado na seleção recorrente, cujo conhecimento dos efeitos aditivos ganha maior importância do que os efeitos não-aditivos. Portanto, os ganhos genéticos com a seleção podem ser baseados nos valores genotípicos totais para tolerância à DFPC.

A escolha do número de acessos a serem clonados depende da visão de futuro dos programas de melhoramento, cujos resultados relacionados aos ganhos genéticos e manutenção da variabilidade genética dependerá da intensidade de seleção praticada em cada etapa. Considerando um programa de introdução da tolerância à DFPC de longo prazo, a seleção dos 30 acessos mais tolerantes à deterioração fisiológica resultou em uma redução de -55,75% nas estimativas de $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, em comparação com a média dos 418 acessos avaliados. Por outro lado, programas de melhoramento de curto prazo podem adotar uma maior intensidade de seleção, cuja seleção apenas dos cinco acessos mais tolerantes à DFPC (BGM1209, BGM0624, BGM1190, BGM0930 e BGM1370) proporciona uma redução do caráter em mais de 103% na severidade da DFPC (Tabela 3). Esta redução na severidade da DFPC foi bastante expressiva considerando que ganhos de apenas 2,28% foram relatados para produtividade de raízes de mandioca quando se utilizou o parâmetro $\hat{\mu} + \hat{g}_i$ para a seleção dos três melhores genótipos (FARIAS NETO et al., 2013).

Dos materiais cultivados pelos agricultores, os três acessos mais tolerantes à DFPC foram a variedade local Eucalipto e as variedades melhoradas BRS Dourada e BRS Tapioqueira, alocadas na 330^o, 277^o e 242^o posição. De fato a variedade Eucalipto tem sido amplamente cultivada na região do Recôncavo da Bahia, por suas características culinárias e também pela sua maior tolerância à DFPC. Contudo, seu valor de AACPD (1322,99) está bem próximo à média geral.

Os valores genotípicos preditos dos acessos mais tolerantes à DFPC também podem ser considerados para recomendações, inclusive quando selecionados em ambientes com padrão de interação GxA distintos. Devido ao caráter conservador da estimativa $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, que penaliza os valores genotípicos preditos, é esperado que o

mesmo comportamento das médias genóticas do caráter seja observado caso os acessos sejam submetidos a ambientes diversos (MAIA et al., 2009). Neste contexto, o uso de melhores métodos de predição como o BLUP proporciona maior precisão na seleção, e assim aumenta a acurácia na avaliação e seleção dos genótipos superiores.

Estimativas de estabilidade e adaptabilidade para tolerância à deterioração fisiológica

Na Tabela 4 são apresentadas as médias harmônicas dos valores genóticos preditos, que define a estabilidade (S_i) e a performance relativa dos valores genóticos, que define a adaptabilidade dos acessos (A_i) para tolerância à DFPC. Dos 30 acessos de mandioca mais estáveis quanto à tolerância à DFPC, 60% também foram ranqueados com menor $\hat{\mu} + \hat{g}_i$ (BGM0452, BGM0601, BGM0623, BGM0624, BGM0626, BGM0640, BGM0878, BGM1024, BGM1037, BGM1190, BGM1209, BGM1236, BGM1291, BGM1342, BGM1370, BGM1371, BGM1508 e BGM1567). Portanto, houve uma boa correlação entre os valores genóticos livre da interação GxA e o parâmetro S_i , o que mostra que os acessos mais tolerantes à DFPC também foram os de maior estabilidade. De fato, de acordo com Oliveira et al. (2005), quanto menor o desvio padrão do desempenho genotípico entre os ambientes, maior será o S_i , o que significa dizer que a seleção pelo parâmetro S_i , implica simultaneamente em seleção para o caráter de interesse associado com a sua estabilidade nos diferentes experimentos. Por outro lado, discordâncias no ranqueamento de variedades de arroz, em relação aos parâmetros S_i e $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, também foram observados no trabalho de Colombari Filho et al. (2013), no qual 84% das variedades foram comuns aos dois parâmetros, enquanto em cana-de-açúcar, Oliveira et al. (2005) relataram concordância de 80% dos melhores selecionados para produtividade de colmos. Estes resultados reforçam a necessidade de se usar, sempre que possível, diferentes critérios para a seleção de genótipos superiores.

Tabela 4. Estimativas de estabilidade (Si) e adaptabilidade (Ai) preditos pela análise BLUP para os 30 acessos de mandioca mais tolerantes à deterioração fisiológica pós-colheita.

Estabilidade (E)			Adaptabilidade (A)			
Ordem	Acessos ¹	Si	Ordem	Acessos ¹	Ai	$A_i * \bar{X}$
418	BGM1342	60,01	418	BGM1342	0,04	66,95
417	BGM0878	117,98	417	BGM0878	0,08	131,63
416	BGM0623	137,47	416	BGM0623	0,10	153,38
415	BGM1124	159,88	415	BGM1209	0,13	201,96
414	BGM1067	188,02	414	BGM1124	0,13	209,58
413	BGM1567	211,04	413	BGM1567	0,15	235,46
412	BGM0624	214,07	412	BGM1024	0,15	239,16
411	BGM1024	214,35	411	BGM0624	0,15	239,31
410	BGM1370	217,13	410	BGM1067	0,15	246,47
409	BGM1190	220,94	409	BGM1370	0,16	263,21
408	BGM0626	226,87	408	BGM1508	0,18	291,85
407	BGM1209	230,16	407	BGM0626	0,21	340,36
406	BGM1508	261,58	406	BGM0745	0,28	445,68
405	BGM1524	276,83	405	BGM1190	0,28	452,72
404	BGM0540	320,85	404	BGM1607	0,29	460,19
403	BGM2019	370,91	403	BGM1417	0,31	495,26
402	BGM1371	394,49	402	BGM1371	0,31	498,02
401	BGM0745	399,46	401	BGM0497	0,31	504,88
400	BGM1347	403,39	400	BGM0640	0,34	553,30
399	BGM0788	410,26	399	BGM1185	0,35	569,08
398	BGM1607	412,46	398	BGM1203	0,36	578,83
397	BGM1311	425,49	397	BGM0930	0,37	600,52
396	BGM0640	443,60	396	BGM0452	0,38	615,22
395	BGM1417	443,90	395	BGM1291	0,39	622,78
394	BGM0452	448,30	394	BGM0276	0,39	632,02
393	BGM1037	477,52	393	BGM1681	0,40	647,90
392	BGM1236	485,39	392	BGM0601	0,41	652,47
391	BGM0601	488,85	391	BGM1270	0,41	654,81
390	BGM1053	496,08	390	BGM1672	0,41	655,12
389	BGM1291	501,16	389	BGM1037	0,41	663,21
18	<u>9624-09</u>	2592,70	35	<u>9624-09</u>	1,52	2434,40
85	<u>98150-02</u>	2128,20	161	<u>98150-02</u>	1,13	1820,80
269	<u>BRS Aipim Brasil</u>	1223,10	221	<u>BRS Aipim Brasil</u>	1,00	1603,30
256	<u>BRS Caipira</u>	1280,60	250	<u>BRS Caipira</u>	0,92	1476,00
323	<u>BRS Dourada</u>	910,16	318	<u>BRS Dourada</u>	0,70	1128,30
27	<u>BRS Gema de Ovo</u>	2550,90	9	<u>BRS Gema de Ovo</u>	1,77	2846,10
44	<u>BRS Tapioqueira</u>	2426,30	60	<u>BRS Tapioqueira</u>	1,42	2287,60
235	<u>BRS Verdinha</u>	1367,90	272	<u>BRS Verdinha</u>	0,85	1373,10
19	<u>Eucalipto</u>	2590,90	6	<u>Eucalipto</u>	1,80	2890,70

¹: acessos em itálico e sublinhados referem-se à variedades locais ou melhoradas.

