



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA



ZALMAR SANTANA GONÇALVES

**FONTES DE RESISTÊNCIA À MURCHA DE FUSARIUM RAÇA 1 E
SIGATOKA-NEGRA ENTRE HÍBRIDOS DE BANANEIRA**

Feira de Santana, BA

2019

ZALMAR SANTANA GONÇALVES

**FONTES DE RESISTÊNCIA À MURCHA DE FUSARIUM RAÇA 1 E
SIGATOKA-NEGRA ENTRE HÍBRIDOS DE BANANEIRA**

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Biotecnologia, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Biotecnologia.

Orientador: Dr. Edson Perito Amorim
Co-orientador: Dr. Fernando Haddad
Co-orientadora: Dra. Cláudia Fortes Ferreira

Feira de Santana, BA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Gonçalves, Zalmar Santana

Fontes de resistência à Murcha de Fusarium Raça 1 e Sigatoka-Negra entre híbridos de bananeira – Feira de Santana, BA, 2019.
91 f. il.; 30 cm.

Orientador: Dr. Edson Perito Amorim.
Coorientador: Dr. Fernando Haddad.
Coorientador: Dra. Cláudia Fortes Ferreira

Tese (Biotecnologia)- Universidade Estadual de Feira de Santana, 2019.

1. Banana. 2. Melhoramento vegetal. 3. Doença de planta I. Amorim, Edson Perito. II. Haddad, Fernando. III. Ferreira Cláudia Fortes. VI. Universidade Estadual de Feira de Santana. V. Título.

CDD: 634.772

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Abelmon da Silva Gesteira
(Embrapa Mandioca e Fruticultura)

Prof.^a Dr.^a Adriana Rodrigues Passos
(Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS)

Prof. Dr. Carlos Augusto Dórea Bragança
(Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB)

Prof. Dr. Zilton José Maciel Cordeiro
(Embrapa Mandioca e Fruticultura)

Prof. Dr. Edson Perito Amorim
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Orientador e Presidente da Banca

Feira de Santana, BA

2019

A minha querida mãe, minha rainha, **Eunilia Santana** (*in memoriam*) que através da sua vida me ensinou o valor do estudo, do respeito ao próximo e do trabalho honesto e honrado. E que acima de tudo, deixou-me os seus princípios de persistência, humildade e amizade para com todos, os quais eu levarei comigo com muito orgulho até os últimos dias da minha vida!

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela fé, saúde e por ser meu porto seguro ao longo da minha jornada;

Aos meus pais Zenildo Souza e Eunilia Santana e meu irmão Zanon Santana pela ajuda, pelo apoio, por me ajudarem a concluir mais essa etapa da minha vida, amo vocês infinitamente;

À minha esposa Irlândia Lima, pelo companheirismo, pelo amor e pelas palavras de conforto nas horas mais difíceis da minha vida, sempre e para sempre;

Ao meu orientador dr. Edson Amorim, pela orientação, paciência, confiança, pelos conhecimentos que me foram transmitidos e apoio em todas as horas que necessitei, sem sua ajuda não seria possível a realização desta tese;

Aos meus co-orientadores: dr. Fernando Haddad e dr^(a) Cláudia Fortes, pelos valiosos ensinamentos, tempo dedicado e discussões relacionadas ao nosso objeto de estudo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS e todos os professores pelos conhecimentos prestados;

À Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela infraestrutura para o desenvolvimento da tese e por ser a minha segunda casa ao longo de quase uma década de trabalho e muito conhecimento transferido e absorvido;

Ao setor de práticas culturais, em especial a Rafael Aragão, Antônio Teles, José Magalhães, Sinésio Conceição, Paulo Laesso e Raimundo Santana por todos os conhecimentos práticos passados ao longo desses anos;

Ao núcleo de biologia avançada, na figura de Andresa Ramos, Vanderson Souza e Raimundo Pereira, por me auxiliarem a qualquer dia e hora que necessitei de ajuda;

Aos amigos Julianna, Tamyres, Manasses, Fernanda, Uiara, Anelita, Camila e ao grupo de estudos da banana por todas as trocas de informações e ensinamentos compartilhados;

Aos funcionários de campo e estagiários Antônio, Adriano, Jorge, Gilvanei, Leonardo, Ailton e Tainá pelo auxílio das atividades diárias ao longo do tempo de experimento;

E muitas outras pessoas que não foram citadas aqui, mas que tem uma importância enorme em minha vida;

Aos membros da banca que gentilmente aceitaram fazer parte da avaliação deste trabalho.

Muito Obrigado!

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

RESUMO

A banana figura-se entre as frutas mais consumidas em todas as regiões do mundo. No Brasil, predomina o cultivo do subgrupo Prata, que ocupa aproximadamente 60% da área cultivada, devido à sua boa aceitação pelo mercado interno. Um dos principais desafios à produção de bananas é o ataque de patógenos, com destaque para vírus, bactérias, e fungos. Dentre as doenças, as mais ameaçadoras são a murcha de *Fusarium*, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* e a Sigatoka-negra, agente causal *Pseudocercospora fijiensis*. Os objetivos desse trabalho foi desafiar novos híbridos diploides e tetraploides de bananeira quanto a resistência à murcha de *Fusarium* raça 1 (FOC) e de *Pseudocercospora fijiensis*, sob condições de campo, visando selecionar híbridos resistentes para uso em cruzamentos ou recomendação aos agricultores. As notas para sintomas externos e internos foram transformadas em índice de severidade para murcha de *Fusarium*. Além disso, os híbridos foram caracterizados agronomicamente para serem utilizados nos índices por ganho de seleção. Quatro critérios de seleção foram considerados para avaliação de Sigatoka-negra: durante o período total do experimento; apenas no período de verão; apenas no período do inverno; e na emissão e colheita dos cachos, utilizando-se dos seus ID's e AACPD's médios estimados. Três diploides melhorados foram selecionados por apresentarem resistência a Foc raça 1 e características agronômicas de interesse. Um híbrido do tipo Prata e outro tipo Pacovan, apresentaram resistência a Foc raça 1 e características agronômicas de interesse. Um novo híbrido do tipo Maçã, mostrou resistência a Foc1 e características agronômicas superiores a cultivar BRS Princesa. A seleção de híbridos foi mais efetiva quando concentrada na estação de inverno e a avaliação dos sintomas em quatro folhas nº 3. Três diploides melhorados apresentaram resistência qualitativa e dois resistência quantitativa. A identificação da melhor época para avaliações de Sigatoka-negra em conjunto com o uso de critérios de seleção precoce, de forma a acelerar o desenvolvimento de cultivares para disponibiliza-las aos agricultores, auxilia no ganho de tempo para avaliação de cultivares e disponibilização desses materiais para o mercado consumidor, classificando assim como inédita e inovadora, além de contribuir para o avanço dos estudos dessas doenças e do melhoramento genético da bananeira.

Palavras-chave: *Musa spp.*, Mal-do-Panamá, Sigatoka-negra, resistência genética.

ABSTRACT

Bananas are among the most consumed fruits worldwide. In Brazil bananas belonging to the Prata subgroup are most representative occupying almost 60% of the cultivated area due to its good acceptability in the internal market. One of the main challenges to banana production is the attack of pathogens such as virus, bacteria and fungi. The main threatening fungi diseases are fusarium wilt, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and black Sigatoka, with *Pseudocercospora fijiensis* as its main pathogen. The objectives of this work were to challenge new diploid and tetraploid hybrids of banana in terms of resistance to wilt of Fusarium race 1 (FOC) and *Pseudocercospora fijiensis*, under field conditions aiming to select resistant hybrids for use in crosses or recommendation to banana growers. The scores for external and internal symptoms were transformed into incidence index for fusarium wilt. In addition, the hybrids were characterized agronomically to be used in the indexes by selection gain. Four selection criteria were considered for evaluation of Black Sigatoka: during the total period of the experiment; only in the summer period; only in the winter period; and in the emission and harvest of the clusters, using their estimated average ID's and AACPD's. Three improved diploids were selected for presenting resistance to Foc race 1 and agronomic characteristics of interest. A Prata-type and a Pacovan hybrid were resistant to Foc race 1 and presenting agronomic characteristics of interest. A new Silk-type hybrid presented resistance to Foc race 1 and agronomic characteristics superior to the BRS Princesa cultivar. The selection of the hybrids was more effective when concentrated in the winter and evaluation of symptoms in four number three leaves. Three improved diploids presented qualitative resistance and two quantitative resistance. A Prata-type tetraploid hybrid had quantitative resistance and potential for use by banana growers. The identification of the best season for Black Sigatoka evaluations together with the use of early selection criteria, in order to accelerate the development of cultivars to make them available to the farmers, helps to gain time for the evaluation of cultivars and the availability of these materials to the consumer market, thus classifying as novel and innovative, in addition to contributing to the advancement of studies of these diseases and the genetic improvement of banana.

Key-words: *Musa spp.*, Panama disease, black Sigatoka, genetic resistance.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REVISÃO DE LITERATURA	13
IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	13
MECANISMOS DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS A PATÓGENOS	14
FORÇAS EVOLUTIVAS DOS PATÓGENOS	17
MURCHA DE FUSARIUM	19
SIGATOKA-NEGRA	23
MELHORAMENTO GENÉTICO NA BANANEIRA	25
ÍNDICES DE SELEÇÃO	27
REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO 1. Caracterização agronômica e identificação de híbridos de bananeira com resistência a murcha de Fusarium (<i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i> raça 1)	36
1.1 INTRODUÇÃO	39
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	40
Severidade de murcha de Fusarium	42
Perfil agronômico	44
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
1.4 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO 2. Seleção de híbridos diploides e tetraploides de bananeira resistentes à <i>Pseudocercospora fijiensis</i>	68
2.1 INTRODUÇÃO	71
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	72
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
2.4 CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91

INTRODUÇÃO GERAL

A banana figura entre as frutas mais importantes do mundo, sendo cultivada em mais de 150 países, fazendo parte da alimentação humana em diferentes classes socioeconômicas (FAO, 2019). Possui alto valor nutritivo, fácil consumo *in natura*, baixo custo e características organolépticas que atraem a maior parte dos consumidores (ANJUM et al., 2014; SRIVASTAVA et al., 2015).

Em 2017, a produção mundial alcançou aproximadamente 114 milhões de toneladas, correspondendo a um valor bruto de produção (VBP) superior a 140 bilhões de reais. O Brasil se destaca entre os principais produtores, ocupando a quarta posição de acordo com dados oficiais sobre a produção em 2017. Nesse mesmo ano, a produção atingiu 6,7 milhões de toneladas obtidas a partir da colheita de aproximadamente 517 mil hectares, gerando um VBP próximo a 16 bilhões de reais, reforçando a importância da fruta para o agronegócio brasileiro (IBGE, 2019).

As cultivares mais plantadas pelos agricultores brasileiros são triploides do subgrupo Prata, onde a Prata-Anã e cultivares derivadas, assim como a 'Pacovan', apresentam suscetibilidade à murcha de Fusarium raça 1 e às Sigatokas, amarela e negra; na sequência estão as cultivares do subgrupo Cavendish, também suscetíveis às Sigatokas, mas resistentes à murcha de Fusarium raça 1. Os plátanos e nichos de mercado atendidos por cultivares dos tipos Maçã, Figo, Ouro, entre outras, também integram o portfólio disponível aos agricultores (AMARO & FAGUNDES, 2016; CORDEIRO et al., 2016). Alguns materiais desenvolvidos pela Embrapa, a exemplo das cultivares BRS Platina (tipo Prata) e BRS Princesa (tipo Maçã), estão em processo de adoção pelos agricultores brasileiros por apresentarem resistência às Sigatokas (negra e amarela) e à murcha de Fusarium (FOC), além de características agronômicas e sensoriais alinhadas com as demandas de mercado, (SILVA et al., 2016).

Alguns fatores abióticos e bióticos são limitantes à produção da banana, incluindo o déficit hídrico e extremos de temperatura; além de pragas e doenças, em especial a Sigatoka-amarela (*Pseudocercospora musae*, Deighton), Sigatoka-negra (*Pseudocercospora fijiensis*, Morelet), e a murcha de Fusarium raças 1, 2 e 4 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) (SHARROCK et al., 1998; CORDEIRO et al., 2016).

Especificamente se tratando do agronegócio das bananas no Brasil, os principais fatores limitantes à sua sustentabilidade dizem respeito ao aumento da incidência de doenças, especificamente a Sigatoka-negra e murcha de Fusarium raça 1. A 'Prata-Anã' e seleções advindas dessa cultivar (Prata Catarina, Prata Rio, Prata Gortuba, etc.) têm apresentado sérios problemas com a murcha de Fusarium nos principais polos de produção da fruta no Brasil, fazendo com que boa parte da produção seja perdida. A cultivar Maçã tem sido dizimada devido à elevada suscetibilidade a essa doença.

A busca por cultivares resistentes às pragas e doenças a partir de programas de melhoramento, é considerada o meio mais eficiente de controle dessas enfermidades (AMORIM et al., 2013). Vale ressaltar que uma variedade melhorada pode viabilizar um aumento de produtividade e um menor custo de produção, em função do reduzido emprego de defensivos agrícolas e redução de gastos com o manejo da cultura. Também proporciona melhoria na qualidade dos frutos, aumentando, conseqüentemente, a renda líquida do produtor e preservando a saúde dos consumidores e reduzindo impactos negativos ao ambiente.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada em Cruz das Almas (BA), possui o único programa de melhoramento de bananas e plátanos do Brasil, iniciado em 1976, a partir da criação da sua coleção de germoplasma; produto de coletas nacionais e internacionais. Este programa desenvolveu as seguintes cultivares por meio de hibridação: BRS Caprichosa, BRS Garantida, BRS Japira, BRS Pacovan Ken, BRS Preciosa, BRS Princesa, BRS Tropical, BRS Vitória, BRS Pioneira, BRS Platina e BRS Pacoua, sendo a grande maioria delas adotadas pelos agricultores. As cultivares mais utilizadas pelos agricultores brasileiros e que ocupam aproximadamente 70% da área cultivada, Prata Anã e Pacovan, também foram desenvolvidas pela Embrapa, em parceria com a Epagri (ALVES et al., 1985).

Para desenvolver os híbridos, a Embrapa faz uso de diploides melhorados como parentais masculinos (doadores de pólen) em cruzamentos com cultivares comerciais (utilizadas como mães). Esses diploides são resistentes à Sigatoka-amarela e murcha de Fusarium raça 1; sendo alguns também resistentes à Sigatoka-negra e tolerantes à broca do rizoma e nematoides; além de possuírem outras características agrônômicas de interesse para o melhoramento (AMORIM et al., 2013). Este é um processo dinâmico, uma vez que novos diploides melhorados,

com características superiores, são inseridos nas rotinas de cruzamentos, assim como outros são excluídos por questões técnicas.

Diante disso, a hipótese deste trabalho está voltada para os parentais destes híbridos como Malaccensis, Tjau Lagada, Calcutta 4, M61, M53 e Tuu Gia, apresentam resistência a Murcha de *Fusarium* raça 1 e Sigatoka-negra e por possuírem os mesmos parentais que outros tetraploides já utilizados comercialmente, esses novos materiais apresentam características agronômicas desejáveis e aceitas pelos agricultores e consumidores.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi identificar novos híbridos diploides e tetraploides de bananeira resistentes à murcha de *Fusarium* raça 1 e Sigatoka-negra, a partir da fenotipagem em condições naturais de infestação dos patógenos.

REVISÃO DE LITERATURA

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A produção mundial de banana no ano de 2017 foi de aproximadamente 114 milhões de toneladas, cultivadas em 5,6 milhões de hectares. Nos países em desenvolvimento, em especial nas Américas do Sul e Central, bem como na Ásia e África, a fruta exerce forte papel econômico, além dos milhares de empregos diretos e indiretos vinculados à sua produção e comercialização (IBGE, 2019).

A banana é um alimento fundamental em países em desenvolvimento, principalmente por sua facilidade de cultivo, preços relativamente baixos, facilidade de consumo, alto valor nutricional e ótimas características alimentares. Constitui-se ainda como o quarto produto alimentar mais consumido no mundo (SOTO et al., 2011; AMARO & FAGUNDES, 2016). No Brasil, no ano de 2017, houve uma produção de 6,7 milhões de toneladas em uma área de 517 mil hectares (IBGE, 2019). A banana é produzida em todo território nacional. O maior destaque é dado à Região Nordeste, que detém mais de 33,0% da produção nacional, seguida pela Região Sudeste (32%) e a Região Sul, com aproximadamente 15,3%. São Paulo e Bahia se destacam na produção de bananas e plátanos, seguida por Santa Catarina e Minas Gerais. A participação relativa dos principais estados na produção de banana, são: São Paulo com 16,24%, Bahia com aproximadamente 13,0%, Santa

Catarina com 10,8% e Minas Gerais com 10,3%; sendo esses quatro responsáveis por aproximadamente 50,0% da produção nacional. A média da produção nacional de banana é de 14,34 toneladas por hectare, onde o município que mais colheu banana no ano de 2017 foi Bom Jesus da Lapa-Ba, produzindo 180 mil toneladas em uma área de 8.500 hectares, com rendimento superior a 21,00 toneladas por hectare (VIANA et al., 2017; FAOSTAT, 2018; IBGE, 2019).

Em relação às propriedades que cultivam banana, a Bahia é a que mais se destaca, com 46 mil fazendas, seguido do Amazonas com aproximadamente 21 mil, Minas Gerais com 19 mil e Pernambuco com 18 mil (IBGE, 2019).

Alguns fatores contribuem para os níveis de consumo e volumes de importação dos países com diferentes formas de mercado, como por exemplo, a renda per capita de cada país, preços elevados, competição com outras frutas e o mais importante, o gosto do consumidor. No Brasil, a região onde mais se produz banana, o Nordeste, não é onde se tem maior consumo e sim a região Sul, com um consumo nos anos de 2007 e 2008 de 9,7 kg/ano/pessoa. Em contrapartida, a região onde menos se consome banana é a Região Norte (5,7 kg), seguida da Região Centro-Oeste. Cabe-se ainda ressaltar que das cinco regiões brasileiras, em quatro delas, o consumo de banana é superior a 28% em relação ao total de frutas consumidas, ao passo que no Norte do país, o consumo de frutas é de 20,5 kg, com representação da banana de 44% dessas frutas (AMARO & FAGUNDES, 2016).