Dos materiais cultivados (testemunhas), a variedade BRS Dourada foi a que mostrou-se mais estável nos quatro experimentos avaliados, enquanto que a variedade Eucalipto, tida como variedade tolerante à DFPC, foi uma das mais instáveis com ranqueamento na 19^o posição (Tabela 4). O parâmetro S_i leva em consideração a estabilidade e a tolerância à DFPC de forma simultânea, havendo uma penalização para os acessos instáveis. Assim, os valores S_i são os próprios valores da AACPD, penalizados pela instabilidade, o que facilita a seleção dos acessos mais resistentes e estáveis nos diferentes ambientes. Segundo Resende (2007), a principal vantagem de calcular a estabilidade dos acessos com base no genótipo refere-se à maior acurácia de estimação dos efeitos genéticos, quando os genótipos são considerados como um fator aleatório.

Com relação à adaptabilidade, houve coincidência de 73% entre os acessos mais estáveis com os acessos de maior adaptabilidade (BGM0452, BGM0601, BGM0623, BGM0624, BGM0626, BGM0640, BGM0745, BGM0878, BGM1024, BGM1037, BGM1067, BGM1124, BGM1190, BGM1209, BGM1291, BGM1342, BGM1370, BGM1371, BGM1417, BGM1508, BGM1567 e BGM1607) (Tabela 4). Neste caso, o parâmetro A_i , capitaliza a capacidade de resposta de cada acesso à melhoria do ambiente (no presente estudo entendido como experimentos com menor média da severidade da DFPC). Na metodologia de modelos mistos, para cálculo de A_i os valores genotípicos preditos são expressos como proporção da média geral de cada ambiente (μ_j), e posteriormente obtém-se o parâmetro na escala do atributo mensurado, por meio da multiplicação do A_i pela média geral (\bar{X}) dos experimentos. Observou-se que o ranqueamento das variedades atualmente disponíveis aos agricultores para o parâmetro A_i foi bastante parecida com o S_i .

A média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos agrupa em um único parâmetro (Z_i) a análise conjunta da estabilidade e adaptabilidade da tolerância à DFPC. Neste caso, para se selecionar os acessos com maior tolerância à DFPC e ao mesmo tempo maior estabilidade e adaptabilidade do caráter, deve-se selecionar aqueles cuja estimativa da Z_i seja menor do que 1 (contrariamente ao que se deseja quando o objetivo é aumentar o valor do caráter). Neste caso, em média os 30 acessos com menor Z_i (Tabela 5) corresponderam a 0,23 vezes a severidade

média da DFPC, na média dos experimentos em que foi avaliada. Das nove testemunhas avaliadas, seis apresentaram Z_i acima de 1,00 e, portanto, apresentaram severidade para a DFPC acima da média dos acessos avaliados.

Tabela 5. Estimativas de estabilidade e adaptabilidade simultânea de valores genotípicos (Z_i) preditos pela análise BLUP para os 30 acessos de mandioca mais tolerantes à deterioração fisiológica pós-colheita.

Ordem	Acesso	Z_i	Z_i^*X	Ordem	Acesso	Z_i	Z_i^*X
418	BGM1342	0,04	66,95	398	BGM1311	0,30	485,33
417	BGM0878	0,08	131,63	397	BGM1417	0,31	495,26
416	BGM0623	0,10	153,38	396	BGM0928	0,31	500,96
415	BGM0624	0,11	182,78	395	BGM0497	0,31	504,88
414	BGM1190	0,12	188,57	394	BGM1347	0,32	510,47
413	BGM1209	0,12	196,69	393	BGM0452	0,33	527,39
412	BGM1124	0,13	209,58	392	BGM0640	0,33	529,18
411	BGM1567	0,15	235,46	391	BGM1185	0,35	569,08
410	BGM1024	0,15	239,16	390	BGM1236	0,35	569,26
409	BGM1067	0,15	246,47	389	BGM1053	0,36	577,08
408	BGM1370	0,16	263,16	34	<u>9624-09</u>	1,51	2429,78
407	BGM0626	0,18	284,24	154	<u>98150-02</u>	1,13	1820,81
406	BGM1508	0,18	291,85	208	<u>BRS Aipim Brasil</u>	1,01	1603,30
405	BGM1524	0,20	314,14	241	<u>BRS Caipira</u>	0,89	1435,45
404	BGM0540	0,23	366,14	315	<u>BRS Dourada</u>	0,65	1039,02
403	BGM2019	0,26	424,48	9	<u>BRS Gema de Ovo</u>	1,77	2846,13
402	BGM0745	0,28	445,68	57	<u>BRS Tapioqueira</u>	1,42	2285,54
401	BGM1607	0,29	460,19	257	<u>BRS Verdinha</u>	0,85	1362,45
400	BGM0788	0,29	468,37	6	<u>Eucalipto</u>	1,8	2890,67
399	BGM1371	0,29	469,40				

Dos acessos com maior estabilidade e adaptabilidade da tolerância à DFPC, 26 foram comuns ao parâmetro S_i , 21 ao parâmetro A_i e 19 aos três parâmetros. Diferentemente do observado no presente trabalho, Farias Neto et al. (2013) relataram uma concordância completa dos três genótipos de mandioca mais produtivos com base nos parâmetros S_i , A_i e Z_i . Gonçalves et al. (2014) também demonstraram que os cinco clones de cana-de-açúcar selecionados pelo parâmetro Z_i , também foram classificados como os de maior produtividade de açúcar. Portanto, estes autores demonstraram uma manutenção da ordem dos clones com base nos

parâmetros S_i , A_i e Z_i , o que indica que estes métodos tem um certo grau de concordância entre o posicionamento dos genótipos.

Por outro lado, se considerarmos apenas a seleção dos três acessos de mandioca mais tolerantes à DFPC (Tabelas 4 e 5), o ranqueamento dos acessos também permanece inalterado. Portanto, um dos fatores que mais contribui para a inconsistência na seleção e ordenamento dos genótipos com base nos parâmetros S_i , A_i e Z_i é o número de acessos utilizados no screening, a variabilidade genética presente, bem como as diferentes repostas ambientais. Mesmo com as pequenas discordâncias no ordenamento dos acessos de mandioca para os diferentes parâmetros, o presente resultado indica que predições seguras sobre valores genéticos podem ser feitas com base apenas no parâmetro Z_i , que abrange os atributos de estabilidade e adaptabilidade genotípica. A testemunha com melhor ranqueamento foi a BRS Dourada (315^o posição). Com base neste parâmetro, a variedade local Eucalipto considerada tolerante à DFPC em condições de campo foi ranqueada apenas na 6^o posição (Tabela 5).

Com intuito de continuar as pesquisas relacionadas à introdução da tolerância à DFPC em *M. esculenta*, foram selecionados os 19 acessos de mandioca comuns a todos os critérios de identificação de genótipos tolerantes, estáveis e adaptados a ambientes de baixa ocorrência de DFPC (BGM0452, BGM0623, BGM0624, BGM0626, BGM0640, BGM0745, BGM0878, BGM1024, BGM1067, BGM1124, BGM1190, BGM1209, BGM1342, BGM1370, BGM1371, BGM1417, BGM1508, BGM1567 e BGM1607). O ganho genético com base na seleção destes acessos de mandioca foi de -55,94%, -466,86%, -397,72% e -444,03% para os parâmetros $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, S_i , A_i e Z_i , respectivamente, (Tabela 6), quando comparado com a média do parâmetro. Por outro lado, os ganhos genéticos foram ainda maiores quando a média dos 19 acessos foi comparada com a média das testemunhas para cada parâmetro, i.e., -69,16%, -620,52%, -514,12% e -565,73%, para os parâmetros $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, S_i , A_i e Z_i , respectivamente. Além disso, independente do parâmetro, as médias das testemunhas foram sempre maiores do que os acessos selecionados, indicando maior severidade da DFPC.

Tabela 6. Médias, variações e ganhos por seleção dos 19 acessos de mandioca comuns à seleção com base nos critérios dos valores genotípicos preditos ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$), estabilidade genotípica (Si), adaptabilidade genotípica (Ai), e estabilidade + adaptabilidade genotípica (Zi) em comparação com testemunhas.

Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$				Si			
	Média	Variação	Ganho (%)		Média	Variação	Ganho (%)	
			\bar{Xg}	Test			\bar{Xg}	Test
Selecionados	1030,05	633,04 a 1187,44	-55,94	-69,16	263,25	60,01 a 448,30	-466,86	-620,52
Testemunhas	1742,39	1322,99 a 2211,00	7,81		1896,75	910,16 a 2592,70	21,33	
Acessos	Ai				Zi			
	Média	Variação	Ganho (%)		Média	Variação	Ganho (%)	
			\bar{Xg}	Test			\bar{Xg}	Test
Selecionados	323,14	66,95 a 615,22	-397,72	-514,12	295,63	66,95 a 529,18	-444,03	-565,73
Testemunhas	1984,48	1128,30 a 2890,70	18,95		1968,13	1039,02 a 2890,67	18,28	

\bar{Xg} : Ganho médio

Estes resultados demonstram a possibilidade de sucesso na introdução da tolerância à DFPC em variedades comerciais de mandioca, considerando o uso de parâmetros genéticos que permite ao melhorista inferir de forma confiável o valor genotípico do indivíduo, mesmo na presença de interação GxA. Atualmente, a grande maioria dos procedimentos utilizados para análise de interação GxA fazem uso de médias fenotípicas, estimando-se assim a adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Por sua vez, o método Zi, baseia-se em valores genotípicos preditos via modelos mistos, onde pode-se empregar o termo adaptabilidade e estabilidade genotípica. Dentre as vantagens do parâmetro Zi, tem-se a sua aplicação em experimentos com dados desbalanceados, além de considerar os efeitos genotípicos como aleatórios e fornecer valores genéticos já descontados da instabilidade (RESENDE, 2007).

Perspectivas para a introdução da tolerância da mandioca à DFPC

Embora seja reconhecido que a DFPC é um dos maiores problemas à produção da mandioca em nível global, os estudos visando mitigar os seus efeitos são relativamente recentes. Inicialmente alguns entraves para o avanço das pesquisas nesta área relataram a falta de variabilidade genética disponível no germoplasma de mandioca para tolerância à DFPC (CEBALLOS et al., 2004) e a presença de uma correlação positiva entre teor de matéria seca nas raízes e tolerância à DFPC (SÁNCHEZ et al., 2006). Entretanto, Morante et al. (2010) demonstraram a existência de variabilidade genética suficiente no germoplasma de *M. esculenta* para incorporação desta características em novas variedades de mandioca via melhoramento convencional.

Um dos pontos básicos no desenvolvimento de um programa de melhoramento eficiente para o desenvolvimento de variedades tolerância à DFPC é o conhecimento da herança do caráter. Os parâmetros genéticos relacionados à severidade da DFPC na mandioca, obtidos no presente estudo, fornecem informações práticas para orientar os melhoristas na escolha dos melhores métodos de melhoramento a serem adotados para obtenção de ganhos genéticos máximos nas populações segregantes. Apesar da elevada magnitude da interação GxA ($\hat{\sigma}_i^2=52\%$), existe um forte componente genético ($\sigma_g^2=37\%$) associado à DFPC que permite a seleção dos acessos superiores para cruzamentos ou mesmo para uso no sistema de produção da mandioca, caso apresentem outras características agronômicas desejáveis.

Como a interação GxA foi bastante significativa para a DFPC, não foi possível proceder a indicação dos melhores acessos de mandioca com base na sua resposta média nos diferentes experimentos, pois os materiais apresentaram padrões de resposta diferenciados em função dos diferentes experimentos. Neste caso, a interação GxA pode ser melhor entendida quando se analisa a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, pois é possível verificar o nível de resposta dos genótipos ao estímulo ambiental e a manutenção de produtividade contra a variação ambiental (MAIA et al., 2009). Especificamente no caso da tolerância à DFPC, o método Zi permitiu a seleção de 19 acessos de mandioca comuns aos parâmetros

$\hat{\mu} + \hat{g}_i$, S_i e A_i , que neste caso apresentaram menor severidade da DFPC e ainda apresentaram um bom ordenamento em todos os experimentos, tendo assim menor interação GxA e, conseqüentemente menor influência ambiental para o caráter.

Estes 19 acessos de mandioca com boa tolerância à DFPC podem ser utilizados em cruzamentos com variedades elite para geração de populações segregantes, sendo a seleção recorrente um método passível de ser utilizado. Entretanto, a natureza multigênica de características agronômicas de interesse como produtividade de raízes e amido, exigirão um esforço adicional para a seleção dos melhores indivíduos destas populações segregantes, considerando que o forte efeito não-aditivo na expressão de caracteres produtivos poderão quebrar combinações gênicas favoráveis. Apesar destas dificuldades inerentes à seleção de caracteres de natureza quantitativa, o controle genético da tolerância à DFPC bem como a estabilidade desta tolerância demonstra a possibilidade de sucesso no uso de variedades como um método efetivo de controle deste estresse abiótico na cultura da mandioca.

CONCLUSÕES

1. As correlações genótípicas avaliadas nos diferentes ambientes foram de elevada magnitude, indicando predominância de interação complexa entre genótipos x ambientes para a resposta da tolerância à deterioração fisiológica em mandioca;
2. A herdabilidade média dos genótipos apresenta média magnitude, admitindo uma precisão na seleção de 72%;
3. O valor genético ($\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$), para a média dos ambientes, capitalizando o efeito médio da interação mostrou resultados semelhantes ao método que capitaliza tolerância, adaptabilidade e estabilidade, simultaneamente (Z_i);
4. Os parâmetros S_i , A_i e Z_i utilizados na seleção de genótipos produtivos, são igualmente úteis na identificação de fontes de tolerância mais estáveis ao longo dos diferentes ambientes de avaliação;

5. Os genótipos BGM1342, BGM0878 e BGM0623 destacaram-se com a menor severidade de DFPC em mandioca, capacidade de adaptação, e estabilidade, e devem ser recomendados para programas de melhoramento;
6. O método de modelos mistos (REML/BLUP) mostrou-se adequado à estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento da mandioca, podendo ser empregado rotineiramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINA, O.O.; DIXON, A.G.O.; AKINRINDE, E.A. Genetic variability in cassava as it influences storage root yield in Nigeria. **Journal of Biological Sciences**, v.7, p.765-770, 2007.

ALLEM, A.C. Cassava: biology, production and utilization. In: HILLOCKS, R.J.; THRESH, J.M.; BELLOTII, A.C. (eds.). **The origins and taxonomy of cassava**. Reino Unido: Natural Resources Institute, University of Greenwich, 2002, p.1-16.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PERTERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 195-203, 2007.