MECANISMOS DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS A PATÓGENOS

Não existe diferença substancial entre o melhoramento visando alta produtividade e características de qualidade e o realizado visando desenvolver cultivares resistentes a doenças. Qualquer método de melhoramento, apropriado para a cultura para qual se deseja trabalhar, e levando em consideração a natureza genética da resistência, é adequado para se alcançar o objetivo final, que é o desenvolvimento de um genótipo com capacidade de combater o ataque por patógenos a partir de seus mecanismos de defesas pré e pós formados e da ativação de alelos de resistência (AGRIOS 2005; CAMARGO 2011).

Alguns processos ocorrem nas células vegetais para responder aos estímulos bióticos e abióticos, como a percepção do sinal conferida por receptores celulares específicos, transdução dos sinais até um sitio de ação, podendo ser realizada por

mensageiros secundários através de Proteínas-G de forma direta ou indireta e ao final ocorre a tradução desses sinais permitindo a conversão dos sinais em respostas celulares específicas, ativando desta forma, genes que induzem a síntese de proteínas relacionadas a patogênese (proteínas-PR) e enzimas regulatórias do processo de produção de fitoalexinas, levando dessa forma a ativação dos chamados mecanismos de defesa e conseqüentemente a resistência da planta (CÔTÉ et al., 1995).

A primeira forma de defesa das plantas contra patógenos é definida como PAMP- triggered immunity (PTI), conhecida como defesa basal. As plantas reconhecem padrões moleculares associados ao patógeno (PAMP's), e usam uma complexa rede de estratégias de defesa para se proteger dos patógenos (TRUMAN et al., 2007). Para superar a resistência basal, os patógenos evoluíram moléculas efetoras (produtos de genes *Avr*) que têm como alvo componentes regulatórios específicos do sistema basal de defesa. A evolução nas plantas de um segundo mecanismo imune conhecido como *effector-triggered immunity* (ETI) ou hospedeira específica, que é mediada por proteínas R (resistência gene-a-gene), as quais guardam os alvos na planta, contra os efetores provenientes do patógeno sendo está a segunda defesa da planta (INGLE et al., 2006; HE et al.; 2007).

Tanto o PTI quanto o ETI compartilham vias de sinalização parecidas, como alterações nos níveis de cálcio no citoplasma, cascata de sinalização atrás das quinases e produção de espécies reativas de oxigênio. Através dos mensageiros secundários como ácidos salicílico e jasmônico e etileno, ocorrem à amplificação dos sinais resultando na ativação de fatores de transcrição de genes de defesa e a morte celular em resposta ao reconhecimento do hospedeiro (GRANT; LAMB, 2006; SOUZA et al., 2009).

A resistência genética é a melhor estratégia para o controle de doenças de um modo durável e de forma não onerosa para o produtor; porém, na grande maioria dos cultivos agrícolas, ainda não se tem bons níveis de resistência genética para determinadas doenças, principalmente aquelas que não existem no Brasil (SINGH et al., 2015). Entre uma planta e um patógeno, existem inúmeras interações, onde ocorrem vários mecanismos de defesa pela planta, tais como a produção de cera, pilosidade, presença de cutícula, espessura da parede celular da epiderme, entre outras; constituindo, dessa forma, os mecanismos de defesa pré-formados, também

conhecidos como passivos ou constitutivos. Existem também os mecanismos pós-formados ou ativos, que ocorrem geralmente por meio de indução de um sistema de reconhecimento de patógenos localizados na membrana celular ou no interior da célula (HOGENHOUT et al., 2009).

Durante o processo inicial de infecção por parte dos patógenos, ocorre a produção de substâncias e moléculas produzidas por genes *Avr* denominadas de moléculas efetoras auxiliando no processo de penetração no hospedeiro e estabelecimento das relações parasitárias. Essas moléculas têm a capacidade de desarmar ou ludibriar o sistema de defesa da planta, facilitando o processo de patogênese, interferindo diretamente no processo fisiológico da planta (HAMMOND-KOSACK; KANYUKA 2007). Tais efetores são identificados pela planta diretamente pelos seus receptores, proteínas de resistência (proteínas *R*), que são os produtos dos genes *R* (ORBACH et al., 2000).

Segundo Hogenhout et al. (2009), na maioria das vezes a defesa da planta é governada pelos genes de resistência (*R*), os quais são responsáveis por ativar a defesa dos hospedeiros visando evitar e/ou retardar a invasão dos fitopatógenos, não sendo na verdade uma regra. A resistência vertical (*RV*) ou qualitativa, onde todas as ações de resistência podem ser conferidas por um único ou poucos genes de efeito maior, não permite quantificar graus intermediários de resistência, ocorrendo somente reações de resistência ou de suscetibilidade (TRIGIANO et al., 2010). Sua efetividade é somente para algumas raças dos patógenos, mas contribui de forma direta na redução e/ou atraso do início da epidemia e avanço do inóculo (RIBEIRO DO VALE et al., 2001).

Por outro lado, a resistência quantitativa ou horizontal, obtida a partir do acúmulo gradual de genes favoráveis associados com a resistência ao patógeno, permite a redução do progresso da doença e as chances do patógeno em superar esse tipo de resistência, sendo mais duradoura quando comparada à resistência vertical, por ser uma resistência mais durável e se mantendo mesmo com o aparecimento da doença. Estas condições conferem à resistência horizontal maior estabilidade e durabilidade ao longo do tempo, tendo maior contribuição epidemiológica quando comparada com a resistência vertical (ZADOKS 1977; CAMARGO 2011).

Segundo Bergamin Filho (1995) a ideia de durabilidade da resistência seja horizontal ou vertical não se originou baseada apenas em dados de campo. Existem considerações teóricas que levam ao aceite de que sistemas poligênicos de resistência possuem maior capacidade tampão de resistir as mudanças genéticas no patógeno do que os sistemas monogênicos. Estas argumentações assumem que tanto os sistemas poligênicos como os monogênicos seguem a hipótese gene a gene (teoria de Flor), existência de uma interação do tipo elicitor-receptor, onde o gene de resistência do hospedeiro é responsável pela síntese de uma proteína receptora que reage especificamente com uma molécula elicitora produzida pelo patógeno. Se o patógeno possuir um gene de virulência, este produzirá uma molécula que não será reconhecida pela molécula receptora da planta hospedeira. Assim sendo, uma resistência poligênica será muito mais estável que uma monogênica pois, para que surjam formas variantes do patógeno, no primeiro caso quando se assume as mesmas condições ambientais e genéticas.

FORÇAS EVOLUTIVAS DOS PATÓGENOS

Alguns patógenos quando considerados de alto poder evolutivo, tendem a possuir uma maior facilidade de suplantar a resistência das variedades quando em comparação com os patógenos de menor potencial. Os mais importantes processos associados ao desenvolvimento de um modelo evolutivo do patógeno estão o seu tipo de reprodução e o fluxo gênico. Assim, os patógenos que apresentam alto risco de suplantar a resistência possuem sistema de reprodução mista, com o ciclo sexual gerando variabilidade e a reprodução assexual gerando epidemia, bem como o alto potencial para o fluxo gênico. Aqueles patógenos que apresentam apenas reprodução assexual e baixo potencial de fluxo gênico, são considerados de baixo risco evolutivo (RIOS & DEBONA, 2018).

Segundo Mcdonald & Linde (2002) o potencial evolutivo dos patógenos, com base em sua estrutura genética, baseando-se nos riscos inerentes em cinco forças evolutivas: 1) Patógenos apresentando uma maior taxa de mutação apresentam alto risco evolutivo quando comparado aos patógenos com menor taxa de mutação. Isso se deve à maior probabilidade da mutação afetar os genes de avirulência e, conseqüentemente, ocorrer ausência do reconhecimento pelo hospedeiro. Seguindo a mesma tendência, as populações de patógenos com alto índice de elementos

transponíveis (“transposons”) ativos podem apresentar grande risco evolutivo em relação àquelas populações sem estes elementos ativos. Contudo, somente essa variabilidade genética associada ao processo de mutação não seria suficiente para alterar a frequência de alelos de uma população do patógeno, sendo também necessária a ocorrência concomitante de outras forças evolutivas. 2) O tamanho da população patogênica também influencia no potencial evolutivo dos mesmos, sendo que um alto nível populacional apresenta um maior potencial evolutivo quando comparado a patógenos com menor índice populacional. Este efeito está associado à maior probabilidade de ocorrência de indivíduos contendo alelos mutantes em populações maiores. 3) Patógenos com alto fluxo de genes possuem maior risco evolutivo quando comparados aos patógenos que apresentam um baixo fluxo de genes por duas razões: *i*) alto fluxo gênico nas populações apresentam maior índice populacional efetivo e assim um maior número de alelos *ii*) patógenos com alto fluxo são mais eficientes na dispersão destes genes mutantes e virulentos através de uma grande área geográfica. 4) O envolvimento de propágulos assexuais (fluxo genotípico) apresenta maior risco que a dispersão de propágulos sexuais (fluxo de genes), pois o propágulo assexual representa um “pacote” de genes previamente selecionados e adaptados ao ambiente onde a cultura se encontra estabelecida. Um determinado patógeno que apresenta recombinações regulares pode representar novas combinações de alelos mutantes, como alelos de virulência, que conseqüentemente determinam para os melhoristas o desenvolvimento de novas variedades contendo outros genes de resistência. 5) As populações de patógenos que são expostas a uma forte seleção direcional durante muitas gerações representam um maior risco evolutivo comparadas com as populações que estão expostas a uma seleção disruptiva, como aquela gerada pela resistência horizontal. Esta seleção pode ser considerada a força evolutiva de maior influência em relação ao sistema de cultivo empregado no campo. Assim, agroecossistemas baseados no emprego generalizado de um único gene de resistência proporcionam forte seleção direcional na população de patógenos. Agroecossistemas que implantam genes de resistência principal em misturas ou em rotações no tempo e no espaço irão reduzir a eficiência da seleção ou impor uma seleção estabilizadora ou disruptiva que pode retardar a taxa de aumento na frequência de mutantes virulentos.

MURCHA DE FUSARIUM

Dentre as doenças vasculares na cultura da banana, a murcha de *Fusarium* é a que mais se destaca, sendo endêmica em todas as regiões produtoras de banana do mundo. A preocupação no Brasil é ainda maior pelo fato das principais cultivares preferidas pelos consumidores apresentarem suscetibilidade a essa doença (PLOETZ, 2015). Segundo Stover (1972), a primeira constatação da doença aconteceu por volta de 1874, na Austrália. Posteriormente, a doença teve ocorrência no Panamá e na Costa Rica em 1890. Logo em seguida, a murcha de *Fusarium* foi disseminada para todos os países da América Central e do Sul.

Referente à etiologia da murcha de *Fusarium*, alguns estudos mostram que essa se originou na Ásia e se dispersou para a África e as Américas, por meio do transporte de rizomas e/ou plantas infectadas. Sua primeira constatação no Brasil foi em 1930, no município de Piracicaba, São Paulo, na cultivar Maçã, que em menos de quatro anos dizimou cerca de um milhão de plantas de bananeira naquele município paulista (GOES & MORETO, 2001).

O agente etiológico da murcha de *Fusarium* é o fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, sendo um fungo de reprodução assexuada, cuja forma sexuada não é conhecida. Quanto a distinção morfológica das *formae speciales* do *Fusarium oxysporum*, essa não pode ser feita devido à plasticidade e variações de características fenotípicas encontradas nesse fungo. Dentro de f. sp. há uma subdivisão denominada raça (SMITH, 2008).

Atualmente existe mais de 124 f. sp. de *Fusarium oxysporum* conhecidas, pertencentes ao filo Ascomycota da ordem Hypocreales e família Tuberculariaceae, sendo morfológicamente similares a outros membros da espécie, mas sendo separadas pelas suas especializações patológicas e fisiológicas em relação à bananeira (CORRELL, 1991). As principais formas de esporos assexuais do *F. oxysporum* são os macroconídios, microconídios e clamidósporos; este último são estruturas de resistência do patógeno que podem permanecer no solo sem a presença do hospedeiro por vários anos (LI et al., 2013).

As principais formas de disseminação dessa doença são por contato do sistema radicular de plantas saudáveis com esporos liberados por plantas contaminadas ou por uso de material contaminado, água de irrigação ou drenagem, implementos agrícolas e equipamentos, bem como pelo homem ou animais

(CORDEIRO et al., 2016). Os esporos do fungo preferem se aderir primeiramente à ponta da raiz da bananeira, antes mesmo dos micélios se aderirem à parede celular epidérmica e colonizarem os vasos xilemáticos (Li et al., 2013; HO et al., 2015; ZHANG et al., 2017).

Fisiologicamente, o patógeno da murcha de Fusarium é reconhecido por quatro raças, sendo que as raças 1, 2 e 4 são de grande importância à bananicultura e a raça 3, que ocorre apenas em *Heliconia* sp. (LI et al., 2011). No território brasileiro, de acordo com a estrutura dos grupos de compatibilidade vegetativa dos isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* analisados, presume-se a prevalência da raça 1 (GOES & MORETTO, 2001).

Uma forma simples de diferenciação das raças é mediante o uso de cultivares diferenciadoras, os quais são compostos por diferentes genótipos de bananeira. As reações fenotípicas entre isolados do patógeno e o hospedeiro (genótipos de bananeira) vão inferir sobre a raça existente. Com isto, a série diferenciadora de raças de Foc em bananeira, é composta pela cultivar Gros Michel ou Maçã, a Bluggoe e cultivares do subgrupo Cavendish e Pahang (LI et al., 2011).

A raça 4 de Foc, por muitos anos, ficou restrita ao Sudoeste da Ásia e ao Território do Norte, na Austrália. Após esse período, o fungo foi identificado em vários países, conforme apresentado na Figura 1.

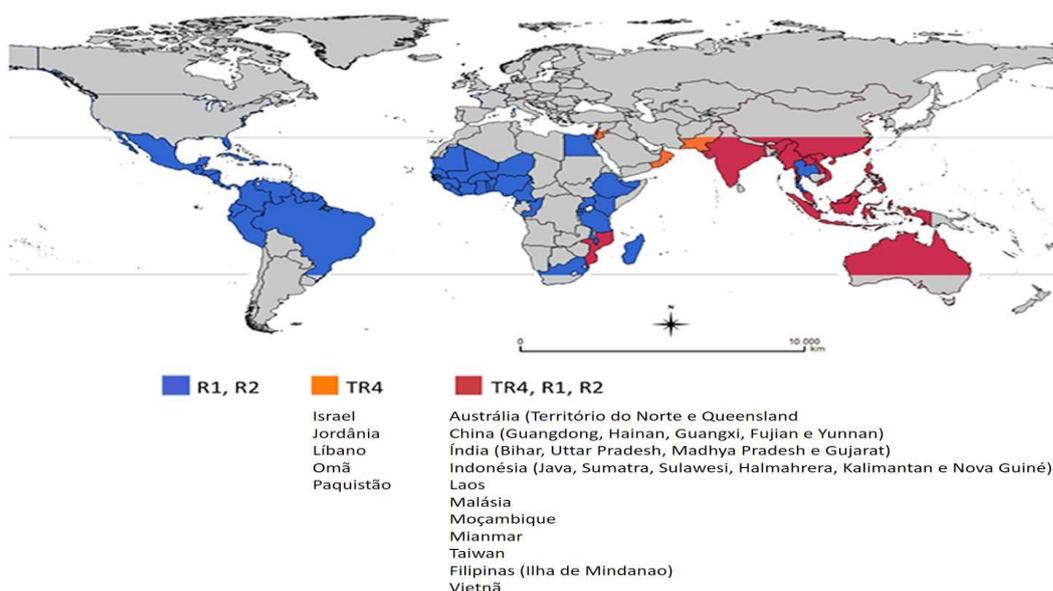


Figura 1. Distribuição global de raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, agente causal da murcha de Fusarium em bananeira. Embrapa 2019. Fonte: <http://www.promusa.org/Tropical+race+4+-+TR4#Distribution>.

A disseminação da RT4 para os países produtores de banana no continente africano representa uma séria ameaça para a bananicultura mundial, pois além do subgrupo Cavendish, afeta também outros tipos de bananas responsáveis por 80% da produção mundial (ORDONEZ et al., 2015; PLOETZ, 2015; HUNG et al., 2017; CHITTARATH et al., 2018; ZHENG et al., 2018). O trabalho de Zheng et al. (2018) fornece detalhes preocupantes sobre a expansão regional e internacional de Foc RT4, pois essa doença ameaça tanto a segurança alimentar quanto o comércio internacional de banana, principalmente as do subgrupo Cavendish, e especificamente no Brasil as do subgrupo Prata.

Segundo Ventura e Hinz (2002), quanto aos sintomas da doença, externamente, observa-se um amarelecimento progressivo das folhas mais velhas para as folhas mais novas, começando pelas bordas do limbo em direção à nervura principal. Progressivamente ao amarelecimento, ocorre murcha, com posterior quebra do pecíolo junto ao pseudocaule, que dá à planta o aspecto típico de um guarda-chuva fechado. Além disso, pode ser observado estreitamento do limbo nas folhas mais novas, engrossamento das nervuras secundárias da folha e, ocasionalmente, necrose do cartucho. Um sintoma bastante típico e frequentemente encontrado, é a rachadura do pseudocaule próximo ao solo, cujo tamanho varia com a área afetada no rizoma. Os sintomas são mais comuns em plantas adultas, mas podem ser encontrados também em plantas jovens.

Como sintomas internos, observa-se pontuações pardo-avermelhadas ao se realizarem cortes transversais ou longitudinais no pseudocaule ou rizoma. As pontuações pardo-avermelhadas provavelmente surgem em função da oxidação de fenol quando na presença do patógeno. A descoloração vascular no pseudocaule concentra-se mais periféricamente, mantendo-se o centro claro. No rizoma, a descoloração é mais pronunciada na área de densa vascularização, onde o estelo se junta ao córtex, podendo-se observar a evolução dos sintomas do rizoma para as brotações (CORDEIRO et al., 2005). Quando a doença se encontra em estádios mais avançados, ocorre a colonização do tecido parenquimatoso adjacente, com produção elevada de conídios e clamidósporos (STOVER, 1972; LI et al., 2017).