BUSCHMANN, H.; RODRIGUEZ M.X.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Accumulation of hydroxycoumarins during post-harvest deterioration of tuberous roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Annals of Botany**, v.86, p.1153-1160. 2000.

CEBALLOS, H.; IGLESIAS, C.A.; PEREZ, J.C.; DIXON, G.O. Cassava breeding, opportunities and challenges. **Plant Molecular Biology**, v.56, p.503–516, 2004.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. Conservação de raízes. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. (Eds). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, v.3, p. 13-29, 2003.

COLOMBARI FILHO, J. M.; RESENDE, M. D. V.; MORAIS, O. P.; CASTRO, A. P.; GUIMARÃES, E. P.; PEREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; BRESEGHELLO, F. Upland rice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. **Euphytica**, v. 192, p. 117-129, 2013.

FAO. **Food Agriculture Organization**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 28 maio, 2015.

FARIAS NETO, J.T.; MOURA, E.F.; RESENDE, M.D.V.; CELESTINO FILHO, P.; AUGUSTO, S.G. Genetic parameters and simultaneous selection for root yield, adaptability and stability of cassava genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1562-1568, 2013.

FUKUDA, W.M.G. **Associação brasileira dos produtores de amido de mandioca**. Embrapa pesquisa mandioca para indústria de amido, v. 3, p.1, 2005.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 14 ed. Piracicaba, ESALQ. 2000, p.478.

GONÇALVES, G.M.; VIANA, A.P.; AMARAL JUNIOR, A.T.; RESENDE, M.D.V. Breeding new sugarcane clones by mixed models under genotype by environmental Interaction. **Scientia Agricola**, v.71, p.66-71, 2014.

HAN, Y.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; REILLY, K.; LI.H.; TOHME, J.; COOPER,R.M.; BEECHING,J.R. Hydroxyproline-rich glycoproteins expressed during stress responses in cassava. **Euphytica**, v.120, p.59-70, 2001.

HUANG, J.; BACHEM, C.; JACOBSEN, E.; VISSER, R.G.F. Molecular analysis of differentially expressed genes during postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tuberous roots. **Euphytica**, v.120, p. 85-93, 2001.

IYER, S.; MATTINSON, D.S.; FELLMAN, J.K. Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. **Tropical Plant Biology**, v. 3, p.151-165, 2010.

KOBLITZ, M.G.B. Mandioca In: KOBLITZ, M.G.B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. 2011, p. 36-41.

LUENGO, R. F. A.; GALBO, A. G. **Embalagens para comercialização hortaliças e frutas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009, p. 256.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V., PAIVA, J.R.; CAVALCANTI, J.J.V.; BARROS, L. de M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genóticas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, p.43-50, 2009.

MORANTE, N.; SANCHEZ, T.; CEBALLOS, H.; CALLE, F.; PEREZ, J.C.; EGESI, C.; CUAMBE, C.E.; ESCOBAR, A.F.; ORTIZ, D.; CHAVEZ, A.L.; FREGENE, M. Tolerance to postharvest physiological deterioration on in cassava roots. **Crop Science**, v.50, p.1333-1338, 2010.

OLIVEIRA, E. J.; AIDAR, S. T.; MORGANTE, C. V.; CHAVES, A. R. M.; CRUZ, J. L.; COELHO FILHO, M. A. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 233-241, 2015.

OLIVEIRA, E.J.; SANTANA, F.A.; OLIVEIRA, L.A.; SANTOS, V.S. Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP. **Genetics and Molecular Research**, v.13, p.6683-6700, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; RESENDE, M. D. V.; DAROS, E.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; KOEHLER, H. S. Genotypic evaluation and selection of sugarcane clones in three environments in the State of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 426-434, 2005.

PARANAÍBA, J.L.V.; CHAGAS, S.J. de R.; COSTA, L. Efeitos da poda e uso de embalagens na conservação de raízes de mandioca durante o armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.269-276, 1996.

REILLY, K.; BERNAL, D.F.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Towards identifying the full set of genes expressed during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.64, p.187-203, 2007.

REILLY, K.; GÓMEZ-VÁSQUEZ, R.; BUSCHMANN, H.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.56, p. 625-641, 2004.

REILLY, K.; GOMEZ-VASQUEZ, R.; BUSCHMAN, H.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. **Plant Molecular Biology**, v.53, p.669-685, 2003.

REILLY, K.; HAN, Y.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. Isolation and characterization of a cassava catalase expressed during post-harvest physiological deterioration. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.16, p.317-323, 2001.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002a, p. 975.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007, p. 561.

RESENDE, M.D.V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, (Documentos, 100), 2004, p.65.

RESENDE, M.D.V. **Software Selegen-Reml/Blup**. Embrapa Florestas, Colombo, 2002b.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p. 182-194, 2007b. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007, 561p.

RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; BARBOSA, D.H.S.G.; SOUZA FILHO, G.R.; CANDIDO, L.S. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.12, p. 2391-2399, 2013.

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com a produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.964-971, 2012.

SALCEDO, A.; DEL VALLE, A.; SANCHEZ, B.; OCASIO, V.; ORTIZ, A.; MARQUEZ, P.; SIRITUNGA, D. Comparative evaluation of physiological post-harvest root deterioration of 25 cassava (*Manihot esculenta*) accessions: visual vs. hydroxycoumarins fluorescent accumulation analysis. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p. 3138-3144. 2010.

SÁNCHEZ, T.; CHÁVEZ, A.L.; CEBALLOS, H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; NESTEL, P.; ISHITANI, M. Reduction or delay of post-harvest physiological

deterioration in cassava roots with higher carotenoid content. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, p.634-639, 2006.

SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006, p.817.

VAN OIRSCHOT, Q.E.A. O'BRIEN, G.M.; DUFOUR, D.; EL-SHARKOWY, M.A.; MESA, E. The effect of pre-harvest pruning of cassava upon root deterioration and quality characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.1866-1873, 2000.

VENTURINI, M.T.; SANTOS, V.S. da.; OLIVEIRA, E. J. Procedures for evaluating the tolerance of cassava genotypes to postharvest physiological deterioration. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p. 562-570, 2015.

WENHAM, J.E. **Post-harvest deterioration of cassava. A biotechnology perspective**. FAO. Plant Production and Protection Paper 130. NRI/FAO. Rome, 1995, p.90.

WHEATHEY, C.C.; SCHOWABE, W.W. Scopoletin involvement in post-harvest deterioration of cassava root. **Journal of Experimental Botany**, v.36, p.783-791, 1985.

YANG, R.C. Mixed-model analysis of crossover genotype environment interactions. **Crop Science**, v.47, p.1051-1062, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mandioca possui grande importância econômica e, sobretudo social para o Brasil, porém existem diversos problemas básicos relacionados ao sistema de produção, como por exemplo, as baixas produtividades da cultura, ligadas principalmente à utilização de variedades não selecionadas, à ocorrência de pragas e doenças e às perdas pós-colheita.

A mandioca apresenta uma restrição à comercialização devido ao tempo restrito de pós-colheita devido à deterioração fisiológica pós-colheita (DFPC). Como consequência, os agricultores têm sofrido muitos prejuízos, o que têm levado ao desenvolvimento de pesquisas em busca de cultivares com tolerância. Com o uso de genótipos selecionados, podem ser obtidas variedades superiores que podem trazer maior estabilidade na produção devido à sua maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, assim como a uma maior eficiência industrial e no consumo *in natura*.

Nesse trabalho, a partir de ajustes metodológicos e seleção de fontes de tolerância à DFPC, pôde-se ajustar uma metodologia para avaliação da DFPC e também trabalhar com 418 acessos do banco de germoplasma, selecionando genótipos promissores com tolerância à DFPC, e podendo ser observado uma interação complexa entre genótipos x ambientes.

Desta forma, são necessários mais estudos e pesquisas visando a caracterização do germoplasma de mandioca disponível. Com essa caracterização, pode-se aprimorar as pesquisas com a DFPC, de modo que, por meio do melhoramento genético, um maior tempo de prateleira, possa ser desenvolvido. Por conseguinte, espera-se que as perdas pós-colheitas possam ser minimizadas.

ANEXO

Anexo 1. Estimativas dos valores genotípicos preditos ($\hat{\mu} + \hat{g}_i$), valores genotípicos médios ($\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$) e ganhos genéticos para tolerância à deterioração fisiológica em acessos de mandioca.

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
418	BGM1209	633,04	-153,73	633,04	297,85
417	BGM0624	658,78	-148,68	645,91	332,46
416	BGM1190	806,47	-129,65	699,43	531,01
415	BGM0930	909,33	-113,62	751,91	669,30
414	BGM1370	946,38	-103,12	790,80	719,11
413	BGM0928	977,42	-95,43	821,90	760,84
412	BGM1179	985,59	-90,02	845,29	771,82
411	BGM0626	989,88	-86,05	863,36	777,59
410	BGM0356	1013,29	-82,52	880,02	809,06
409	BGM1342	1025,98	-79,55	894,62	826,13
408	BGM0367	1045,26	-76,84	908,31	852,05
407	BGM0878	1050,36	-74,56	920,15	858,91
406	BGM1371	1057,15	-72,59	930,69	868,03
405	BGM0623	1058,56	-70,91	939,82	869,93
404	BGM0497	1064,82	-69,41	948,15	878,35
403	BGM1137	1079,22	-67,96	956,35	897,70
402	BGM0640	1084,46	-66,64	963,88	904,74
401	BGM1567	1089,50	-65,45	970,86	911,53
400	BGM1024	1090,90	-64,38	977,18	913,40
399	BGM1185	1094,98	-63,39	983,07	918,89
398	BGM0631	1101,55	-62,46	988,71	927,72
397	BGM0452	1110,25	-61,56	994,23	939,42
396	BGM1508	1110,76	-60,74	999,30	940,11
395	BGM1184	1114,50	-59,97	1004,10	945,14
394	BGM1291	1126,09	-59,19	1008,98	960,71
393	BGM0276	1127,32	-58,48	1013,53	962,38
392	BGM1236	1143,83	-57,73	1018,36	984,56
391	BGM0601	1144,62	-57,03	1022,87	985,63
390	BGM0307	1146,18	-56,38	1027,12	987,73
389	BGM1037	1151,45	-55,75	1031,26	994,81
388	BGM0501	1154,57	-55,16	1035,24	999,01
387	BGM1124	1158,12	-54,58	1039,08	1003,78

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
386	BGM0330	1165,97	-54,01	1042,93	1014,34
385	BGM0745	1168,75	-53,47	1046,63	1018,07
384	BGM0211	1168,94	-52,96	1050,12	1018,33
383	BGM1067	1169,95	-52,47	1053,45	1019,69
382	BGM0201	1174,05	-52,00	1056,71	1025,19
381	BGM1607	1174,22	-51,56	1059,80	1025,42
380	BGM0677	1182,25	-51,11	1062,94	1036,22
379	BGM1347	1183,47	-50,69	1065,96	1037,86
378	BGM1210	1184,84	-50,28	1068,85	1039,70
377	BGM1053	1185,80	-49,89	1071,64	1040,99
376	BGM1417	1187,44	-49,51	1074,33	1043,20
375	BGM0540	1190,47	-49,14	1076,97	1047,27
374	BGM0409	1191,74	-48,79	1079,52	1048,97
373	BGM0733	1193,09	-48,45	1081,99	1050,79
372	BGM0343	1193,30	-48,13	1084,36	1051,07
371	BGM1713	1202,25	-47,79	1086,82	1063,11
370	BGM2019	1209,30	-47,45	1089,31	1072,59
369	BGM1203	1218,94	-47,10	1091,91	1085,55
368	BGM0620	1224,19	-46,76	1094,50	1092,61
367	BGM1517	1225,44	-46,42	1097,02	1094,28
366	BGM1524	1227,18	-46,09	1099,48	1096,63
365	BGM1178	1228,77	-45,77	1101,87	1098,76
364	BGM1359	1235,74	-45,45	1104,30	1108,13
363	BGM0896	1240,70	-45,13	1106,74	1114,80
362	BGM1681	1244,98	-44,82	1109,16	1120,55
361	BGM1270	1247,58	-44,50	1111,55	1124,05
360	BGM1672	1247,70	-44,21	1113,86	1124,21
359	BGM0846	1249,81	-43,91	1116,12	1127,05
358	BGM2038	1253,80	-43,62	1118,38	1132,42
357	BGM0642	1254,15	-43,34	1120,57	1132,88
356	BGM0778	1257,81	-43,06	1122,75	1137,81
355	BGM0051	1261,39	-42,79	1124,92	1142,61
354	BGM0189	1261,76	-42,52	1127,02	1143,11
353	BGM1750	1266,00	-42,26	1129,13	1148,81
352	BGM0660	1268,70	-41,99	1131,21	1152,44
351	BGM0025	1276,53	-41,73	1133,35	1162,97
350	BGM1245	1280,52	-41,46	1135,48	1168,33

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
349	BGM0399	1284,98	-41,19	1137,62	1174,33
348	BGM0788	1287,02	-40,93	1139,72	1177,07
347	BGM1561	1291,28	-40,67	1141,82	1182,80
346	BGM0728	1299,01	-40,41	1143,98	1193,20
345	BGM0810	1299,56	-40,15	1146,08	1193,93
344	BGM1077	1300,23	-39,90	1148,14	1194,83
343	BGM1489	1302,82	-39,65	1150,17	1198,31
342	BGM1118	1304,37	-39,41	1152,17	1200,40
341	BGM1367	1305,32	-39,17	1154,14	1201,67
340	BGM1273	1308,05	-38,94	1156,09	1205,35
339	BGM0630	1308,77	-38,71	1157,99	1206,32
338	BGM1526	1313,53	-38,48	1159,91	1212,71
337	BGM1131	1314,90	-38,25	1161,80	1214,55
336	BGM1191	1317,16	-38,03	1163,68	1217,59
335	BGM1581	1317,25	-37,82	1165,50	1217,71
334	BGM1361	1319,83	-37,60	1167,32	1221,19
333	BGM1311	1320,43	-37,39	1169,10	1222,00
332	BGM0821	1320,71	-37,19	1170,84	1222,37
331	BGM1608	1321,55	-36,99	1172,56	1223,50
330	Eucalipto	1322,99	-36,79	1174,25	1225,44
329	BGM1366	1326,00	-36,59	1175,93	1229,49
328	BGM0638	1331,90	-36,39	1177,65	1237,41
327	BGM1348	1335,96	-36,20	1179,37	1242,87
326	BGM0145	1336,00	-36,00	1181,05	1242,93
325	BGM1222	1348,27	-35,80	1182,83	1259,41
324	BGM0433	1354,05	-35,59	1184,63	1267,19
323	BGM0499	1358,13	-35,38	1186,44	1272,67
322	BGM1321	1363,15	-35,18	1188,26	1279,43
321	BGM1602	1367,25	-34,97	1190,09	1284,94
320	BGM0104	1369,87	-34,76	1191,90	1288,46
319	BGM1073	1371,88	-34,56	1193,70	1291,16
318	BGM1175	1372,05	-34,36	1195,47	1291,39
317	BGM0298	1372,79	-34,17	1197,21	1292,38
316	BGM0360	1374,40	-33,97	1198,93	1294,55
315	BGM0885	1380,28	-33,78	1200,67	1302,46
314	BGM1287	1382,30	-33,59	1202,40	1305,16
313	BGM1678	1382,93	-33,40	1204,10	1306,02