Quando se leva em consideração os aspectos epidemiológicos de murcha de *Fusarium* e a natureza da maioria das plantações de banana, fica evidente que o manejo para a murcha de *Fusarium* não é simples. Algumas medidas de controle

podem evitar, ou pelo menos retardar as epidemias descontroladas das doenças, sendo citadas as mais utilizadas: transporte ou deslocamento do patógeno de uma determinada região para outra, particularmente aquelas que ainda não ocorrem em uma determinada área, a exemplo da murcha de *Fusarium* raça 4 tropical que não existe nas Américas, erradicação de plantas infectadas e contenção de patógenos, uso de plantas de cobertura, calagem e adubação, mantendo uma boa cobertura de matéria orgânica, monitoramento da doença, utilização de material de plantio certificados e livre de doenças e nematoides e principalmente, a utilização integrada dessas ferramentas de controle da doença (PATTISON et al., 2014; CORDEIRO et al., 2016; DITA et al., 2018; HADDAD et al., 2018).

Os mecanismos de resistência para FOC aparentemente possuem uma certa complexidade genética, não dependendo das interações entre seu hospedeiro podendo ser controlado por poucos ou vários genes. Os genes R conferem resistência a diversos tipos de fitopatógenos, como as viroses, bactérias, fungos e nematoides, codificando proteínas similares com domínio NB-LRR, essas proteínas possuem dois domínios: C e N- terminal que reconhecem o patógeno e ativam um padrão de transdução de sinal importante na resposta de resistência respectivamente. A resistência a diferentes raças de FOC parece ser controlada por vários genes, descrevendo locos com características qualitativas associados aos NB-LRR na região N-terminal do gene R, como vista em estudos com a *Arabidopsis thaliana* (DIENER, 2005).

Como agentes biológicos, destaca-se o uso de *Trichoderma spp.*, devido as suas características peculiares de antagonismo em condições naturais, principalmente no solo, sendo eficaz no controle de inúmeros fitopatógenos, destacando-se aqueles que apresentam estruturas de resistência difíceis de serem atacadas, como esporos, clamidósporos e escleródios. O *Trichoderma harzianum* tem sido a espécie mais estudada do ponto de vista de biocontrole devido as suas características peculiares de antagonismo em condições naturais, principalmente no solo, além de possuir baixo custo, ausência de toxidez ao homem, bem como aos animais e sendo este também de reprodução ilimitada na natureza (MA et al., 2010; DITA et al., 2018; HADDAD et al., 2018).

Aliado aos métodos de controle citados acima, a melhor forma de controle da murcha de *Fusarium* se dá por meio do uso de cultivares resistentes, como exemplo

às pertencentes ao subgrupo Cavendish e Plátanos, assim como as cultivares BRS Platina e BRS Princesa, que apresentam resistência à murcha de Fusarium raça 1 e foram desenvolvidas pela Embrapa (AMORIM et al., 2011). A utilização dessas práticas, além de reduzir a incidência e/ou severidade de murcha de Fusarium, melhora o controle de outras possíveis doenças e aumentam a produtividade do bananal (HADDAD et al., 2018).

SIGATOKA-NEGRA

A Sigatoka-negra foi inicialmente relatada em Fiji em 1963, recebendo esse nome por ser uma forma diferente da Sigatoka-amarela. Seu agente causal é muito mais destrutivo quando comparada com o agente causal da Sigatoka-amarela, caracterizando-se por apresentar maior velocidade e intensidade de ataque e por infectar também as folhas mais jovens (MOURICHON et al., 1997). É um fungo de difícil controle, que apresenta uma amplitude maior de cultivares suscetíveis, principalmente as pertencentes aos subgrupos Prata, Cavendish e Plátanos (BURT et al., 1997). Sua distribuição geográfica é muito ampla, sendo encontrada em praticamente toda a América Central, Caribe, Américas do Sul e do Norte, África, Ásia e em países da região do Pacífico, como Papua Nova Guiné, Vanuatu, Nova Caledônia, entre outros (CAVALCANTE et al., 1999). No Brasil, foi constatada pela primeira vez no ano de 1998, na região Amazônica, sendo também encontrada nos principais estados produtores de banana, como São Paulo, Bahia, Santa Catarina e Espírito Santo (CORDEIRO et al., 2016).

Quanto a sua etiologia, o fungo causador da Sigatoka-negra é um ascomiceto conhecido como *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, tendo duas fases de reprodução, a fase sexuada ou teleomórfica e a fase assexuada ou anamórfica conhecida como *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) Deighton. A fase assexuada está presente durante a fase de estrias ou manchas jovens da doença, quando se observa conidióforos sendo liberados sozinhos ou em pequeno número nos estômatos. Seus conídios são obclavados a cilíndricos, hialinos, retos ou ainda com ligeira curvatura, com 20 a 130 µm de comprimento e 2,5 a 5 µm de largura, podendo ainda apresentar de seis a nove septos, são delgados no ápice e largos na base, com cicatriz na base do hilo e são visíveis principalmente na face abaxial das folhas (STOVER & SMMONDS, 1987; MARÍN et al., 2003).

Já a fase sexuada possui ascósporos hialinos, fusiformes, clavados, bicelulares e constitutivos no seu septo, tem comprimento de 14 a 20 μm e largura de 4 a 6 μm (STOVER & SIMMONDS, 1987). Essa fase é considerada a mais importante no aumento da doença, uma vez que um grande número de ascósporos é produzido em estruturas denominadas pseudotécios, podendo ser até 100 vezes superior à produção de conídios (CORDEIRO, et al., 2016). Apesar de *M. fijiensis* produzir uma quantidade reduzida de conídios em comparação aos produzidos na fase sexuada, eles são capazes de causar doenças aos bananais tanto quanto os ascósporos e com a mesma eficiência (PEREIRA et al., 2003).

A sintomatologia da Sigatoka-negra é vista inicialmente por meio de pontuações em forma de áreas em descoloração na face abaxial do limbo da folha. As mesmas progridem formando estrias longitudinais de coloração marrom-clara com comprimento de 2 a 3 mm. Com o passar do tempo, ocorre expansão radial e longitudinal podendo ser vistas na face adaxial do limbo foliar. Após esse estágio, as estrias evoluem radialmente e mudam de cor, passando de marrom-claro para marrom-escuro na parte abaxial foliar, logo em seguida ocorre o estágio mais avançado da doença com formatos de manchas escuras irregulares que coalescem, dando ao limbo foliar uma coloração próxima à negra, onde a partir das bordas inicia-se o processo de morte prematura de todo o limbo foliar. Na parte superior da folha surgem pontuações escuras e corpos de frutificações correspondentes à fase sexuada do patógeno. O desenvolvimento de lesões de Sigatoka-negra e a sua disseminação são fortemente influenciados por fatores ambientais como umidade, temperatura, luz e vento. No caso específico do Brasil, as folhas utilizadas para transporte em barcos e caminhões bananeiros, também são fontes de disseminação do patógeno (BELTRÁN-GARCÍA et al., 2014).

Estudos envolvendo a captura de esporos, indicam que conídios e ascósporos de *M. fijiensis* estão presentes no ar entre os horários de 5:30 a 8:30h da manhã, em que logo após esse período, ocorre uma queda substancial. Os ascósporos após um determinado período à exposição contínua de luz solar, acabam morrendo, mas quando os mesmos encontram condições favoráveis de vento, juntamente com umidade, principalmente ocorrida pela chuva, se propagam rapidamente (BURT, 2003).

Estima-se que áreas onde não existe nenhum tipo de controle, as perdas na produção devido à Sigatoka-negra a partir do primeiro ciclo de cultivo podem chegar a 100% nas cultivares do subgrupo Prata e Cavendish e aproximadamente 70% na produção de plátanos. Em locais de climas quentes e úmidos, como a Região Amazônica, é utilizado mais de 50 pulverizações por ano para controle da referida doença, podendo ocorrer em alguns casos o abandono do plantio (GASPAROTTO, et al., 2006). Já em regiões onde ocorrem investimentos para controle da Sigatoka-negra, geralmente há aumento no custo de produção em função do número de aplicações de fungicidas que se faz necessário, como na América Central, que em períodos de grandes incidências, pode chegar em torno de 60 aplicações por ciclo de produção (CORDEIRO et al., 2016).

Segundo Orozco-Santos (2006), a principal estratégia no controle da Sigatoka-negra é o manejo integrado aliado ao uso de cultivares resistentes. Além disso, algumas práticas são de fundamental importância para se conviver com essa doença, a saber: i) substituição de cultivares suscetíveis por cultivares resistentes, visando à diminuição do uso de controle químico, ii) emprego de um bom controle cultural que reduza o potencial de inóculo no interior do plantio de bananeira como a drenagem, que diminui o microclima favorável à doença, iii) combate de plantas espontâneas e utilização de cobertura morta e as mais importantes para esse controle que são iv) a desfolha sanitária e v) nutrição ideal para a planta.

MELHORAMENTO GENÉTICO NA BANANEIRA

A partir de 1920, os programas de melhoramento da bananeira têm focado no desenvolvimento de cultivares com resistência às principais pragas e doenças, a exemplo de Trinidad e Jamaica quando a murcha de *Fusarium* dizimou plantações de 'Gros Michel', na América Central. Os programas de melhoramento da bananeira estão focados em: melhor vigor, precocidade na produção, maior resistência/tolerância a estresses bióticos e abióticos, maior eficiência no uso de nutrientes, água e qualidade do solo, aliados a maior qualidade de produção.

Com isso, programas de melhoramento foram iniciados em vários outros centros de pesquisa no mundo: a FHIA - *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola*, em Honduras; NRCB - *National Research Centre For Banana* e TNAU - *Tamil Nadu Agricultural University*, ambos na Índia; CARBAP - *Centre Africain de*

Recherches sur Bananiers et Plantains, nos Camarões; IITA - *International Institute of Tropical Agriculture*, na Nigéria; CIRAD - *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*, na França e no Brasil, pela EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (SILVA e CORDEIRO, 2011; AMORIM et al., 2016).

Quando se fala em melhoramento da bananeira, sabe-se que ele é complexo e demorado, pois alguns fatores contribuem de forma direta para isto, como níveis de ploidia, frutos com pouca ou sem produção de sementes, ciclo longo da cultura, entre outros. A primeira abordagem de identificação de cultivares resistentes são por meio de seleção dentro dos recursos genéticos existentes nas coleções de germoplasma, mas mesmo assim há a necessidade de geração de novos híbridos através do processo de hibridação, sendo o método mais eficiente de controle (SILVA et al., 2003; TENKOUANO, 2006).

A partir dos anos de 1976, iniciou-se o programa de melhoramento de bananeira da Embrapa, por meio de coletas de germoplasma realizadas no próprio país e a partir de 1981 nos centros de origem de *Musa spp.*, na figura do doutor Kenneth Shepherd. Após esse período a Embrapa desenvolveu inúmeras variedades através de hibridação: BRS Caprichosa, BRS Japira, BRS Pacovan Ken, BRS Preciosa, BRS Tropical, BRS Platina, dentre outras ainda recomendadas a BRS Pelipita, Fhia-1 e BRS Thap Maeo (Mysore). Preocupada com o sério risco de extinção da cultivar Maçã devido à elevada susceptibilidade à murcha de Fusarium, a Embrapa desenvolveu uma opção de cultivo para os agricultores, com o lançamento da cultivar BRS Princesa, que é um híbrido tetraploide do tipo Maçã. Essa cultivar está em processo amplo de adoção pelos agricultores devido ao fato de ser resistente à murcha de Fusarium raça 1, apresentar aspecto visual e de sabor próximo ao Maçã, além da resistência à Sigatoka-negra, tolerância ao frio e maior eficiência do uso da água (AMORIM et al., 2016).

Para desenvolver híbridos, a Embrapa faz uso de diploides melhorados como parentais masculinos (doadores de pólen) em cruzamentos com cultivares comerciais (utilizadas como mães). Esses diploides são resistentes à Sigatoka-amarela e a murcha de Fusarium raça 1; sendo alguns também resistentes à Sigatoka-negra e tolerantes à broca do rizoma e nematoides, além de outras características agrônômicas de interesse para o melhoramento como porte baixo,

número de frutos superiores a 100, número de folhas superiores a doze no momento da colheita, ciclo de produção curto, entre outras. O desenvolvimento de diploides melhorados é um processo contínuo, uma vez que novos híbridos com características superiores são desenvolvidos e selecionados cada ano (AMORIM et al., 2013).

Novas possibilidades têm permitido o avanço dos estudos genéticos em bananeira, a citar, a biotecnologia que auxilia no desenvolvimento de cultivares promissoras, a mutagênese *in vitro* e a transformação genética, que auxiliam no desenvolvimento de cultivares resistentes a doenças, muitas vezes propiciando soluções únicas e em suas diferentes fases (OSELEBE et al., 2006; CHEN et al., 2013). Todavia, a falta de conhecimento sobre os mecanismos estruturais, genéticos e moleculares envolvidos na resposta do hospedeiro e responsáveis pela resistência, afeta diretamente os programas de melhoramento por métodos biotecnológicos para as doenças fúngicas (LI et al., 2012).

ÍNDICES DE SELEÇÃO

Considerando-se o grande volume de dados obtidos a partir da fenotipagem em campo, a seleção dos híbridos com base nos valores per se, mostra-se limitada. Nesse contexto, o uso de índices de seleção mostra-se adequado, pois considera todas as características em conjunto e melhor identifica plantas superiores.

Índices de seleção constituem-se em um caráter adicional, estabelecidos por meio da combinação ótima de vários caracteres previamente selecionados pelos melhoristas, visando efetuar a seleção simultânea de caracteres de interesse, de modo a permitir separar genótipos superiores independentemente da existência de correlações entre essas características (VILARINHO et al., 2003; LESSA et al., 2010). Smith (1936), desenvolveu o primeiro índice de seleção, assim como outros desenvolvidos depois, para uso em situações específicas (Garcia e Sousa Júnior, 1999), requer estimativas de parâmetros, e por essa razão, são denominados índices paramétricos (Vilarinho et al., 2003). Por isso, o emprego desses índices é apropriado quando os genótipos formam uma amostra aleatória.

Smith (1936) propôs o uso de índice de seleção nos programas de melhoramento de plantas como critério de seleção. De acordo com Smith (1936), para o estabelecimento do índice de seleção, é necessário indicar o valor econômico

relativo de cada característica, bem como obter as estimativas das variâncias genotípicas e fenotípicas e das covariâncias fenotípicas e genotípicas entre cada par de características, ou seja, os pesos aplicados a certos tipos de métodos se destinam à relacionar as propriedades genéticas com o intuito de selecionar diversas características agrônômicas no decorrer do processo de seleção. Esse índice de seleção, por ter sido um dos primeiros a ser utilizado no melhoramento de plantas, ficou conhecido como Índice Clássico.

Comparando-se os ganhos preditos obtidos com seleção simultânea de características, utilizando-se diferentes índices de seleção e critérios seletivos, Granate et al. (2002) concluíram que os ganhos preditos com o índice de seleção de Smith (1936) e Hazel (1943), em milho de pipoca foram os mais adequados para a identificação de genótipos superiores nas progênies.

Um dos índices mais utilizados para selecionar genótipos de bananeiras é o de Mulamba & Mock (1978), que ranqueia genótipos em relação a cada característica, atribuindo maiores valores absolutos para aqueles de melhor desempenho e os valores atribuídos a cada característica são somados, obtendo-se a soma das classificações do genótipo, o que resulta em um escore adicional considerado como índice de seleção; sendo este método de fácil aplicabilidade (CRUZ et al., 2001). O emprego de índices de seleção no melhoramento genético da cultura da bananeira auxilia o melhorista na tomada de decisões mais adequadas quanto à seleção de genótipos que agreguem no mesmo indivíduo, alta produção, resistência e outras características de interesse. Em se tratando dos índices não-paramétricos, não requerem estimativas como os índices paramétricos; esses, podem ser aplicados tanto a amostras aleatórias, quanto a genótipos selecionados. Os híbridos diploides e tetraploides avaliados nesse trabalho são uma amostra fixa, desta forma, aplica-se ao índice não paramétrico, citado anteriormente.

No índice proposto por Pesek & Baker (1969), faz-se necessário o estabelecimento prévio dos ganhos desejados para cada caráter.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N. Elsevier Academic Press. **Plant pathology**. Amsterdam, Ed.5, p.922, 2005. <https://dx.doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>

ALVES, E. J.; SHEPHERD, K.; FERREIRA, F. R. **Cultivares de banana caracterizadas e avaliadas no Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura**. Cruz das Almas-Ba 1985. p.1-8. (Comunicado técnico).

AMARO, A. A; FAGUNDES, P. R. S. Aspectos econômicos e comercialização. In Ferreira, C. F. et al (org.) **O agronegócio da Banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p.729-752.

AMORIM, E. P. Melhoramento genético In: FERREIRA, C. F. et al (org) **O agronegócio da banana** 1. ed. Brasília-DF, Embrapa/ Cruz das Almas, 2016. p.173-200.

AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, V. B. O.; FERREIRA, C.F.; SILVA, S. Banana breeding at Embrapa Cassava and Fruits. **Acta Horticulturae**, v.986, p.171-176, 2013. <https://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.18>

AMORIM, E. P.; AMORIM, V. B. O.; SILVA, S. de O. Quality improvement of cultivated *Musa*. In: PILLAY, M.; TENKOUANO, A. (Org.). **Banana Breeding: Progress and Challenges**. New York: CRC Press, p.252-280, 2011.

ANJUM, S.; SUNDARAM, S.; RAI, G. K. Nutraceutical application and value addition of banana peel: a review. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v.6, n.10, p.81-85, 2014. SSN - 0975-1491

BELTRÁN-GARCÍA, M. J.; PRADO, F. M.; OLIVEIRA, M. S.; ORTIZ-MENDOZA, D.; SCALFO, A. C.; PESSOA JR., A.; MEDEIROS, M. H. G.; WHITE, J. F.; DI MASCIO, P. Singlet molecular oxygen generation by light-activated DHN-melanin of the fungal pathogen *Mycosphaerella fijiensis* in black Sigatoka disease of bananas. **Plos One** v.9, n.3, p.1-15, 2014. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0091616>

BERGAMIN FILHO, A; CAMARGO, L. E. A. Controle genético: Durabilidade. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.) **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, v.1, p.735, 1995.

BURT, P. J. A. Airborne dispersal of *ycosphaerella fijiensis*. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON MYCOSPHAERELLA LEAF SPOT DISEASES, 2., 2002, San José. **Mycosphaerella leaf spot diseases of bananas: present status and outlook: proceedings...** Montpellier: INIBAP, 2003. p.111-121.