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
312	BGM0214	1383,72	-33,21	1205,78	1307,08
311	BGM0164	1383,84	-33,03	1207,43	1307,25
310	BGM1636	1386,96	-32,85	1209,08	1311,44
309	BGM0248	1393,11	-32,66	1210,75	1319,70
308	BGM0895	1395,37	-32,48	1212,42	1322,74
307	BGM0382	1396,50	-32,30	1214,06	1324,26
306	BGM0477	1398,71	-32,13	1215,69	1327,24
305	BGM1533	1401,10	-31,95	1217,32	1330,45
304	BGM1057	1401,30	-31,78	1218,92	1330,71
303	BGM0924	1401,96	-31,61	1220,50	1331,60
302	BGM0649	1409,01	-31,43	1222,11	1341,08
301	BGM1495	1413,18	-31,26	1223,73	1346,69
300	BGM0204	1415,08	-31,09	1225,34	1349,24
299	BGM1122	1420,86	-30,91	1226,96	1357,02
298	BGM0160	1422,18	-30,74	1228,58	1358,79
297	BGM0890	1423,93	-30,57	1230,18	1361,14
296	BGM0177	1430,10	-30,40	1231,80	1369,44
295	BGM1027	1433,74	-30,23	1233,43	1374,33
294	BGM0217	1433,99	-30,06	1235,04	1374,67
293	BGM0120	1435,81	-29,89	1236,63	1377,11
292	BGM0579	1437,15	-29,72	1238,21	1378,91
291	BGM1597	1440,39	-29,56	1239,79	1383,26
290	BGM1333	1442,89	-29,39	1241,36	1386,63
289	BGM0165	1444,67	-29,23	1242,93	1389,03
288	BGM1212	1445,36	-29,07	1244,47	1389,94
287	BGM1012	1451,08	-28,91	1246,04	1397,64
286	BGM1632	1452,87	-28,75	1247,59	1400,04
285	BGM0807	1456,17	-28,59	1249,15	1404,49
284	BGM0426	1457,21	-28,43	1250,69	1405,89
283	BGM0324	1459,18	-28,27	1252,22	1408,53
282	BGM0791	1463,42	-28,11	1253,77	1414,23
281	BGM0135	1466,15	-27,96	1255,31	1417,89
280	BGM1416	1471,00	-27,80	1256,86	1424,43
279	BGM0785	1472,31	-27,64	1258,40	1426,19
278	BGM0250	1473,06	-27,49	1259,92	1427,19
277	BRS Dourada	1473,33	-27,34	1261,42	1427,55
276	BGM1283	1475,96	-27,18	1262,92	1431,09

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
275	BGM1969	1476,45	-27,04	1264,40	1431,74
274	BGM0166	1480,52	-26,89	1265,89	1437,22
273	BGM0045	1482,27	-26,74	1267,38	1439,57
272	BGM0492	1485,80	-26,59	1268,86	1444,31
271	BGM0312	1488,94	-26,44	1270,35	1448,54
270	BGM1450	1490,43	-26,29	1271,83	1450,54
269	BGM0408	1492,01	-26,15	1273,29	1452,67
268	BGM1183	1494,69	-26,00	1274,76	1456,26
267	BGM1345	1495,21	-25,86	1276,21	1456,96
266	BGM1452	1500,64	-25,72	1277,68	1464,27
265	BGM1476	1509,76	-25,57	1279,18	1476,53
264	BGM0856	1510,25	-25,42	1280,68	1477,19
263	BGM1677	1513,74	-25,28	1282,17	1481,87
262	BGM0341	1518,28	-25,13	1283,67	1487,98
261	BGM1729	1518,30	-24,98	1285,16	1488,01
260	BGM0465	1520,67	-24,84	1286,64	1491,20
259	BGM0567	1524,43	-24,70	1288,13	1496,25
258	BGM1423	1528,88	-24,55	1289,62	1502,23
257	BGM1550	1529,97	-24,41	1291,10	1503,70
256	BGM1623	1530,15	-24,27	1292,57	1503,95
255	BGM1481	1530,72	-24,13	1294,02	1504,70
254	BGM0184	1533,15	-23,99	1295,47	1507,98
253	BGM1518	1533,36	-23,85	1296,91	1508,26
252	BGM0188	1533,61	-23,72	1298,32	1508,60
251	BGM1484	1533,93	-23,58	1299,73	1509,03
250	BGM0800	1542,11	-23,45	1301,16	1520,02
249	BGM0236	1543,89	-23,31	1302,59	1522,42
248	BGM0447	1548,05	-23,18	1304,02	1528,01
247	BGM0824	1548,31	-23,04	1305,44	1528,35
246	BGM1721	1548,34	-22,91	1306,85	1528,40
245	BGM1108	1555,34	-22,78	1308,28	1537,81
244	BGM1490	1556,77	-22,64	1309,70	1539,73
243	BGM1042	1557,82	-22,51	1311,11	1541,14
242	BRS Tapioqueira	1561,11	-22,38	1312,52	1545,57
241	BGM1085	1562,14	-22,25	1313,92	1546,96
240	BGM1171	1562,24	-22,12	1315,31	1547,09
239	BGM0057	1562,88	-21,99	1316,68	1547,95

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
238	BGM0887	1563,71	-21,87	1318,05	1549,06
237	BGM1078	1565,99	-21,74	1319,41	1552,12
236	BGM0075	1566,80	-21,61	1320,76	1553,21
235	BGM1685	1569,33	-21,49	1322,11	1556,62
234	BGM1559	1570,09	-21,37	1323,45	1557,64
233	BGM1125	1575,00	-21,24	1324,81	1564,24
232	BGM0552	1579,61	-21,12	1326,17	1570,44
231	BGM1610	1582,72	-20,99	1327,53	1574,62
230	BGM1403	1586,68	-20,87	1328,90	1579,95
229	BGM1510	1590,28	-20,74	1330,28	1584,78
228	BGM0254	1590,33	-20,62	1331,64	1584,84
227	BGM0547	1591,60	-20,50	1333,00	1586,56
226	BGM0378	1599,37	-20,37	1334,38	1597,00
225	BGM1771	1599,82	-20,25	1335,74	1597,60
224	BGM0473	1600,85	-20,13	1337,10	1598,99
223	BGM0010	1601,39	-20,01	1338,45	1599,72
222	BGM1420	1602,80	-19,89	1339,79	1601,62
221	BGM2044	1604,85	-19,77	1341,13	1604,37
220	BRS Aipim Brasil	1605,30	-19,65	1342,46	1604,97
219	BGM1850	1607,62	-19,53	1343,79	1608,10
218	BGM0376	1607,91	-19,41	1345,10	1608,48
217	BGM1569	1609,30	-19,30	1346,41	1610,35
216	BGM1010	1609,83	-19,18	1347,70	1611,06
215	BGM0011	1612,29	-19,07	1349,00	1614,37
214	BGM0894	1614,79	-18,95	1350,30	1617,73
213	BGM0316	1618,75	-18,84	1351,60	1623,06
212	BGM1719	1623,69	-18,72	1352,92	1629,70
211	BGM1624	1623,73	-18,61	1354,22	1629,75
210	BGM0817	1625,35	-18,50	1355,52	1631,93
209	BGM1723	1625,65	-18,38	1356,80	1632,33
208	BGM1666	1629,81	-18,27	1358,10	1637,93
207	BGM1598	1630,83	-18,16	1359,38	1639,30
206	BRS Gema de Ovo	1631,74	-18,05	1360,66	1640,52
205	BGM1539	1633,85	-17,94	1361,94	1643,36
204	BGM1189	1635,24	-17,83	1363,21	1645,23
203	BGM0543	1636,06	-17,72	1364,47	1646,33
202	BGM1552	1639,81	-17,61	1365,74	1651,37

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
201	BGM0702	1639,95	-17,50	1367,00	1651,56
200	BGM0425	1641,40	-17,39	1368,25	1653,50
199	BGM1494	1642,28	-17,29	1369,50	1654,69
198	BGM1515	1643,25	-17,18	1370,74	1656,00
197	BGM1413	1645,64	-17,08	1371,97	1659,21
196	BGM0908	1648,50	-16,97	1373,21	1663,06
195	BGM1730	1653,96	-16,86	1374,47	1670,39
194	BGM1616	1654,01	-16,76	1375,71	1670,46
193	BGM0436	1654,32	-16,65	1376,94	1670,88
192	BGM0273	1656,38	-16,55	1378,17	1673,65
191	BGM1617	1656,40	-16,45	1379,39	1673,68
190	BGM0103	1657,98	-16,34	1380,61	1675,80
189	BGM0155	1659,29	-16,24	1381,82	1677,56
188	BGM0820	1662,57	-16,14	1383,04	1681,98
187	BGM1590	1666,29	-16,04	1384,26	1686,98
186	BGM0947	1670,88	-15,93	1385,49	1693,14
185	BGM0636	1676,28	-15,83	1386,73	1700,40
184	BGM1671	1677,02	-15,73	1387,97	1701,40
183	BGM0162	1677,95	-15,62	1389,20	1702,65
182	BGM0443	1679,26	-15,52	1390,42	1704,41
181	BGM0089	1681,14	-15,42	1391,64	1706,94
180	BGM1682	1681,72	-15,32	1392,85	1707,72
179	BGM0097	1682,04	-15,22	1394,06	1708,14
178	BGM0153	1683,65	-15,12	1395,26	1710,31
177	BGM1817	1686,09	-15,02	1396,46	1713,58
176	BGM0901	1688,49	-14,92	1397,66	1716,82
175	BGM0532	1689,39	-14,83	1398,86	1718,03
174	BGM0365	1693,35	-14,73	1400,06	1723,35
173	BGM0845	1695,87	-14,63	1401,26	1726,73
172	BGM1560	1697,23	-14,53	1402,46	1728,57
171	BGM1589	1697,80	-14,43	1403,65	1729,34
170	BGM0706	1699,47	-14,34	1404,84	1731,58
169	BGM0590	1701,16	-14,24	1406,03	1733,85
168	BGM0143	1703,99	-14,14	1407,21	1737,66
167	BGM0434	1704,76	-14,05	1408,39	1738,70
166	BGM1586	1705,76	-13,95	1409,57	1740,04
165	98150-02	1711,72	-13,86	1410,76	1748,05

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
164	BGM0823	1711,90	-13,76	1411,94	1748,30
163	BGM1814	1713,43	-13,67	1413,12	1750,34
162	BGM1398	1714,26	-13,57	1414,29	1751,46
161	BGM1547	1714,63	-13,48	1415,45	1751,96
160	BGM1408	1716,32	-13,39	1416,62	1754,23
159	BGM1206	1718,38	-13,29	1417,78	1757,00
158	BGM0678	1724,10	-13,20	1418,95	1764,69
157	BGM1440	1725,17	-13,11	1420,12	1766,13
156	BGM0932	1726,75	-13,01	1421,28	1768,25
155	BGM0892	1728,22	-12,92	1422,45	1770,24
154	BGM0049	1735,84	-12,83	1423,63	1780,48
153	BGM0812	1736,25	-12,73	1424,81	1781,03
152	BGM0149	1738,90	-12,64	1425,98	1784,59
151	BGM1257	1746,78	-12,55	1427,18	1795,19
150	BGM0539	1746,93	-12,45	1428,37	1795,38
149	BGM0574	1748,86	-12,36	1429,55	1797,97
148	BGM0116	1752,03	-12,27	1430,74	1802,24
147	BGM0148	1752,95	-12,17	1431,93	1803,47
146	BGM1165	1755,32	-12,08	1433,11	1806,66
145	BGM0767	1756,63	-11,99	1434,29	1808,42
144	BGM0837	1761,49	-11,90	1435,48	1814,96
143	BGM1406	1764,44	-11,80	1436,68	1818,92
142	BGM0600	1764,60	-11,71	1437,86	1819,13
141	BGM0406	1765,05	-11,62	1439,04	1819,75
140	BGM0023	1765,40	-11,53	1440,21	1820,21
139	BGM0027	1765,70	-11,44	1441,37	1820,62
138	BGM1865	1767,37	-11,35	1442,53	1822,86
137	BGM1643	1772,40	-11,26	1443,70	1829,63
136	BGM1716	1772,94	-11,17	1444,86	1830,35
135	BGM1281	1773,06	-11,08	1446,02	1830,51
134	BGM1432	1773,33	-10,99	1447,17	1830,87
133	BGM1741	1776,30	-10,90	1448,32	1834,87
132	BGM0297	1783,21	-10,81	1449,48	1844,17
131	BGM0098	1786,04	-10,73	1450,65	1847,96
130	BGM1523	1786,41	-10,64	1451,81	1848,46
129	BGM0303	1794,64	-10,55	1453,00	1859,53
128	BGM1811	1795,67	-10,46	1454,17	1860,91

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
127	BGM1282	1797,72	-10,37	1455,35	1863,67
126	BGM0783	1797,77	-10,28	1456,52	1863,74
125	BGM1200	1797,91	-10,19	1457,68	1863,93
124	BGM1816	1800,38	-10,10	1458,84	1867,25
123	BGM1576	1803,81	-10,02	1460,01	1871,85
122	BGM0039	1806,34	-9,93	1461,17	1875,26
121	BGM0128	1812,30	-9,84	1462,35	1883,27
120	BGM0876	1812,41	-9,75	1463,52	1883,42
119	BGM1726	1816,44	-9,66	1464,70	1888,84
118	BGM1620	1823,35	-9,57	1465,89	1898,13
117	BGM0598	1823,74	-9,49	1467,08	1898,66
116	BGM1667	1827,28	-9,40	1468,26	1903,41
115	BGM1487	1827,45	-9,31	1469,45	1903,63
114	BGM1026	1833,06	-9,22	1470,64	1911,18
113	BGM0432	1842,95	-9,13	1471,85	1924,47
112	BGM0136	1844,49	-9,04	1473,07	1926,55
111	BGM0562	1845,99	-8,95	1474,28	1928,57
110	BGM0179	1847,25	-8,86	1475,49	1930,25
109	BGM0033	1850,10	-8,77	1476,69	1934,09
108	BGM0279	1850,24	-8,68	1477,90	1934,27
107	BGM1202	1851,22	-8,60	1479,09	1935,59
106	BGM0822	1851,35	-8,51	1480,28	1935,77
105	BGM0940	1854,41	-8,42	1481,47	1939,88
104	BGM0868	1854,88	-8,34	1482,66	1940,52
103	BGM1867	1855,71	-8,25	1483,84	1941,64
102	BGM1619	1855,89	-8,16	1485,01	1941,87
101	BGM0546	1857,03	-8,08	1486,18	1943,40
100	BGM0331	1860,69	-7,99	1487,36	1948,32
99	BGM1043	1862,32	-7,91	1488,53	1950,51
98	BGM0542	1863,80	-7,82	1489,70	1952,50
97	BGM0390	1863,98	-7,74	1490,86	1952,75
96	BGM1549	1865,32	-7,66	1492,02	1954,55
95	BGM0937	1865,64	-7,57	1493,17	1954,98
94	BGM0541	1866,02	-7,49	1494,32	1955,50
93	BGM0877	1867,82	-7,41	1495,47	1957,91
92	BGM2020	1868,05	-7,33	1496,60	1958,22
91	BGM1186	1872,22	-7,24	1497,75	1963,82