BURT, P. J. A.; RUTTER, J.; GONZALES, H. Short-distance wind dispersal of the fungal pathogens causing Sigatoka diseases in banana and plantain. **Plant Pathology**, v.46, n.6, p.451-458, 1997. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3059.1997.d01-32.x>

CAMARGO, L. E. A. Controle genético. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. Ed.4 Piracicaba: Ceres, 2011. v.1, p. 325-341.

CAVALCANTE, M. J. B.; GONDIM, T. M.; CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. D.; HESSEI, J. L.; SAMPAIO, F. R. V. Ocorrência da Sigatoka-negra em dez municípios do Estado do Acre. **Comunicado Técnico**. EMBRAPA ACRE, 1999. p.2.

CHEN, Y. F et al. Fusarium wilt-resistant lines of Brazil banana (*Musa* spp., AAA) obtained by EMS-induced mutation in a micro-cross-section cultural system. **Plant Pathology**, v. 62, p. 112–119, 2013.

CHITTARATH, K.; MOSTERT, D.; CREW, K.S.; VILJOEN, A.; KONG, G.; MOLINA, A. B.; THOMAS, J. E. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (VCG 01213/16) associated with Cavendish bananas in Laos. **Plant Disease**, v.102, n.2, p.449, 2018.
<https://dx.doi.org/10.1094/PDIS-08-17-1197-PDN>

CORDEIRO, Z. J. M et al.; Doenças fúngicas e bacterianas In: FERREIRA, C. F. et al (org.) **O agronegócio da banana**. 1 ed. Brasília-DF, Embrapa/ Cruz das Almas, 2016. p.547-575.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P de; KIMATI, H. Doenças da bananeira (*Musa* spp.) In: Doenças Da Bananeira. In: Kimati, H.; Amorim, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A. Manual de Fitopatologia. **Agrônômica Ceres**, v.2, p.99-117, 2005.

CORRELL, J. C. The relationship between formae speciales, races, and vegetative compatibility groups in *Fusarium oxysporum*. **Phytopathology**, v.81, n.9, p.1061-1064, 1991.

CÔTÉ, F.; CHEOG, J. J.; ALBA, R.; HAHN, M.G. Characterization of binding proteins that recognize oligoglucoside elicitors of phytoalexins in soybean. **Physiologia Plantarum** 93:401-10, 1995.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Ed.2. **Revista Viçosa**: UFV, 2001. 390p.

DIENER, A. C.; AUSUBEL, F. M.; Resistance to *Fusarium oxysporum* 1, a dominant Arabidopsis disease-resistance gene, is no trace specific. **Genetics**, Bethesda, v. 171, p. 305-321, 2005.

DITA, M.; BARQUERO, M.; HECK, D.; MIZUBUTE, E. S. G.; STAVER, C. P. Fusarium wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. **Frontiers of Plant Science**, v.9, p.1468, 2018.
<https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations** Faostat: Production in 2012. Rome. Available at: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Accessed on: fevereiro de 2019.

FAOSTAT. **Food and Agricultural Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E> Acesso em: 10 de fevereiro, 2019.

GARCIA, A.A.F.; SOUZA JÚNIOR, C.L. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, v.58, p.253-267, 1999.

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R.; HANADA, R. E.; MONTARROYOS, A. V. V. **Sigatoka- negra da bananeira**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2006. p.177.

GOES, A.; MORETTO, K. C. K. Mal-do-Panamá. In: RUGGIEIRO, C. **Bananicultura**. Ed.2, 2001, p.122-128.

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho de pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.7, p. 101-108, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000700014>

GRANT, M.; LAMB, C.; Systemic Immunity. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v.9, p.414-420, 2006.

HADDAD, F.; ROCHA, L. S.; SOARES, A. C. F.; MARTINS, I. P. S.; TEIXEIRA, L. A. J.; STAVER, C. Management of Fusarium wilt of bananas in Minas Gerais, Brazil. **Acta Horticulture**, v.1196, p.137-146, 2018. <https://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1196.16>

HAMMOND-KOSACK, K. E.; KANYUKA, K. Resistance genes (*R* genes) in plants. In: **Encyclopedia of Life Sciences** (ELS). Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics, Austin**, v.28, p.476-490, 1943.

HE, P.; SHAN, L.; SHEEN, J. Elicitation and suppression of microbeassociated molecular pattern-triggered immunity in plant-microbe interactions. **Cellular Microbiology**. v. 9, p.1-12, 2007.

HO, Y. N.; CHIANG, H. M.; CHAO, C. P.; SU, C. C.; HSU, H. F.; GUO, C. T.; HSIEH, J. L.; HUANG, C. C. In planta biocontrol of soil borne *Fusarium* wilt of banana through a plant endophytic bacterium, Burkholderia cenocepacia. **Plant Soil**, v.387, n.1-2, p.295-306, 2015. <https://dx.doi.org/10.1007/s11104-014-2297-0>

HOGENHOUT, S. A.; VAN DEN HOORN, R. A. L.; TERAUCHI, R.; KAMOUN, S. Emerging concepts in effector biology of plant associated organisms. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v.22, n.2, p.115-122, 2009.

HUNG, T. N.; JUNG, N.Q.; MOSTERT, D.; VILJOEN, A.; CHAO, C. P.; MOLINA, A. B. First report of *Fusarium* wilt of Cavendish bananas, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (VCG 01213/16) in Vietnam. **Plant Disease**, v.102, n.2, p. 448, 2017.

<https://dx.doi.org/10.1094/PDIS-08-17-1140-PDN>

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. LSPA, **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201212.pdf>. Acesso em janeiro de 2019.

INGLE, R. A.; CARSTENS, M. & DENBY, K.J. PAMP recognition and the plant-pathogen arms race. **BioEssays**, v.28, p.880-889, 2006.

LESSA, L. S.; LEDO, C. A. de S.; SANTOS, V. S.; SILVA, S. de O.; PEIXOTO, C. P. Seleção de híbridos diploides (aa) de bananeira com base em três índices não paramétricos. **Bragantia**, v.69, n.3, p.525-534, 2010.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000300003>

LI, C.; YANG, J.; LI, W.; SUN, J.; PENG, M. Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish. **Plant Disease**. v.101, n.12, p.2073-2078, 2017.

<https://dx.doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0467-RE>

LI, C.; SHAO, J.; WANG, Y.; LI, W.; GUO, D.; YAN, B. Analysis of banana transcriptome and global gene expression profiles in banana roots in response to infection by race 1 and tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **BMC Genomics**, v.14, n.5, p.2-14, 2013. <https://dx.doi.org/10.1186/1471-2164-14-851>

LI, C et al. Transcriptome profiling of resistant and susceptible Cavendish banana roots following inoculation with *Fusarium*. **BMC Genomics**, v.13, p.374. 2012.

LI, C. Y.; CHEN, S.; ZUO, C. W.; SUN, Q. M.; YE, Q.; HUANG, B. Z. The use of GFP-transformed isolates to study infection of banana with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4. **European Journal of Plant Pathology**, v.131, n.2, p.327-340, 2011.

<https://doi.org/10.1007/s10658-011-9811-5>

MA, L. J.; VAN DER DOES, H. C.; BORKOVICH, K. A.; COLEMAN, J. J.; DABOUSSI, M. J.; PIETRO, A. Comparative genomics reveals mobile pathogenicity chromosomes in *Fusarium*. **Nature**, v.464, p.367–373, 2010.

<https://doi.org/10.1038/nature08850>

MARÍN, D. H.; ROMERO, R. A.; GUZMÁN, M.; SUTTON, T. B. Black Sigatoka: na increasing treat to banana cultivation. **Plant Disease**, v.87, n.3, p.208-222, 2003.

<https://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.3.208>

McDONALD, B. A.; LINDE, C. Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, p. 349-379, 2002a.

MOURICHON, X.; CARLIER, J.; FOURÉ, E. **Sigatoka leaf spot diseases**. Montpellier: INIBAP. 1997. Musa Disease Fact Sheet, n.8.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the eto blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, n.1, p.40-51, 1978

ORBACH, M. et al. A telomeric avirulence gene determines efficacy for the rice blast resistance gene *Pi-ta*. **The Plant Cell**. v. 12, p. 2019-2032, 2000.

ORDONEZ, N.; GARCIA-BESTIDAS, F.; LAGHARI, H. B.; AKKARY, M. Y.; HARFOUCHE, E. N.; AL-AWAR, B. N.; KEMA, G. H. J. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 causing panama disease in Cavendish bananas in Pakistan and Lebanon. **Plant Disease**, v.100, n.1, p.209, 2015.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-12-14-1356-PDN>

OROZCO- SANTOS, M.; OROZCO- ROMERO, J. Control cultural de la Sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). In: **Simpósio de manejo adequado da sigatoka-negra na cultura da banana**. Anais. Pariquera-Açu: Polo Regional da Apta Vale do Ribeira, p.92-116, 2006.

OSELEBE, H. O.; TENKUANO, A; PILLAY, M. Ploidy variation of Musa hybrids from crosses. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.5, p.1048-1053, 2006.

PATTISON, A. B.; WRIGHT, C. L.; KUKULIES, T. L.; MOLINA, A. B. Ground cover management alters development of *Fusarium* wilt symptoms in Ducasse bananas. **Australian Plant Pathology**, v.43, n.4, p.465-476, 2014.
<https://doi.org/10.1007/s13313-014-0296-5>

PEREIRA, J. C. R.; GASPAROTTO, L.; COELHO, A. F. S.; VÉRAS, S. de M. **Doenças da bananeira no Estado do Amazonas**. Ed.3. Embrapa Amazônia Ocidental, 2003.

PLOETZ, R. C. Management of *Fusarium* wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. **Crop Protection**, v.73, p.7-15, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.007>

RIBEIRO DO VALE, F. X.; PARLEVLIT, J. E.; ZAMBOLIM, L. Concepts in plant disease resistance. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, n.3, p.577-589, 2001.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582001000300001>

RIOS, J. A.; DEBONA, D. Efeito epidemiológico da resistência de hospedeiro. In: DALLAGNOL, L. J. Resistência genética de plantas a patógenos. Ed. UFPel, 2018, p.132-135.

SHARROCK, S. L.; ORJEDA, G.; FRISON, E. A. Promusa - A Global Programme for *Musa* Improvement. **Acta Horticulturae**, v.490, n.1, p.337-344, 1998.

SILVA, P. R. O.; JESUS, O. N. de; BRAGANÇA, C. A. D.; HADDAD, F.; AMORIM, E. P.; FERREIRA, C. F. Development of a thematic collection of *Musa* spp accessions using SCAR markers for preventive breeding against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cabense* tropical race 4. **Genetics and Molecular Research**, v.15, n.1, p.3-9, 2016. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15017765>

SILVA, S. de O.; CORDEIRO, Z. J. M. **Recomendações técnicas sobre a Sigatoka-negra da bananeira**. Variedades de banana resistentes a Sigatoka-negra. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.107, 2011.

SILVA, S.O.; GASPAROTTO, L.; MATOS, A. P.; CORDEIRO, Z. J. M.; FERREIRA, C. F. RAMOS, M. M.; JESUS, O. N. **Banana Breeding Program in Brazil- Recent Results**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003, p.39.

SINGH, R. P.; HODSON, D. P.; JIN, J.; LAGUDAH, E. S.; AYLIFFE, M. A.; BHAVANI, S.; ROUSE, M. N.; PRETORIUS, Z. A.; SZOBO, L. J.; HUERTA-ESPINO, J.; BASNET, B. R.; LAN, C.; HOVMOLLER, M. S. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: continued threat to food security and prospects of genetic control. **Phytopathology**, v.105, n.7, p.872-884, 2015. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-15-0030-FI>

SMITH, L. J.; SMITH, M. K.; TREE, D.; O'KEEFE, D.; GALE, V. J. Development of a small-plant bioassay to assess banana grown from tissue culture for consistent infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cabense*. **Australian Plant Pathology**, v.37, n.2, p.171-179, 2008. <https://doi.org/10.1071/AP08006>

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals Eugenics**, v. 7, n.3, p. 240-250, 1936.

SOTO, M. Situación y avances tecnológicos en la producción bananera mundial. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.33, n.1, p.13-28, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000500004>

SOUZA, A. A; TAKITA, M. A.; AMARAL, A. M. ; COLETTA FILHO, H. D.; MACHADO, M.A. . Citrus responses to *Xylella fastidiosa* infection, the causal agent de citrus variegated chlorosis. **Tree and Forestry Science and Biotechnology**, v.2, n. 3, p. 957-964, 2009.

SRIVASTAVA, S.; SHARMA, P. K.; GURU, K. Nutraceuticals: a review. **Journal of Chronotherapy and Drug Delivery**, v.6, n.1, p.1-10, 2015.

STOVER, R. H.; SIMMONDS, N.W. **Bananas**. 3. ed. New York: Longemon, p.486, 1987.

STOVER, R. H. Banana Plantain and Abaca Diseases. **Common Welth Mycological Institute**, p.316, 1972.

TRIGIANO, R. N.; WINDHAM, M. T.; WINDHAM, A. S. Fitopatologia: **conceitos e exercícios de laboratório**. Ed.2, Porto Alegre, Artmed, 2010. p.576.

VENTURA, J. A.; HINZ, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: Zambolim, L. et al. **Controle de doenças de plantas – FRUTEIRAS**. Suprema Gráfica e Editora Ltda. Viçosa, Minas Gerais, v.2, 2002, p.839-937.

VIANA, C. D. Secretaria de estado de agricultura, Pecuária e abastecimento de minas gerais. Subsecretaria de agronegócio. **Boletim técnico**. Março/2017. Belo Horizonte- MG.

VILARINHO, A. A.; VIANA, J. M. S.; SANTOS, J. F. dos; CÂMARA, T. M. M. Eficiência da seleção de progênies s1 e s2 de milho-pipoca, visando à produção de linhagens. **Bragantia**, v.62, n.1, p.9-17, 2003.

<https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100002>

ZADOKS, J.C. The integrated concept of disease resistance: A new view including horizontal and vertical resistance in plants. **Euphytica**, v.26, n.1, p.5-21, 1977.

<https://doi.org/10.1007/BF00032062>

ZHANG, L.; GUO, Y.; WANG, Y. Y.; TANG, W. H.; ZHENG, S. J. Protoplasts transformation and gene knockout system of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* TR4. **Acta Phytopathologica Sinica**, v.47, n.2, p.1-6, 2017.

<http://dx.doi.org/10.13926/j.cnki.apps.000039>

ZHENG, S. J.; GARCÍA-BASTIDAS, F. A.; LI, X. D.; ZENG, L., BAI, T. T.; XU, S. T.; YIN, K. S.; LI, H. X. X.; FU, G.; YU, Y.C.; YANG, L.; NGUYEN, H.C.;

DOUANGBOUPHA, B.; KHAING, A. A.; DRENTH, A.; SEIDL, M. F.; MEIJER, H. G.

J.; KEMA, G. H. J. New incursions of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical Race 4 across the Greater Mekong Subregion. **Frontiers in Plant Science**, v.4, n.5, p.208-218, 2018.

<https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2018.00457>

CAPÍTULO 1

Caracterização agronômica e identificação de híbridos de bananeira com resistência a murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raça 1)

Caracterização agrônômica e identificação de híbridos de bananeira com resistência à murcha de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raça 1)

Resumo: Um os principais fatores limitantes à produção de banana é a presença do fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (Foc), agente causal da murcha de *Fusarium*. Considerando a inexistência de controle químico efetivo para essa doença, aliado com o manejo integrado, o desenvolvimento de cultivares resistentes mostra-se o caminho mais promissor. O objetivo desse trabalho foi desafiar 23 híbridos diploides e sete tetraploides de bananeira desenvolvidos pela Embrapa quanto a resistência à murcha de *Fusarium*, em área artificialmente infestada. As notas para sintomas externos e internos foram transformadas em índice de severidade da doença. Além disso, os híbridos foram caracterizados agronomicamente e utilizou-se índices de seleção para a identificação dos híbridos superiores. A partir da análise conjunta dos índices de seleção, três diploides melhorados foram selecionados por apresentarem resistência a Foc raça 1 e características agrônômicas de interesse, tais como porte baixo, mais de 100 frutos por cacho e ciclo precoce. Um híbrido do tipo Prata e outro tipo Pacovan, apresentaram tanto resistência a Foc raça 1, quanto características agrônômicas alinhadas com as demandas de mercado. Um novo híbrido do tipo Maçã, mostrou resistência a Foc1 e características agrônômicas superiores a cultivar BRS Princesa; genótipo competidor no mercado.

Palavras-chave: *Musa* spp., ganho de seleção, resistência genética, melhoramento.

Title: Agronomic characterization and identification of banana hybrids with Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 1) wilt resistance

Abstract: One of the main limiting factors to banana production is Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc). Since there is no effective chemical control, combined with integrated management, the development of resistant cultivars is the best promising approach. The objective of the present work was to challenge 23 banana diploid hybrids and seven tetraploids developed by Embrapa as to Fusarium wilt resistance in artificially infested area. Notes for the external symptoms were transformed into disease incidence index. The genotypes were characterized agronomically and the selection indexes used for identification of superior genotypes. After combined analysis of the selection indexes, three improved diploids with resistance to Foc race 1 and agronomic characteristics of interest, such as short height, more than 100 fruits per bunch and early cycle, were selected. A Prata-type and a Pacovan-type hybrid showed resistance to Foc race 1 as well as agronomical characteristics aligned with market demands. A new Silk-type hybrid resistant to Foc with agronomic characteristics superior to the BRS Princesa cultivar; the market competitor, was also identified.

Keywords: *Musa* sp., Selection gain, genetic resistance, breeding.

1.1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de banana em 2017 foi de aproximadamente 115 milhões de toneladas produzidas em 5,4 milhões de hectares (FAOSTAT, 2019). Em 2017 o Brasil colheu aproximadamente sete milhões de toneladas da fruta, cultivada em 517 mil hectares, ocupando a quarta posição no cenário mundial. Nesse mesmo ano, o valor bruto de produção da bananicultura brasileira foi superior a 11,6 bilhões de reais, correspondendo a 3,7% da riqueza gerada pelo setor agropecuário, ocupando a quinta posição, e acompanhada de importantes *commodities* como soja, milho, cana-de-açúcar e café, reforçando a sua importância para o agronegócio brasileiro (IBGE, 2019).

Entre os principais fatores limitantes à produção de banana, destaca-se a fusariose, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, considerada uma das mais destrutivas doenças que afeta a fruteira no mundo (PLOETZ, 2015). Os maiores danos causados por este patógeno foram relatados a partir de 1900, em especial afetando a bananicultura de exportação, representada pela cultivar Gros Michel. Atualmente, a murcha de Fusarium está dispersa pelas maiores regiões produtoras de banana do mundo (KOBBERLS et al., 2017). Especificamente no Brasil, a raça 1 é frequente nas principais regiões produtoras e tem causado sérios prejuízos à produção, em especial entre as cultivares do subgrupo Prata, a exemplo da Prata-Anã, Prata Catarina e Prata Gorutuba, que juntas ocupam em torno de 70% da área cultivada com banana no país (REBOUÇAS et al., 2018).

Além das 'Pratas', a banana Maçã também está sucumbindo ao patógeno, e torna-se cada vez mais rara nos mercados locais. Outra preocupação real trata-se da raça 4 tropical do patógeno, capaz de causar doença em cultivares do subgrupo Cavendish, base da bananicultura de exportação e resistente à murcha de Fusarium raça 1 (ZHENG et al., 2018). Cabe-se destacar que a raça 4 tropical não foi relatada no Brasil, sendo considerada uma praga quarentenária pelo Ministério da Agricultura e Pecuária brasileiro.

Considerando a inexistência de controle químico efetivo para a murcha de Fusarium, o componente genético, associado com o desenvolvimento de cultivares resistentes, manejo integrado e o controle biológico, mostra-se o caminho mais promissor e sustentável. Podemos usar a variedade Gros Michel como exemplo, pois a mesma foi substituída por variedades do subgrupo Cavendish nas fazendas

de exportação da América central e sul, sendo esta resistência durável até os dias atuais. Para o sucesso dessa estratégia, o desenvolvimento de diploides melhorados resistentes para uso em cruzamentos com cultivares comerciais suscetíveis é fundamental (GARCEZ et al., 2016; REBOUÇAS et al., 2018; SILVA et al., 2018). Para alcançar esse objetivo a avaliação de híbridos em áreas artificialmente infestadas com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* mostra-se promissora.

Nesse sentido, a Embrapa, no Brasil, possui uma área com esse perfil em uso há mais de 20 anos e que permitiu a identificação de cultivares resistentes que são utilizadas pelos agricultores brasileiros, a exemplo da BRS Platina (subgrupo Prata) e BRS Princesa (tipo Maçã) (REBOUÇAS et al., 2018).

O objetivo desse trabalho foi desafiar novos híbridos diploides e tetraploides de bananeira desenvolvidos pela Embrapa quanto a resistência à murcha de *Fusarium*, sob condições de campo, em área artificialmente infestada.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa, localizada em Cruz das Almas, Ba (12°40'19"S e 39°06'22"W', altitude de 220 m acima do nível do mar). O clima é designado como tropical quente e úmido, Aw a Am, de acordo com a classificação de Köppen, tendo temperatura média anual de 24,5 °C, umidade relativa de 80% e precipitação média de 1.250 mm anuais (AGRITEMPO, 2018). Trinta e dois híbridos, incluindo diploides melhorados, triploides e tetraploides e a cultivar 'Maçã', utilizada como testemunha foram avaliadas (Tabela 1).

A área experimental é mantida infestada com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raça 1, a partir de sucessivos cultivos de banana Maçã, altamente suscetível ao patógeno. Essa área apresenta elevada concentração de inoculo do patógeno, sendo utilizada rotineiramente pela Embrapa para a seleção de híbridos resistentes (MATOS et al., 2011; SILVA et al., 2011; REBOUÇAS et al., 2018).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 10 plantas por genótipo, em espaçamento 4 m x 2 m x 2 m e irrigado por microaspersão de acordo com as necessidades da cultura. Esse manejo evita estresses às plantas pelo déficit hídrico, considerando que o experimento foi conduzido em região com períodos de escassez de água.

Tabela 1. Híbridos de bananeira avaliadas quanto a resistência à murcha de Fusarium. Embrapa 2019.

Códigos	Genealogias
	Diploides melhorados
CNPMF0038	[(M53 x Madu)] x [(Malaccensis x Tjau Lagada)]
CNPMF0496	[(M61 x Pisang Lilin)] x [(Terrinha x Calcutta 4)]
CNPMF0513	[(M61 x Pisang Lilin)] x [(M53 x Kumburgh)]
CNPMF0519	Self-fertilization (wild diploid Tambi)
CNPMF0534	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Borneo x Guyod)]
CNPMF0536	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Borneo x Guyod)]
CNPMF0542	[(SH3263)] x [(Malaccensis x Sinwobogi)]
CNPMF0557	[(M61 x Pisang Lilin)] x [(Malaccensis x Tjau Lagada)]
CNPMF0565	[(Calcutta 4 x Pahang) x (Borneo x Madang)] x Khae
CNPMF0572	[(Khai x (Calcutta 4 x Madang)] x [(Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF0612	[(M53 x Madu) x Madu] x SH3263
CNPMF0731	[(Malaccensis x Madang)] x [(Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF0767	[(Malaccensis x Madang)] x [(Khai x (Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF0811	[(Khai x (Calcutta 4 x Madang)] x [(Calcutta 4 x Pahang) x (Borneo x Madang)]
CNPMF0978	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Terrinha x Calcutta 4)]
CNPMF0993	[(Borneo x Guyod) x (Tuugia x Calcutta 4)] x [(Khai x (Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF0998	[(Borneo x Guyod)] x [(Borneo x Guyod) x SH3263]
CNPMF1102	[(Jari Buaya x (Calcutta 4 x Madang)] x [(Borneo x Guyod) x (Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF1105	[(Borneo x Guyod) x (Calcutta 4 x Heva)] x [(Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF1171	[(Malaccensis x Madang)] x [(M53 x (Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF1272	[(Borneo x Guyod) x (Calcutta 4 x Heva)] x [(Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF1286	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Terrinha x Calcutta 4)]
CNPMF1323	[(Malaccensis x Sinwobogi)] x [(Calcutta 4 x Heva)]
Híbridos tetraploides	
CNPMF0241	[(Pacovan x diploide melhorado não identificado*)]
CNPMF0282	[(Pacovan x diploide melhorado não identificado*)]
CNPMF0351	[(Prata Anã x diploide melhorado da FHIA)]
CNPMF0897	[(Prata Anã)] x [(Malaccensis x Sinwobogi) x (Zebrina x Heva)]
CNPMF0898	[(Prata Anã)] x [(Malaccensis x Sinwobogi) x (Calcutta 4 x Galeo)]
CNPMF0906	[(Prata Santa Maria x diploide melhorado não identificado*)]
CNPMF0908	[(Maçã x diploide melhorado não identificado*)]
Testemunhas comerciais	
BRS Princesa	[(Yangambi nº 2 x M53)]
Grande Naine	-

Plantas da cultivar Maçã foram utilizadas como padrão de suscetibilidade e controle para a avaliação da doença. Quatro plantas de 'Maçã' foram plantadas ao redor de cada genótipo em teste para servir como um indicador da presença do patógeno (Figura Suplementar 1).

Severidade de murcha de *Fusarium*

A severidade e a colonização interna por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raça 1 (*Foc*) entre os híbridos foi mensurada no período onde as plantas apresentam maior expressão dos sintomas, coincidindo com o florescimento. Este estágio fenológico foi adotado como um dos padrões de avaliação para cada genótipo/planta, assim como a avaliação no momento da colheita do cacho.

As medidas associadas com os sintomas internos foram realizadas a partir do corte transversal do rizoma para a análise da descoloração vascular causada pela presença de *Foc*. Com base na escala proposta por Cordeiro et al. (1993) e citada por Rebouças et al. (2018), as plantas receberam as seguintes notas: (1) ausência de descoloração vascular, planta sadia; (2) pontos isolados de descoloração no câmbio vascular; (3) descoloração em 1/3 do câmbio vascular; (4) descoloração entre 1/3 e 2/3 do câmbio vascular; (5) descoloração acima de 2/3 do câmbio vascular; e (6) completa descoloração do câmbio vascular. Para os sintomas externos utilizou-se a escala propostas por Dita et al. (2014) (Figuras suplementares 2 e 3).

A escala de notas para os sintomas foi transformada para índice de doença (ID), baseada na fórmula descrita por Mckinney (1923):

$$ID = \left[\frac{\sum(\text{nota da doença} \times \text{número de plantas com a nota}) \times 100}{(\text{número de plantas avaliadas por genótipo} \times \text{maior nota adotada na escala})} \right]$$

A partir dos índices de doença calculados foram realizadas as análises de análise de componentes principais, elaboração de dendrograma com híbridos agrupados pelo método “factor maps”, e cluster por meio de heatmap. Essa última técnica produz uma interpretação gráfica onde os dados referentes a cada genótipo são representados por cores, sendo a verde associada com a resistência e a vermelha a suscetibilidade.

Os pacotes utilizados para as análises foram: *devtools* e *gplots*, ambos executados no programa R (R Core Development Team, 2016).

Visando dar maior segurança na seleção de híbridos resistentes, realizou-se o mapeamento da área experimental no que diz respeito à sua homogeneidade quanto à distribuição de *Foc*. Essa análise foi realizada a partir da coleta de 45 amostras de

solo distribuídas de forma aleatória na área experimental realizada durante a instalação do experimento e ao final do mesmo.

Mudas de bananeira Maçã foram plantadas em sacos plásticos de 18 x 28 cm utilizando cada amostra de solo coletado (45 no total), em casa de vegetação. Foram utilizadas 10 plantas da cultivar Maçã por amostra de solo em delineamento inteiramente casualizado, totalizando 450 plantas. Dois experimentos foram realizados, um com amostras coletadas na instalação do experimento e outro, com novas coletas de solo nos mesmos pontos, ao final do trabalho.

Para os dois experimentos, as avaliações foram iniciadas aos 24 dias após o plantio (d.a.p.), repetindo-se em intervalos de quatro dias, considerando a presença de sintomas externos, conforme escala descrita por Rebouças et al. (2018), como segue: (1) sem sintomas; (2) amarelecimento inicial de folhas velhas; (3) amarelecimento de folhas velhas e descoloração inicial de folhas jovens; (4) amarelecimento intenso de todas as folhas; e (5) plantas mortas. Foram realizadas 29 avaliações no total.

Aos 140 d.a.p. ou no momento da morte das plantas (escala 5) realizou-se o corte transversal do rizoma e avaliou-se os sintomas internos de Foc, a partir da escala de notas propostas por Dita et al. (2014): (1) ausência de descoloração do rizoma; (2) descoloração inicial na junção da raiz e rizoma até 5%; (3) descoloração do rizoma entre 6% e 25%; (4) descoloração do rizoma entre 26-50%; e (5) mais que 50% de descoloração do rizoma (Figura suplementar 3).

De posse desses dados foram estimados o índice de severidade da doença (ID) a partir das escalas de sintomas externos e internos, respectivamente, e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Foi realizada uma análise de áreas isópatas para a visualização do padrão geral das plantas sintomáticas, delineando-se os focos, a fonte primária de inóculo e a direção de disseminação da epidemia. A determinação das áreas isópatas foi realizada com o auxílio do aplicativo SigmaPlot (versão 11.0), por meio da matriz tridimensional (X, Y e Z). Neste caso, "x" e "y" correspondem à posição do quadrante dentro de cada área avaliada e "z" se refere aos valores da severidade da doença em cada quadrante. A partir das matrizes foi gerada a isópata de cada quadrante do experimento com suporte do método *Distance-Weighted Least Square*, utilizando-se o aplicativo supracitado.

Perfil agrônômico

Considerando que a seleção de híbridos superiores para uso no melhoramento não se limita à resistência à murcha de *Fusarium*, realizou-se a caracterização agrônômica dos mesmos com base nos seguintes parâmetros: número de dias do plantio à floração (NPF); número de dias do florescimento a colheita (NFC); número de dias do plantio à colheita (NPC); altura da planta (ALT, m), medida realizada da base do pseudocaule até a inserção da última folha; diâmetro do pseudocaule (DPC, cm), medida a 30 cm do solo com auxílio de um paquímetro; número de folhas na floração (NFF); número de filhos (NFI); número de folhas vivas na colheita (FVC); comprimento do engaço (CEN), medida acima da inserção da primeira penca com auxílio de uma trena; diâmetro do engaço (DEN), realizada com um paquímetro acima da inserção da primeira penca; número de pencas (NPE); número total de frutos no cacho (NTF); massa do cacho (MSC, kg), obtida a partir da pesagem das pencas do cacho e do engaço; massa das pencas (MSP, kg), obtida por meio da pesagem das pencas do cacho; comprimento do fruto da segunda penca (CFS, cm), medida realizada com fita métrica graduada; diâmetro do fruto da segunda penca (DFS), medida realizada com um paquímetro; comprimento do pedicelo (COP) e diâmetro do pedicelo (DIP).

A colheita do cacho foi conduzida quando a primeira penca atingiu a classe 2 de maturação (verde com traços amarelos e ausência de quinas) de acordo com a escala de notas proposta por Von Loesecke (1950). Para mensuração dos dados, foi utilizada a segunda penca de cada cacho. Após colhidos, os frutos foram encaminhados para Laboratório de Práticas Culturais da Embrapa.

De posse dos resultados testou-se a normalidade dos dados para, em seguida, proceder-se à análise de variância. O agrupamento dos híbridos foi realizado por meio do método de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade. Calculou-se ainda o índice de severidade da doença interna e externa e análise de componentes principais (PCA), utilizando-se os pacotes “Agricolae”, “ExpDes.pt”, “FactorMineR”, “Aggregate” e “Factorextra” do software estatístico R. Para o número ideal de clusters utilizou-se o pacote “NbClust” no programa estatístico R.

Foi realizada a análise de importância de caracteres visando selecionar aquelas variáveis que mais contribuem para a caracterização dos híbridos e

descarte das mais redundantes onde o seu valor absoluto não ultrapassou peso de 3,0%, a partir do critério de Singh (1981).

Considerando a quantidade de características agronômicas mensuradas, utilizou-se índices de seleção para a identificação dos híbridos com maior potencial de uso em cruzamentos, no caso dos diploides melhorados; e para uso comercial, entre os tetraploides. Foram utilizados os índices de Smith (1936) e Hazel (1943), Mulamba e Mock (1978), Pesek e Baker (1969) e o procedimento de genótipo-ideótipo descrito por Wricke e Weber (1986), através do aplicativo computacional em genética e estatística Genes (CRUZ et al., 2018).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seleção de híbridos resistentes foi realizada por meio de índices de severidade da doença, a partir de mensurações de sintomas externos (*IDe-%*) e internos (*IDi-%*), de acordo com escala de notas.

Entre os 23 diploides melhorados o *IDe* variou de 0,00% a 7,00%; para os tetraploides a amplitude de variação foi de 0,00% a 5,56%. A partir desses resultados conclui-se que todos os híbridos são resistentes a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raça 1 (Foc1). Por outro lado, considerando o *IDi*, quatro híbridos diploides foram classificados como moderadamente resistentes (CNPMF0513, CNPMF0767, CNPMF0038 e CNPMF1171), uma vez que a severidade da doença variou de 18,35% a 34,38%. Comportamento semelhante foi observado para os tetraploides, onde o *IDe* apresentou 0,00% de severidade da doença e o *IDi* variou de 0,00% a 2,38% (Tabela 2).

Desde os anos de 1982, a Embrapa desenvolve diploides melhorados a partir do cruzamento entre diferentes diploides selvagens (PEREIRA et al., 2012). Uma das características fundamentais para a seleção desses diploides superiores diz respeito à resistência à Foc1, uma vez que se trata de uma doença extremamente importante para os agricultores brasileiros, considerando a suscetibilidade das cultivares do subgrupo Prata, justificando a importância desse trabalho por possuírem híbridos diploides e tetraploides resistentes a citada doença (AMORIM et al., 2013).

Trabalhos relatam a resistência de diploides selvagens mantidos na coleção de germoplasma da Embrapa a Foc1, entre os quais Malaccensis, Tjau Lagada,

Calcutta 4, M61, M53, e Tuu Gia, os quais são parentais de alguns dos diploides melhorados avaliados em nosso experimento (Tabela 1) (MATOS et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011; RIBEIRO et al., 2018).

Tabela 2. Índice de severidade da doença externa (*IDe*, %), Índice de severidade da doença interna (*IDi*, %) e nível de resistência (NR) de híbridos de bananeira em condições de área artificialmente infestada com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cabense* raça 1. Embrapa 2019.

Híbridos	<i>IDe</i> %	NR	<i>IDi</i> %	NR
Híbridos diploides				
CNPMF0557	0,00	R	2,50	R
CNPMF0496	2,22	R	2,22	R
CNPMF0513	6,25	R	18,35	MR
CNPMF0519	0,00	R	2,50	R
CNPMF0536	0,00	R	0,00	R
CNPMF0534	0,00	R	0,00	R
CNPMF0542	0,00	R	2,00	R
CNPMF0565	0,00	R	0,00	R
CNPMF0572	0,00	R	0,00	R
CNPMF0612	0,00	R	0,00	R
CNPMF0731	0,00	R	0,00	R
CNPMF0767	3,13	R	34,38	MR
CNPMF0811	0,00	R	0,00	R
CNPMF0038	0,00	R	27,50	MR
CNPMF1102	0,00	R	0,00	R
CNPMF1171	7,00	R	19,85	MR
CNPMF0993	0,00	R	0,00	R
CNPMF1323	0,00	R	0,00	R
CNPMF1105	0,00	R	0,00	R
CNPMF0998	0,00	R	0,00	R
CNPMF0978	0,00	R	0,00	R
CNPMF1272	0,00	R	0,00	R
CNPMF1286	0,00	R	0,00	R
Híbridos tetraploides				
CNPMF0898	0,00	R	0,00	R
CNPMF0241	0,00	R	2,38	R
CNPMF0282	0,00	R	2,38	R
CNPMF0351	0,00	R	0,00	R
CNPMF0897	0,00	R	0,00	R
CNPMF0906	0,00	R	0,00	R
CNPMF0908	0,00	R	0,00	R
BRS Princesa	5,56	R	13,89	MR
Grande Naine	0,00	R	0,00	R
Maçã	93,01	S	94,59	S

R: Resistente; MR: moderadamente resistente; S: suscetível.

Zuo et al. (2018) identificaram fontes de resistência à raça 4 tropical de Foc, doença que tem causado sérios prejuízos à produção de banana de exportação na Ásia e África e não relatada no Brasil até Abril de 2019. O destaque é para Pahang, Calcutta 4, Tuu Gia, Pisang Lilin e Borneo; todos parentais de alguns diploides melhorados desenvolvidos pela Embrapa, permitindo-se inferir pela possibilidade da resistência de alguns dos híbridos à referida raça. Esta informação precisa ser validada em condições de campo em região endêmica da doença ou mesmo com o uso de marcadores moleculares associados a alelos de resistência.