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
90	BGM2018	1876,14	-7,16	1498,90	1969,10
89	BGM1174	1886,34	-7,08	1500,07	1982,80
88	BGM0361	1886,56	-6,99	1501,24	1983,10
87	BGM1876	1888,33	-6,91	1502,41	1985,49
86	BGM1707	1888,34	-6,83	1503,57	1985,50
85	BGM1650	1889,28	-6,75	1504,72	1986,76
84	Preta sc	1895,21	-6,66	1505,89	1994,73
83	BGM0394	1899,66	-6,58	1507,06	2000,72
82	BGM1100	1903,16	-6,50	1508,23	2005,42
81	BGM1691	1905,59	-6,42	1509,41	2008,70
80	BGM0834	1907,84	-6,33	1510,59	2011,71
79	BGM0018	1910,88	-6,25	1511,76	2015,80
78	BGM0207	1912,46	-6,17	1512,94	2017,92
77	BGM0146	1914,06	-6,08	1514,11	2020,08
76	BGM1513	1916,80	-6,00	1515,28	2023,76
75	BGM1595	1916,83	-5,92	1516,45	2023,80
74	BGM1640	1918,09	-5,84	1517,62	2025,49
73	BGM1193	1918,93	-5,76	1518,78	2026,62
72	BGM0182	1918,98	-5,68	1519,93	2026,69
71	BGM0127	1925,06	-5,60	1521,09	2034,87
70	BGM0880	1925,66	-5,52	1522,25	2035,67
69	BGM0471	1928,59	-5,44	1523,41	2039,61
68	BGM1622	1929,97	-5,36	1524,57	2041,46
67	BGM1410	1930,83	-5,28	1525,73	2042,62
66	BGM1477	1931,71	-5,20	1526,88	2043,80
65	BGM0469	1934,62	-5,12	1528,03	2047,73
64	BGM0319	1935,45	-5,04	1529,18	2048,84
63	BGM1648	1939,12	-4,96	1530,33	2053,77
62	BGM0873	1942,48	-4,88	1531,48	2058,28
61	BGM0611	1948,65	-4,80	1532,65	2066,58
60	BGM0338	1950,12	-4,72	1533,81	2068,56
59	BGM0337	1951,99	-4,64	1534,97	2071,07
58	BGM1163	1955,40	-4,56	1536,14	2075,66
57	BGM0583	1955,71	-4,49	1537,29	2076,07
56	BGM0576	1957,77	-4,41	1538,45	2078,84
55	BGM1457	1957,79	-4,33	1539,61	2078,87
54	BGM0163	1961,68	-4,25	1540,76	2084,10

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
53	BGM1626	1962,44	-4,17	1541,91	2085,12
52	BGM1393	1963,01	-4,09	1543,06	2085,89
51	Amarela SC	1966,89	-4,02	1544,21	2091,10
50	BGM1693	1969,53	-3,94	1545,37	2094,66
49	BGM1387	1970,14	-3,86	1546,51	2095,48
48	BGM0271	1970,34	-3,79	1547,66	2095,74
47	BGM1177	1973,90	-3,71	1548,80	2100,52
46	BGM1669	1980,81	-3,63	1549,96	2109,82
45	BGM0082	1987,18	-3,55	1551,13	2118,38
44	BGM1482	1987,33	-3,48	1552,29	2118,58
43	BGM1614	1987,78	-3,40	1553,45	2119,19
42	BGM1219	1989,68	-3,32	1554,61	2121,75
41	BGM1546	1992,04	-3,24	1555,76	2124,92
40	BGM0847	1994,93	-3,17	1556,92	2128,81
39	BGM0815	1996,66	-3,09	1558,08	2131,13
38	BGM1701	2004,57	-3,01	1559,25	2141,76
37	BGM1362	2007,80	-2,94	1560,43	2146,10
36	BGM0041	2009,75	-2,86	1561,60	2148,73
35	BGM1123	2012,75	-2,78	1562,77	2152,77
34	BGM0175	2012,95	-2,70	1563,94	2153,03
33	BGM1050	2013,46	-2,63	1565,11	2153,72
32	BGM1579	2021,84	-2,55	1566,29	2164,97
31	BGM0544	2023,63	-2,47	1567,47	2167,38
30	BGM1696	2025,13	-2,40	1568,64	2169,41
29	BGM1136	2028,92	-2,32	1569,82	2174,50
28	BGM0144	2035,73	-2,24	1571,02	2183,65
27	BGM1621	2052,82	-2,16	1572,24	2206,63
26	BRS Caipira	2053,31	-2,08	1573,47	2207,29
25	BGM1534	2069,10	-2,00	1574,73	2228,52
24	Mandim BP	2071,96	-1,92	1575,99	2232,36
23	Mandim BM	2073,64	-1,84	1577,24	2234,62
22	BGM1692	2079,55	-1,76	1578,51	2242,57
21	BGM1277	2080,10	-1,68	1579,77	2243,30
20	BGM1822	2085,83	-1,59	1581,04	2251,00
19	BGM0332	2086,13	-1,51	1582,30	2251,41
18	BGM1409	2087,38	-1,43	1583,56	2253,09
17	Filha preta	2090,43	-1,35	1584,82	2257,19

continua...

continua...

Ordem	Acessos	$\hat{\mu} + \hat{g}_i$	Ganho (%)	Nova Média	$\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{g}_m$
16	BGM0196	2094,21	-1,27	1586,08	2262,28
15	BGM0428	2095,05	-1,19	1587,34	2263,40
14	BGM2043	2096,36	-1,11	1588,60	2265,16
13	BGM1116	2103,38	-1,03	1589,87	2274,60
12	BGM0405	2105,34	-0,95	1591,13	2277,24
11	BRS Verdinha	2111,00	-0,87	1592,41	2284,85
10	BGM1767	2118,89	-0,79	1593,70	2295,46
9	BGM1751	2122,98	-0,71	1594,99	2300,95
8	BGM0083	2126,05	-0,62	1596,28	2305,09
7	BGM1702	2136,54	-0,54	1597,59	2319,18
6	BGM0093	2168,40	-0,45	1598,97	2362,01
5	BGM0587	2173,69	-0,37	1600,36	2369,13
4	BGM0556	2187,34	-0,28	1601,78	2387,48
3	BGM1447	2196,74	-0,19	1603,21	2400,11
2	9624-09	2211,00	-0,10	1604,66	2419,29
1	BGM2042	2265,19	0,00	1606,24	2492,14