Sete híbridos tetraploides foram considerados resistentes à Foc1 a partir das estimativas de *IDe* e *IDi* (Tabela 2). Quatro desses híbridos pertencem ao subgrupo Prata (CNPMF0351, CNPMF0897, CNPMF0898 e CNPMF0906); dois são do tipo Pacovan (variação de Prata com porte alto e frutos mais alongados); e um trata-se de híbrido do tipo Maçã (CNPMF0908). Para o desenvolvimento desses híbridos foram realizados cruzamentos dirigidos com diploides melhorados ou onde o parental masculino não foi identificado (cruzamentos abertos). Esses híbridos têm potencial para recomendação aos agricultores brasileiros, desde que apresentem características agrônômicas, perfil sensorial alinhados com as demandas de mercado e após serem feitas as análises de adaptabilidade e estabilidade através de estudos da interação genótipo x ambiente. Todos os híbridos tetraploides lançados pela Embrapa em uso pelos agricultores brasileiros como a BRS Caprichosa, BRS Garantida, BRS Japira, BRS Pacovan Ken, BRS Preciosa, BRS Princesa, BRS Tropical, BRS Vitória, BRS Pioneira, BRS Platina e BRS Pacoua, passaram pela mesma área experimental para testar a resposta à infecção por Foc1 (REBOUÇAS et al., 2018).

Silva et al. (2012), utilizando a mesma área artificialmente infestada com Foc1, avaliaram sete diploides melhorados desenvolvidos pela Embrapa em relação à intensidade dos sintomas internos da doença. Os autores observaram que todos os diploides apresentaram resistência à murcha de Fusarium raça 1, fato que também ocorreu no presente trabalho, dando maior confiabilidade aos dados obtidos.

As cultivares Grande Naine, BRS Princesa e Maçã, como esperado, apresentaram comportamento condizente com o perfil de resistência ou suscetibilidade conhecidos, reforçando a acurácia dos dados obtidos. A cultivar BRS

Princesa só apresentou sintomas da doença ao final do seu ciclo de produção, sendo classificada como um material moderadamente resistente. Costa et al. (2015) e Ribeiro et al. (2018) avaliaram o comportamento da BRS Princesa quando expostos à Foc1 em condições de casa de vegetação e relataram que o genótipo apresenta alto grau de resistência, uma vez que os primeiros sintomas da doença se manifestavam somente quando as plantas foram submetidas a altas concentrações do inóculo.

O *heat map* permite concluir que o *IDI* é um parâmetro mais robusto e eficiente para discriminar híbridos de bananeira no que diz respeito à resistência ou suscetibilidade à Foc1; além de ser mais fácil sua compreensão visual como forma de interpretação dos resultados (Figura 1). Nossos resultados corroboram com Rebouças et al. (2018), que utilizaram a mesma ferramenta para selecionar genótipos resistentes a Foc1. De acordo com os autores, o *heat map* tem a vantagem de permitir que os híbridos de interesse sejam visualmente selecionados com base em uma escala de cores e progressão dos valores dos sintomas, onde quanto mais verde claro a cor do *heat map*, mais resistente é o híbrido e quanto mais avermelhado, mais suscetível.

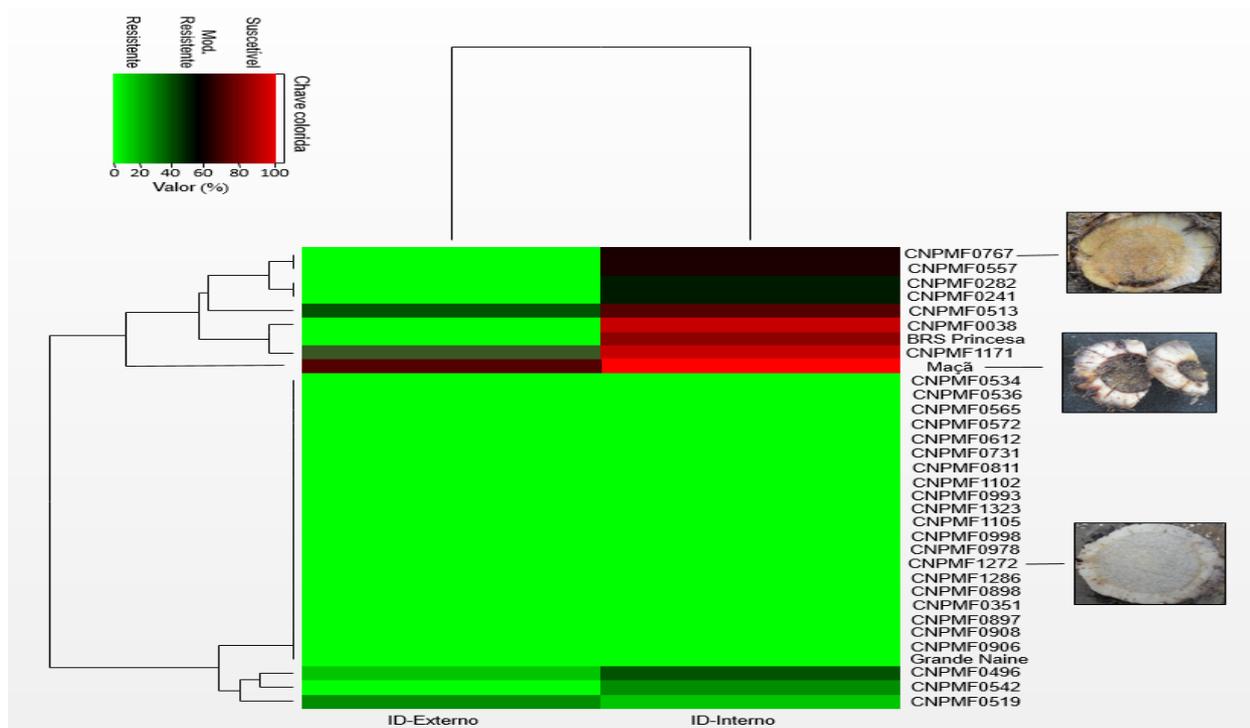


Figura 1. Análise hierárquica de agrupamentos do nível de resistência de 33 híbridos de bananeira a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raça 1. ID-Externo: índice de severidade doença externa; ID- Interno: índice de severidade doença interna. Embrapa 2019.

A falta de controle sobre a distribuição do patógeno no solo, assim como condições adversas de clima que desfavoreçam o aparecimento da doença, podem ser motivos de escape, podendo levar a conclusões equivocadas quanto a resistência ou suscetibilidade à Foc1. Como análise suplementar visando aumentar a segurança na seleção de híbridos resistentes, 45 amostras de solo da área foram coletadas no momento da implantação do experimento e ao final do mesmo. Essas amostras foram utilizadas como substrato para o desenvolvimento de mudas da cultivar Maçã em condições de casa de vegetação, a partir de dois experimentos. A análise conjunta, considerando os parâmetros *IDi* e *IDe*, foi utilizada para a elaboração de áreas isopatas, permitindo-se inferir que a distribuição espacial do inóculo de Foc1 na área, é homogênea (Figura Suplementar 1).

Apesar da seleção de híbridos resistentes a Foc1 ser o alvo prioritário desse trabalho, apenas o comportamento *per se*, não é adequado para a identificação de híbridos superiores. Nesse sentido, fez-se a caracterização agrônômica, a partir da mensuração de 18 parâmetros, considerando dois grupos distintos de plantas devido ao seu uso proposto, a saber: diploides melhorados para cruzamentos e tetraploides para uso comercial.

Para os diploides melhorados, excetuando-se NFF, CEN e NPE, todas as variáveis foram significativas; inferindo-se pela presença de variação genética entre os híbridos, fato que permite a seleção dos mais promissores para uso em cruzamentos com cultivares comerciais. O mesmo comportamento foi observado entre os tetraploides, existindo a possibilidade de seleção para potencial uso comercial (Tabelas Suplementares 1 e 2).

Considerando a quantidade de variáveis mensuradas, realizou-se a análise de importância relativa das características agrônômicas para a identificação daquelas que mais contribuem para a variação observada entre os híbridos. Para tanto, adotou-se o critério de Singh (1981) para o descarte de variáveis menos informativas, considerando-se como ponto de corte valores inferiores a 3,0%.

Para o conjunto diploide, foram selecionadas as características ALT, NFF, NTF, MSC, MSP, CFS e COP; acrescentando-se também NFC e NFI, pois são características importantes para o melhoramento desse grupo. Para os tetraploides DPC, NTF, MSC, MSP e DFS, foram selecionadas, agregando-se NPF, ALT e NFC, pelos mesmos motivos indicados para os diploides. Independente da ploidia dos

híbridos, as variáveis de produção foram aquelas que mais contribuíram para a variação fenotípica observada no experimento (Tabela 3).

Tabela 3. Importância relativa de 18 caracteres agrônômicos de 32 híbridos diploides e tetraploides de bananeira, segundo o critério de Singh (1981). Embrapa 2019.

Diploides			Tetraploides		
Características	S.J ¹	S.J (%) ¹	Características	S.J ¹	S.J (%) ¹
NPF	98,37	0,76	NPF	188,03	2,20
NFC	331,51	2,58	NFC	70,58	0,83
NPC	93,58	0,73	NPC	202,12	2,37
ALT	654,88	5,09	ALT	239,99	2,81
DPC	152,82	1,19	DPC	320,98	3,76
NFF	390,46	3,03	NFF	37,29	0,44
NFI	314,11	2,44	NFI	59,36	0,70
FVC	361,18	2,81	FVC	50,21	0,59
CEN	362,27	2,82	CEN	159,77	1,87
DEN	143,15	1,11	DEN	21,85	0,26
NPE	309,97	2,41	NPE	7,05	0,08
NTF	2134,72	16,59	NTF	347,94	4,08
MSC	4522,74	35,14	MSC	4918,99	57,67
MSP	1104,24	9,54	MSP	1160,25	13,68
CFS	1159,88	9,01	CFS	211,88	2,48
DFS	150,54	1,17	DFS	378,65	4,44
COP	457,25	3,55	COP	58,98	0,69
DIP	127,54	0,99	DIP	95,70	1,12

S.j: contribuição de cada variável para o valor da distância Euclidiana Média entre os genótipos; número de dias do plantio à floração (npf); número de dias da floração à colheita (nfc); número de dias do plantio à colheita (npc); altura de planta (alt - m); diâmetro do pseudocaule (dpc - cm); número de folhas vivas na floração (nff); número de folhas vivas na colheita (fvc); número de filhos por planta (nfi); comprimento do engaço (cen - cm); diâmetro do engaço (den - cm); número de pencas (npe); número de frutos por cacho (ntf); massa do cacho (msc - kg); massa da segunda penca (msp - kg); comprimento dos frutos da segunda penca (cfs - cm); diâmetro de dois frutos da segunda penca (dfs - cm); comprimento do pedicelo de dois frutos da segunda penca (cop - cm); diâmetro do pedicelo de dois frutos da segunda penca (dip - cm).

Os caracteres que mais contribuíram para a seleção foram aqueles ligados a produção (MSC e MSP), e a altura da planta (5,09%) para os diploides e MSC, MSP, DFS e NTF para os híbridos tetraploides. Quanto ao ciclo da planta, esse conjunto se apresentaram como os de menor importância para a contribuição da seleção de híbridos diploides e tetraploides, de acordo com o critério de Singh.

A seleção de características com real influência na discriminação entre genótipos de banana é alvo de estudo de diversos autores. Pereira et al. (2012) utilizaram o método para selecionar variáveis capazes de discriminar diploides melhorados; Brandão et al., (2013) eliminaram 20 dos 27 descritores quantitativos utilizados na caracterização de acessos de bananeira e Roque et al. (2014) descartaram aproximadamente 70% das características agronômicas utilizadas para a fenotipagem de cultivares de bananeira.

Considerando as variáveis selecionadas, a partir do procedimento de Singh (1981) na Tabela 3, procedeu-se às estimativas de quatro índices de seleção como critério para a escolha dos melhores híbridos dentro de cada ploidia. Percebe-se ganhos de seleção significativos para as características selecionadas entre os índices utilizados, em especial para as variáveis de produção (Tabela 4).

Tabela 4. Biometria da herdabilidade e ganho por seleção por meio de quatro índices univariados diretos e indiretos entre híbridos diploides e tetraploides de bananeira. Embrapa 2019.

Híbridos diploides											
Smith e Hazel (SH)			Mulamba e Mock (MM)			Pesek e Baker (PB)			Genótipo-Ideótipo (GI)		
Características	h ² (%)	GS (%)	Características	h ² (%)	GS (%)	Características	h ² (%)	GS (%)	Características	h ² (%)	GS (%)
NFC	61,19	18,09	NFC	61,19	5,96	NFC	61,19	-2,96	NFC	61,19	1,05
NFF	69,55	16,23	NFF	69,55	11,26	NFF	69,55	7,63	NFF	69,55	7,00
ALT	62,99	19,78	ALT	62,99	13,17	ALT	62,99	7,21	ALT	62,99	-1,09
NFI	80,95	-4,19	NFI	80,95	4,30	NFI	80,95	8,11	NFI	80,95	10,25
NTF	93,08	23,06	NTF	93,08	53,39	NTF	93,08	2,97	NTF	93,08	0,97
MSC	97,51	61,97	MSC	97,51	53,51	MSC	97,51	21,13	MSC	97,51	20,21
MSP	97,55	34,35	MSP	97,55	58,50	MSP	97,55	22,36	MSP	97,55	20,45
CFS	90,12	40,10	CFS	90,12	21,97	CFS	90,12	4,58	CFS	90,12	3,12
COP	78,39	26,90	COP	78,39	12,02	COP	78,39	-6,48	COP	78,39	1,26
Ganho Total		235,90	Ganho Total		233,78	Ganho Total		64,55	Ganho Total		73,78

Híbridos tetraploides e cultivar triploide											
Smith e Hazel (SH)			Mulamba e Mock (MM)			Pesek e Baker (PB)			Genótipo-Ideótipo (GI)		
Características	h ² (%)	GS (%)	Características	h ² (%)	GS (%)	Características	h ² (%)	GS (%)	Características	h ² (%)	GS (%)
NPF	63,68	8,89	NPF	63,68	7,68	NPF	63,68	3,89	NPF	63,68	-1,25
NFC	63,17	2,22	NFC	63,17	-5,84	NFC	63,17	1,15	NFC	63,17	2,58
ALT	96,16	17,00	ALT	96,16	17,00	ALT	96,16	23,90	ALT	96,16	20,24
DPC	64,89	1,00	DPC	64,89	1,00	DPC	64,89	-10,63	DPC	64,89	17,59
NTF	95,58	11,00	NTF	95,58	11,00	NTF	95,58	-2,27	NTF	95,58	0,55
MSC	99,27	43,25	MSC	99,27	43,25	MSC	99,27	43,20	MSC	99,27	3,36
MSP	99,09	42,97	MSP	99,09	46,51	MSP	99,09	41,41	MSP	99,09	26,16
DFS	96,86	18,99	DFS	96,86	18,99	DFS	96,86	13,94	DFS	96,86	26,14
Ganho Total		123,32	Ganho Total		112,13	Ganho Total		114,59	Ganho Total		95,37

h² - herdabilidade; GS - ganho por seleção; NFC - número de dias da floração a colheita; NFF - número de folhas vivas na floração; ALT - altura da planta; NFI - número de filhos por planta; NTF - número de frutos por cacho; MSC - massa do cacho; MSP - massa das pencas; CFS - comprimento dos frutos da segunda penca; COP - comprimento do pedicelo; NPF - número de dias do plantio ao florescimento; DPC - diâmetro do pseudocaule; DFS - diâmetro dos frutos da segunda penca.

O índice de Smith e Hazel (SH) foi aquele que, em geral, estimou melhores ganhos de seleção por característica, seguido por Mulamba e Mock (MM). Para algumas características, a exemplo de NFI (conjunto diploide – primeiro índice), NFC (conjunto tetraploide – segundo índice), os índices não permitiram ganhos de seleção. O mesmo foi observado para Pesek e Baker (PB) para NFC e COP (diploides) e DPC e NTF (tetraploides).

O índice genótipo-ideótipo (GI) mostrou os menores ganhos de seleção entre os utilizados, muito provavelmente por ser estimado a partir da definição de valores pré-definidos para cada característica alvo da seleção. Este índice fixa valores ideais para cada característica agrônômica, criando desse modo, um genótipo ideal, ou ideótipo, que pode, inclusive, não existir na população. A partir desse ideótipo, obtém-se a diferença entre a média de cada característica e o valor atribuído ao ideótipo, calculando-se, para cada genótipo, uma distância em relação a esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice.

Na Tabela 5 está apresentado o ranqueamento dos híbridos com base em cada um dos quatro índices de seleção utilizados. Os híbridos diploides selecionados a partir da comparação entre os índices na sequência de importância, foram: CNPMF1323, CNPMF0612 e CNPMF0534. Esses híbridos ranquearam nas quatro primeiras posições nos índices MM, PB e GI e entre os dez melhores para SH. Todos possuem altura de planta inferior a 2,0 m, número total de frutos superior a 100 e número de folhas vivas na floração superior a 8,0, entre outras características agrônômicas de interesse para uso em cruzamentos (dados não apresentados). Todos os três diploides selecionados são classificados como de segunda geração, uma vez que são produto do cruzamento entre diploides melhorados desenvolvidos pela Embrapa (Tabela 1).

Em se tratando dos híbridos tetraploides, três tipos foram avaliados: Prata, Pacovan e Maçã. Os híbridos CNPMF0241 (Pacovan) e CNPMF0906 (Prata) foram os com melhor ranqueamento; CNPMF0908 (Maçã) ranqueou ao lado de BRS Princesa, que é um híbrido comercial do tipo Maçã (Tabela 5), destacando-se no que diz respeito a menor altura de planta (<2,0 m) e maior número de frutos e peso do cacho em comparação ao seu concorrente comercial (dados não apresentados).

Na Figura suplementar 4 está apresentada a localização na área experimental de cada uma das 10 repetições de cada um dos seis híbridos selecionados. Nela é

possível observar que as repetições foram aleatórias e localizaram-se em áreas de maior ou menor presença de *Foc1*, indicando que a seleção com base na média de *IDe* e *IDi* obtida por híbrido, foi realizada sem viés amostral.

Tabela 5. Ranqueamento de híbridos diploides e tetraploides de bananeira com base em quatro índices de seleção, estabelecidas a partir de características agrônômicas avaliadas. Embrapa 2019.

Posição	Índices de Seleção			
	Smith e Hazel	Mulamba e Mock	Pesek e Baker	Genótipo-Ideótipo
Híbridos diploides				
1	CNPMF0038	CNPMF0612	CNPMF1323	CNPMF0612
2	CNPMF1105	CNPMF1323	CNPMF0612	CNPMF1323
3	CNPMF1323	CNPMF0534	CNPMF0534	CNPMF1286
4	CNPMF0557	CNPMF1286	CNPMF0519	CNPMF0534
5	CNPMF0993	CNPMF0557	CNPMF1286	CNPMF1105
6	CNPMF0978	CNPMF0993	CNPMF0572	CNPMF0993
7	CNPMF0536	CNPMF1105	CNPMF0767	CNPMF0542
8	CNPMF0565	CNPMF0542	CNPMF0811	CNPMF1102
9	CNPMF0612	CNPMF0038	CNPMF0565	CNPMF0557
10	CNPMF0534	CNPMF0496	CNPMF0496	CNPMF0572
11	CNPMF1286	CNPMF0731	CNPMF0993	CNPMF0978
12	CNPMF0542	CNPMF1102	CNPMF0731	CNPMF0536
13	CNPMF0572	CNPMF0513	CNPMF0557	CNPMF1272
14	CNPMF0731	CNPMF0536	CNPMF1171	CNPMF0731
15	CNPMF1272	CNPMF0767	CNPMF0998	CNPMF0998
16	CNPMF0811	CNPMF0572	CNPMF1105	CNPMF0496
17	CNPMF0513	CNPMF1171	CNPMF1272	CNPMF1171
18	CNPMF0767	CNPMF1272	CNPMF0978	CNPMF0038
19	CNPMF0998	CNPMF0519	CNPMF1102	CNPMF0565
20	CNPMF1171	CNPMF0998	CNPMF0038	CNPMF0519
21	CNPMF0519	CNPMF0565	CNPMF0536	CNPMF0811
22	CNPMF0496	CNPMF0811	CNPMF0542	CNPMF0767
23	CNPMF1102	CNPMF0978	CNPMF0513	CNPMF0513
Híbridos tetraploides e cultivar triploide*				
1	CNPMF0241	CNPMF0241	CNPMF0906	CNPMF0897
2	CNPMF0906	CNPMF0897	BRS Princesa	CNPMF0906
3	CNPMF0351	CNPMF0282	CNPMF0241	CNPMF0282
4	CNPMF0897	BRS Princesa	CNPMF0908	Grande Naine*
5	CNPMF0908	CNPMF0906	CNPMF0282	CNPMF0898
6	CNPMF0898	CNPMF0898	Grande Naine*	CNPMF0351
7	CNPMF0282	CNPMF0351	CNPMF0898	CNPMF0908
8	BRS Princesa	CNPMF0908	CNPMF0897	BRS Princesa
9	Grande Naine*	Grande Naine*	CNPMF0351	CNPMF0241

*cultivar comercial

A utilização de seleção por meio de índices se torna uma técnica promissora para o melhoramento genético de plantas, contudo, o melhorista deve ter o bom senso para selecionar aqueles que melhor se adequa a sua metodologia de estudo, permitindo selecionar os caracteres mais importantes, minimizando erros que podem gerar resultados insatisfatórios (LESSA et al., 2010). Os índices de seleção são rotineiramente utilizados em programas de melhoramento visando a seleção de genótipos superiores considerando múltiplas características simultaneamente (KANG, 2015). Nesse sentido, inúmeros trabalhos foram desenvolvidos com mostarda (Surinder et al., 2019), milho pipoca (Vieira et al., 2016), cana de açúcar (Tahir et al., 2014); eucalipto (Sanhueza et al., 2002) e banana (Swain et al., 2017).

O trabalho aqui apresentado é o primeiro que faz uso de índices de seleção para a identificação de híbridos de bananeira com potencial para uso em cruzamentos ou mesmo para uso comercial. Um único trabalho na literatura utilizou índices de seleção em banana, mas os autores utilizaram o índice para ranquear genótipos já desenvolvidos e em uso no melhoramento genético de *Musa* spp. (LESSA et al., 2010).

Os diploides melhorados selecionados têm potencial de uso em cruzamentos com cultivares comerciais suscetíveis a Foc1 visando desenvolver novas cultivares com resistência genética e características agrônômicas alinhadas com as demandas de mercado. Em se tratando dos híbridos tetraploides destacados, esses, após avaliação em áreas de produtores e testes de aceitação sensorial, têm potencial para uso pelos agricultores brasileiros.

1.4 CONCLUSÕES

A maioria dos híbridos diploides desenvolvidos pela Embrapa são resistentes a murcha de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raça 1), fato que permite a seleção dos mais promissores, a partir da mensuração de um *set* de características agrônômicas. Nesse mesmo sentido, os híbridos tetraploides desenvolvidos também se comportam como resistentes a referida doença.

A partir da análise conjunta de quatro índices de seleção, três diploides melhorados (CNPMF1323, CNPMF0612 e CNPMF0534) tem potencial de uso em cruzamentos, por apresentarem resistência genética a Foc1 e características

agronômicas de interesse, tais como porte baixo, mais de 100 frutos por cacho e ciclo precoce.

Um híbrido do tipo Prata (CNPMF0906) e outro de Pacovan (CNPMF0241) mostram resistência a Foc1, ao mesmo tempo em que possuem características agronômicas alinhadas com as demandas de mercado. Esses híbridos, após ensaios em rede e análises de aceitação comercial, têm potencial para uso pelos agricultores brasileiros.

O híbrido do tipo Maçã (CNPMF0908) avaliado mostra resistência a Foc1 e características agronômicas superiores a cultivar BRS Princesa, genótipo competidor no mercado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Embrapa Mandioca e Fruticultura e a Fundação Bill e Melinda Gates pelo suporte financeiro à execução desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO. **Agritempo**: sistema de monitoramento agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario>>. Acesso em: 06 de dezembro, 2018.
- AMORIM, E.P.; SANTOS-SEREJO, J.A.; AMORIM, V.B.O.; FERREIRA, C.F.; SILVA, S. Banana breeding at Embrapa Cassava and Fruits. **Acta Horticulturae**, v.986, p.171-176, 2013.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.18>
- BRANDÃO, L. P.; SOUZA, C. P. F.; PEREIRA, V. M. SILVA S. de O.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos. LEDO, C. A. da S. AMORIM, E. P. Descriptor selection for banana accessions based on univariate and multivariate analysis. **Genetics and Molecular Research**, v.12, n.2, p.1603-1620, 2013.
<http://dx.doi.org/10.4238/2013.May.14.1>
- CORDEIRO, Z. J. M.; SHEPHERD, K.; SOARES FILHO, W. S.; DANTAS, J. L. L. Avaliação de resistência ao mal-do-panamá em híbridos tetraploides de bananeira. **Fitopatologia Brasileira**, v.18 n.4, p.478-483, 1993.
- COSTA, S. N.; BRAGANÇA, C. A. D.; RIBEIRO, L. R.; AMORIM, E. P.; SILVA, S. de O.; DITA, M.; LARANJEIRA, F. F.; HADDAD, F. Genetic structure of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* in different regions from Brazil. **Plant Pathology**, v.64, n.1, p.137-146, 2015.
<https://doi.org/10.1111/ppa.12242>
- CRUZ, C. D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG), p.382, 2018.
- DITA, M. A.; PÉREZ VICENTE, L.; DE LA PARTE; E. MARTINEZ, 2014. Inoculation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* causal agent of *fusarium* wilt in banana. In: Pérez Vicente, L., Dita, M.A., de la Parte, E. Martinez (Eds.), Technical Manual: Prevention and Diagnostic of *Fusarium* Wilt of Banana Caused by *Fusarium Oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 (TR4). **Food and Agriculture Organization of the United Nations** p.74.
- FAOSTAT. **Food and Agricultural Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E> Acesso em: 10 de Janeiro, 2019.
- GARCEZ, M.; MARTINS, J. A. S.; RODRIGUES, E. J. R. Evaluation of different banana genotypes for resistance to Panama disease. **Bioscience Journal**, v.32, n.2, p.431-435, 2016.
<https://doi.org/10.14393/BJ-v32n2a2016-29818>
- HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476-490, 1943.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. LSPA, **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. 2015. Disponível em: <

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201212.pdf>. Acesso em Janeiro de 2019.

KANG, M. S. Efficient SAS Programs for Computing Path Coefficients and Index Weights for Selection Indices. **Journal Crop Improvement**, v.29, n.1, p.6-22, 2015. <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.959628>

KOBERLS, M.; DITA, M.; MARTINUZ, A.; STAVAR, C.; BERG, G. Members of Gammaproteobacteria as indicator species of healthy banana plants on *Fusarium* wilt infested fields in Central America. **Science Report**, v.27, n.7:45318, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep45318>

LESSA, L. S.; LEDO, C. A. da S.; SANTOS, V. S.; SILVA, S. de O.; PEIXOTO, C. P. Seleção de híbridos diploides (aa) de bananeira com base em três índices não paramétricos. **Bragantia**, v.69, n.3, p.525-534, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000300003>

MATOS, A. P.; CORDEIRO, Z. J. M.; SILVA, S. de O.; AMORIM, E. P.; FERREIRA, D. M. V.; 2011. Reaction of diploid (AA) tetraploid (AAAB) banana hybrids to *Fusarium* wilt under field conditions. **Acta Horticulturae**, v.897, p.387-390, 2011. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.897.53>

MCKINNEY, H. H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v.26, n.5, p.195-217, 1923.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the eto blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, n.1, p.40-51, 1978.

PEREIRA, V. M.; BORGES, C. V.; BRANDÃO, L. P.; OLIVEIRA, L. S.; SOUZA, C. P. F.; GONÇALVES, Z. S.; SILVA, S. de O.; SANTOS-SEREJO, J. A.; FERREIRA, C. F.; AMORIM, E. P.; LEDO, C. A. da S. Genetic diversity between improved banana diploids using canonical variables and the Ward-MLM Methods. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p.1480-1488, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000010>

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selection indices. **Canadian Journal of Plant Sciences**, v.49, n.6, p.803-804, 1969. <https://doi.org/10.4141/cjps69-137>

PLOETZ, R. C. (2015). Management of *Fusarium* wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. **Crop Protection**, v.73, n.12, p.7-15, 2015. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>

R Core Development Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.12.1. ISBN 3-900051-07-0. **R Foundation for Statistical Computing**, Viena, Austria.

- REBOUÇAS, T. A.; HADDAD, F.; FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA, S. A. S. de; LEDO, C. A. da S.; AMORIM, E. P. Identification of banana genotypes resistant to *Fusarium* wilt race 1 under field and greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v.239, p.308-313. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.037>
- RIBEIRO, L. R.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, S. A. S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A.; HADDAD, F. Sources of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense in banana germplasm. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.40, n.1, p.1-8, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018202>
- RIBEIRO, L. R.; AMORIM, E. P.; CORDEIRO, Z. J. M.; SILVA, S. O.; RODRIGUES, M. A. D.; 2011. Discrimination of banana genotypes for *Fusarium* wilt resistance in the greenhouse. **Acta Horticulturae**, v.40, p.381-385, 2011. <https://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2011.897.52>
- ROQUE, R. L.; AMORIM, T. B.; FERREIRA, C. F.; LEDO, C. A. S.; AMORIM, E. P. Desempenho agrônômico de genótipos de bananeira no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36 n.3, p.598-609, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-361/13>
- SANHUEZA, R. P.; WHITE, T. L.; HUBER, D. A.; GRIFFIN, A. R. Genetic Parameter Estimates, Selection Indices and Predicted Genetic Gains from Selection of Eucalyptus Globulus in Chile. **Forest Genetics**, v.9, n.2, p.19-29, 2002.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, n.3, p.507-512, 1974. <https://doi.org/10.2307/2529204>
- SILVA, S. de O et al.; Estratégias para o melhoramento de triploides e tetraploides In: Bruckner C. H. et al. **Melhoramento de Fruteiras Tropicais**. Ed.2 Editora UFV, Viçosa/ Minas Gerais, 2018. p.151-158.
- SILVA, S. de O.; MATOS, A. P.; CORDEIRO, Z. J. M.; AMORIM, E. P.; LIMA, M. J. C. Avaliação de diploides de bananeira em área artificialmente infestada pelo mal-do-Panamá. **Magistra**, v.24, p.210-216, 2012.
- SILVA, S. de O.; CORDEIRO, Z. J. M. **Recomendações técnicas sobre a Sigatoka-negra da bananeira**. Variedades de banana resistentes a Sigatoka-negra. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.107, 2011.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, v.41, p.237-245, 1981.
- SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals Eugenics**, v.7, n.3, p.240-250, 1936. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>

SURINDER K.; SANDHU, M.; KANG, S.; MUHANAD W. A.; SINGH. Selection indices for improving selection efficiency in Indian mustard. **Journal of Crop Improvement**, v.3, n.1, p.25-41, 2019.
<https://doi.org/10.1080/15427528.2018.1539689>

SWAIN, S.; MUNNIS, P. S.; DAS, S.; LENKA, P. C. Selection of the parental combinations through multivariate analysis in dessert banana genotypes for hybridization programme. **International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology**, v.10, n.1, p.73-87, 2017.
<https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00002.X>

SYSTAT, software Inc.-SSI. **SigmaPlot for Windows, versão 11.0. 2008**. Disponível em: <https://www.systat.com/produts/sigmaplot/>. Acesso em: novembro de 2018.

TAHIR, M.; IFTIKHAR, H. K., PER H. M.; BARRY, G. Character Association and Selection Indices in Sugarcane. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.4, n.3, p.336-348, 2014.
<https://dx.doi.org/10.9734/AJEA/2014/6086>

VIEIRA, R. A.; R. ROCHA, C. A.; SCAPIM, A. T.; AMARAL, M. V. Selection Index Based on the Relative Importance of Traits and Possibilities in Breeding Popcorn. **Genetics and Molecular Research**, v.15, n.2, p.1-10, 2016.
<http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15027719>

WRICKE, G. & WEBER, W. E. Quantitative genetics and selection in plant breeding. New York, **Walter de Gruyter**, v.31, n.3, p.314-315, 1986.

ZHENG, S. J.; GARCÍA-BASTIDAS, F. A.; LI, X. D.; ZENG, L., BAI, T. T.; XU, S. T.; YIN, K. S.; LI, H. X. X.; FU, G.; YU, Y.C.; YANG, L.; NGUYEN, H.C.; DOUANGBOUPHA, B.; KHAING, A. A.; DRENTH, A.; SEIDL, M. F.; MEIJER, H. G. J.; KEMA, G. H. J. New incursions of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical Race 4 across the Greater Mekong Subregion. **Frontier in Plant Science**, v.4, n.5, p.208-218, 2018. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-17-1197-PDN>

ZUO, C.; DENG, G.; LI, B.; HUO, H.; LI, C.; HU, C.; KUANG, R.; YANG, Q.; DONG, T.; SHENG, O.; YI, G. Germplasm screening of *Musa* spp. for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (Foc TR4). **European Journal Plant Pathology**, v.151, n.3, p.723-734, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1406-3>

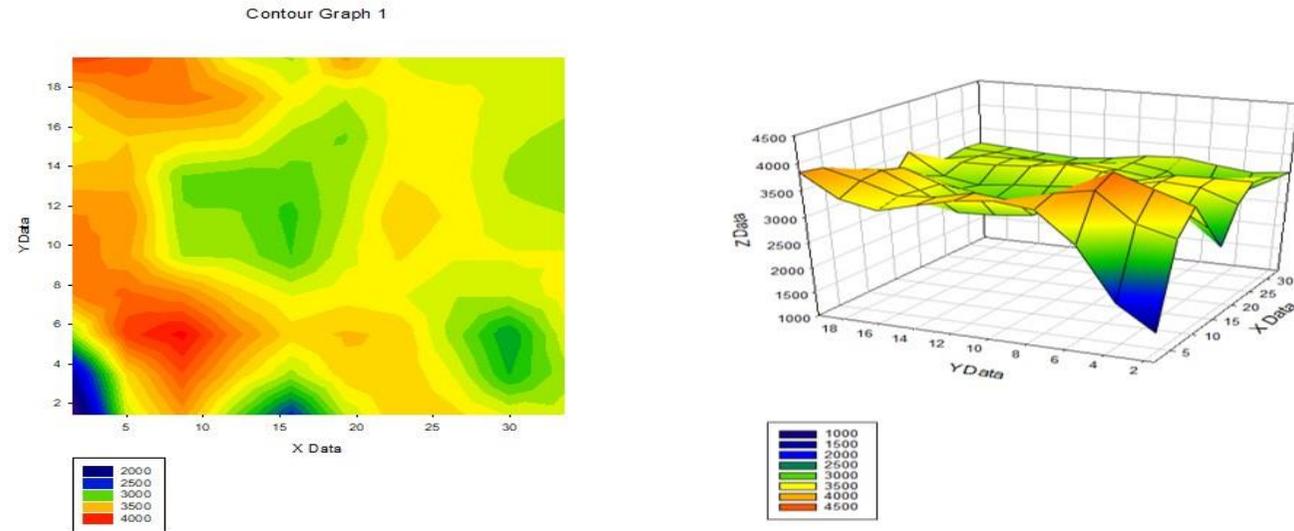


Figura suplementar 1. Áreas isópatas do *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raça 1 na cultivar Maçã em casa de vegetação considerando 45 pontos de coleta de solo. Embrapa 2019.

Tabela suplementar 1. Resumo da análise de variância com o teste F, coeficiente de variação, máximo, mínimo e média geral para características agrônômicas em 23 híbridos diploides de bananeiras para o primeiro ciclo de produção. Embrapa 2019.

FV		GL									
		npf	nfc	npc	alt	dpc	nff	fv	nfi	cen	den
Tratamento	23	27,23**	26,14**	15,67*	0,42**	0,99**	0,44 ^{ns}	0,08**	0,11*	0,50 ^{ns}	0,02**
Resíduo	175	58,75	8,44	27,85	0,03	0,06	0,09	0,01	0,28	0,03	0,00
Total	198										
CV (%)		11,29	11,39	16,44	5,68	6,59	10,68	4,22	3,76	5,23	1,73
Máximo		489,33	164,00	586,50	1,87	15,81	11,89	6,33	7,15	33,82	4,06
Mínimo		227,33	97,17	345,50	1,25	10,16	5,88	1,10	1,38	14,37	2,94
Média Geral		317,95	125,35	446,25	1,58	12,56	7,94	2,27	4,14	22,42	3,38

FV		GL									
		npe	ntf	msc	mcp	cfs	dfs	cop	dip	mfe	mfc
Tratamento	23	0,33 ^{ns}	0,62**	42,74**	41,26**	31,01*	0,02**	0,05**	0,02**	0,13	2,24
Resíduo	175	0,02	0,02	0,03	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	0,06	0,22
Total	198										
CV (%)		6,11	2,98	9,16	10,04	9,16	1,34	1,24	1,65	3,72	6,66
Máximo		9,25	178,38	6,02	5,64	13,26	2,51	1,63	0,98	1,40	3,00
Mínimo		3,83	50,50	0,34	0,28	4,17	1,03	0,75	0,58	0,00	0,00
Média Geral		6,67	100,69	2,23	2,01	7,45	1,68	1,12	0,73	1,00	1,22

^{ns} não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste de F, número de dias do plantio à floração (npf); número de dias da floração à colheita (nfc); número de dias do plantio à colheita (npc); altura de planta (alt - m); diâmetro do pseudocaule (dpc - cm); número de folhas vivas na floração (nff); número de folhas vivas na colheita (fv); número de filhos por planta (nfi); comprimento do engaço (cen - cm); diâmetro do engaço (den - cm); número de pencas (npe); número de frutos por cacho (ntf); massa do cacho (msc - kg); massa da segunda penca (mcp - kg); comprimento dos frutos da segunda penca (cfs - cm); diâmetro de dois frutos da segunda penca (dfs - cm); comprimento do pedicelo de dois frutos da segunda penca (cop - cm); diâmetro do pedicelo de dois frutos da segunda penca (dip - cm); murcha de *Fusarium* na emissão (mfe) e murcha de *Fusarium* na colheita (mfc).

Tabela suplementar 2. Resumo da análise de variância com o teste F, coeficiente de variação, máximo, mínimo e média geral características agrônômicas em oito híbridos tetraploides e testemunha Grande Naine para o primeiro ciclo de produção. Embrapa 2019.

FV		GL									
		npf	nfc	npc	alt	dpc	nff	fcc	nfi	cen	den
Tratamento	8	31,64**	16,67**	977**	0,39**	1,64**	0,35 ^{ns}	0,08**	0,26*	0,50 ^{ns}	0,04**
Resíduo	59	5,67	4,35	3,82	0,07	0,07	0,09	0,01	0,20	0,03	0,01
Total	67										
CV (%)		19,63	17,12	12,1	5,68	11,08	10,68	5,72	3,76	27,89	3,58
Máximo		489,33	164,00	586,50	2,56	20,77	11,89	6,33	7,25	55,59	5,91
Mínimo		223,30	95,11	345,50	1,25	10,16	5,88	1,10	1,38	14,37	2,94
Média Geral		382,34	122,59	510,85	2,18	17,67	9,02	2,33	3,52	27,60	4,70

FV		GL									
		npe	ntf	msc	mcp	cfs	dfs	cop	dip	mfe	mfc
Tratamento	8	0,37 ^{ns}	0,36**	44,26**	40,52**	21,21*	0,21**	0,04**	0,02**	0,19	0,29
Resíduo	59	0,02	0,02	0,10	0,10	0,07	0,01	0,01	0,01	0,11	0,11
Total	67										
CV (%)		11,43	11,95	13,37	14,79	15,23	7,48	5,44	11,65	3,67	8,80
Máximo		9,25	178,38	14,82	13,59	19,74	3,52	2,23	1,03	5,00	12,50
Mínimo		3,83	50,50	0,34	0,28	4,17	1,03	0,75	0,58	0,00	0,00
Média Geral		6,10	79,81	7,55	6,91	13,23	3,06	1,74	0,94	0,43	1,63

^{ns} não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste de F, número de dias do plantio à floração (npf); número de dias da floração à colheita (nfc); número de dias do plantio à colheita (npc); altura de planta (alt - m); diâmetro do pseudocaule (dpc - cm); número de folhas vivas na floração (nff); número de folhas vivas na colheita (fcc); número de filhos por planta (nfi); comprimento do engaço (cen - cm); diâmetro do engaço (den - cm); número de pencas (npe); número de frutos por cacho (ntf); massa do cacho (msc - kg); massa da segunda penca (mcp - kg); comprimento dos frutos da segunda penca (cfs - cm); diâmetro de dois frutos da segunda penca (dfs - cm); comprimento do pedicelo de dois frutos da segunda penca (cop - cm); diâmetro do pedicelo de dois frutos da segunda penca (dip - cm); murcha de *Fusarium* na emissão (mfe) e murcha de *Fusarium* na colheita (mfc).

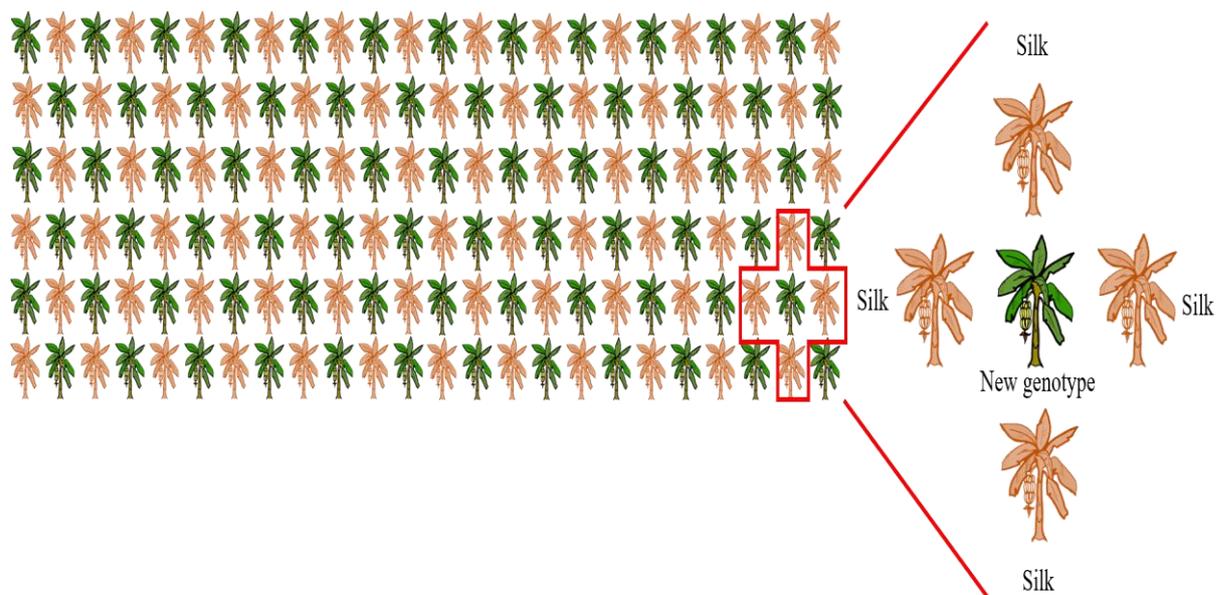


Figura suplementar 1. Cultivar 'Maçã' plantadas ao redor de cada híbrido em teste para servir como um indicador da presença do patógeno. Adaptado de Rebouças et al. (2018).



1. Completely clean rhizome without vascular discoloration.



2. Isolated spots of discoloration of the vascular tissue.



3. Discoloration up to 1/3 of the vascular tissue.



4. Discoloration between 1/3 and 2/3 of the vascular tissue.



5. Discoloration higher than 2/3 of the vascular tissue.



6. Total discoloration of the vascular tissue.

Figura suplementar 2. Corte transversal do rizoma para a análise da descoloração vascular causada pela presença de *Foc*. Com base na escala proposta por Cordeiro et al. (1993).

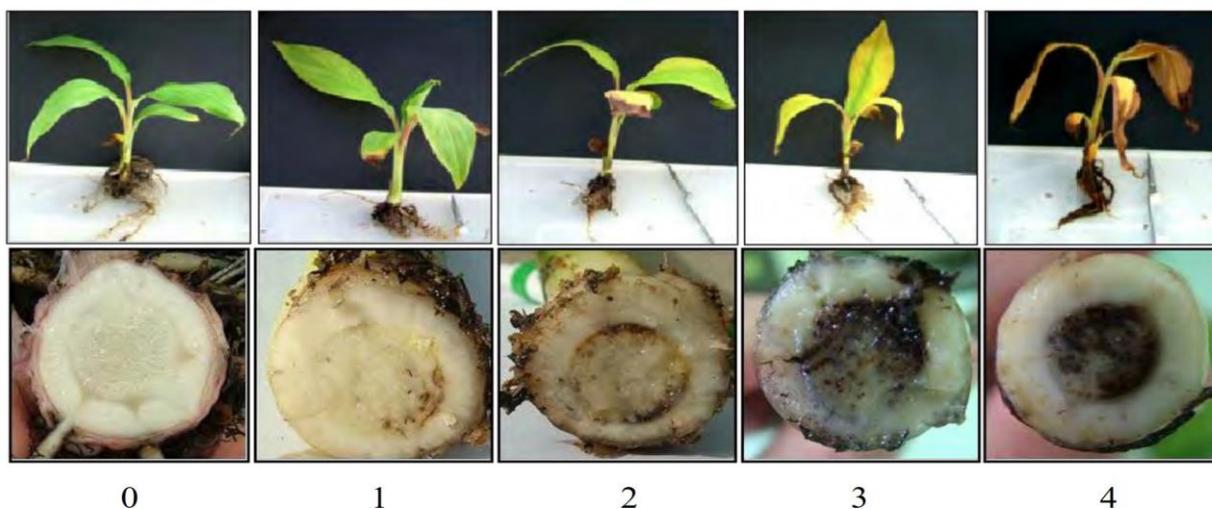


Figura suplementar 3. Sintomas externos e internos de *Foc*, a partir da escala de notas propostas por Dita et al. (2014): sintomas externos (0) sem sintomas; (1) amarelecimento inicial de folhas velhas; (2) amarelecimento de folhas velhas e descoloração inicial de folhas jovens; (3) amarelecimento intenso de todas as folhas; e (4) plantas mortas. Sintomas internos (0) ausência de descoloração do rizoma; (1) descoloração inicial na junção da raiz e rizoma até 5%; (2) descoloração do rizoma entre 6% e 25%; (3) descoloração do rizoma entre 26-50%; e (4) mais que 50% de descoloração do rizoma. Embrapa 2019.

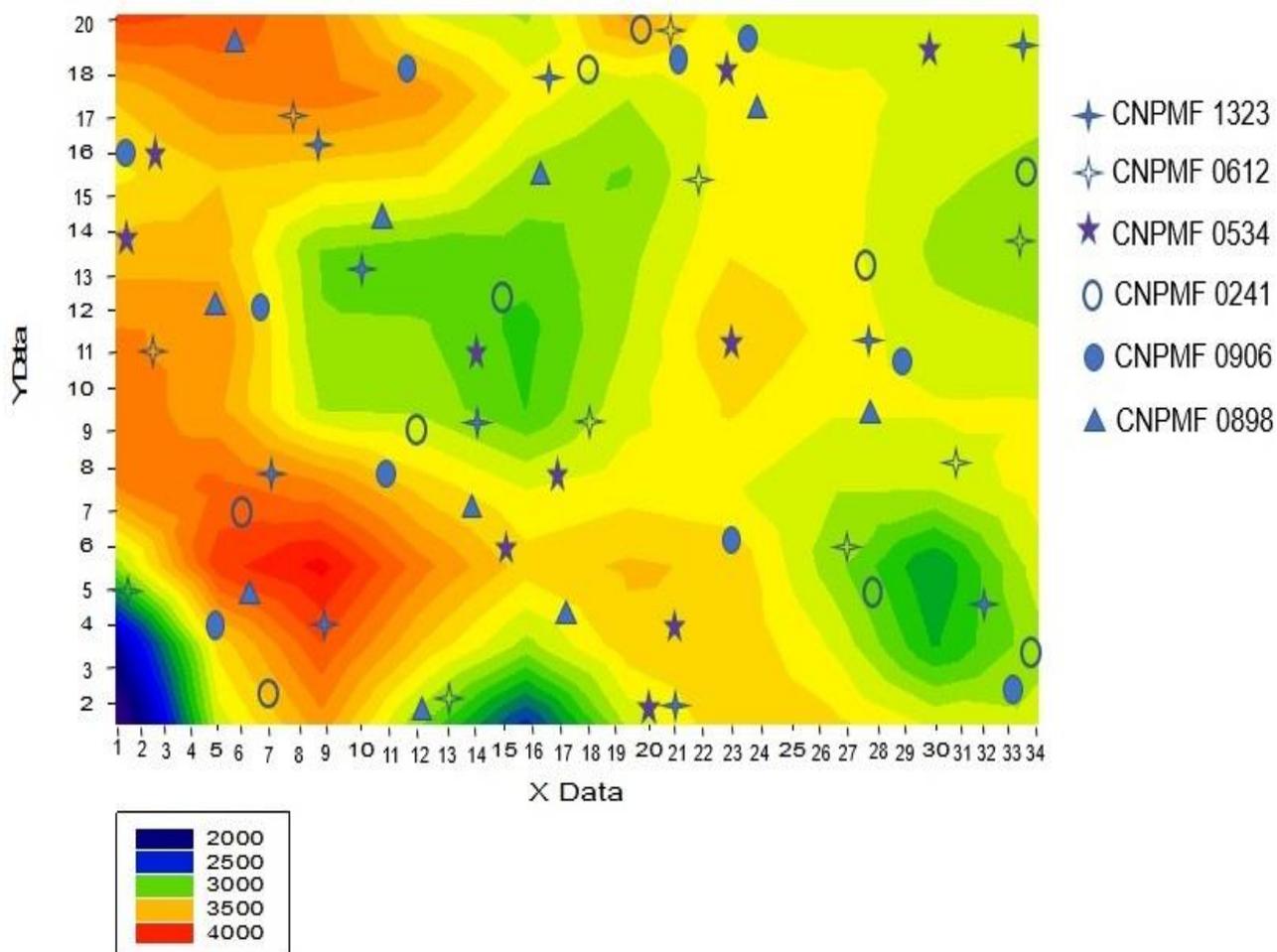


Figura suplementar 4. Distribuição na área experimental de cada um dos seis híbridos de banana selecionados. Símbolos indicam a posição de cada uma das 10 réplicas por genótipo. Embrapa 2019.

CAPÍTULO 2

**Seleção de híbridos diploides e tetraploides de bananeira resistentes à
*Pseudocercospora fijiensis***

Seleção de híbridos diploides e tetraploides de bananeira resistentes à *Pseudocercospora fijiensis*

Resumo - Bananas e plátanos são cultivados em 150 países localizados nas regiões tropicais e subtropicais em aproximadamente 11 milhões de hectares. A Sigatoka-negra pode provocar 100 % de perdas em produção na ausência de controle químico, manejo integrado, desfolha sanitária, entre outras, que eleva o custo de produção em 30% e pode impactar a saúde e contaminar o ambiente. O desenvolvimento de cultivares resistentes à Sigatoka-negra é foco de vários programas de melhoramento pelo mundo, mostrando-se uma alternativa aos impactos dos fungicidas. O cruzamento entre diploides melhorados e cultivares comerciais suscetíveis é a estratégia mais difundida em nível mundial. Nesse sentido o objetivo desse trabalho foi desafiar 23 híbridos diploides e oito tetraploides de bananeira na presença de *Pseudocercospora fijiensis*. A seleção foi realizada considerando a estimativa do índice de severidade da doença (ID) e da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), obtidos a partir de notas da doença. Quatro critérios de seleção foram considerados: ID e AACPD médios estimados durante o período total do experimento; apenas no período de verão; no inverno; e na emissão e colheita dos cachos. A seleção de híbridos foi mais efetiva quando concentrada na estação de inverno; e a avaliação dos sintomas em quatro folhas nº 3 emitidas após o sexto mês de plantio, mostrou-se eficiente na discriminação de híbridos de bananeira resistentes e suscetíveis. Três diploides melhorados apresentaram resistência qualitativa e dois resistência quantitativa. Um híbrido tetraploide do tipo Prata apresentou resistência quantitativa e possui potencial para uso pelos agricultores. A cultivar comercial BRS Princesa, híbrido do tipo Maçã desenvolvido pela Embrapa, apresenta resistência quantitativa à Sigatoka-negra.

Palavras-chave: resistência genética; melhoramento, Sigatoka-negra; *Musa spp.*

**Selection of diploid and tetraploid banana hybrids resistant to
*Pseudocercospora fijiensis***

Abstract - Bananas and plantains are cultivated in more than 150 countries in tropical and subtropical regions in 11 million hectares. Black Sigatoka may lead to 100% losses in production in the absence of chemical control, integrated management, sanitary defoliation, among others, which increases production costs up to 30% and impact health and contaminate the environment. The development of cultivars resistant to black Sigatoka is the focus of many banana genetic breeding programs worldwide as an alternative to the impacts caused by the use of fungicides. Crosses between improved diploids and commercial cultivars is the most used strategy. Therefore, the objective of the present work was to challenge 23 banana diploid hybrids and eight tetraploids in the presence of *Pseudocercospora fijiensis*. Selection was carried out considering the estimation of the index of severity of the disease (ID) and the area under the curve of disease progression (AACPD) obtained from disease notes. Four selection criteria were considered: average ID and AACPD estimated during the entire period of the experiment; only in the summer; in the winter and during emission and harvest of bunches. Selection of hybrids was more effective when concentrated in the winter and evaluation of symptoms in four number 3 leaves released after the sixth month of planting was efficient to discriminate the resistant and susceptible banana hybrids. Three improved diploids showed qualitative resistance and two quantitative. A Prata-type tetraploid hybrid showed quantitative resistance and potential use by growers. A commercial cultivar, BRS Princes, a Silk-type hybrid developed by Embrapa, showed quantitative resistance to black Sigatoka.

Keywords: genetic resistance; plant breeding, Black Sigatoka; *Musa sp.*

2.1 INTRODUÇÃO

Bananas e plátanos são cultivados em 150 países localizados nas regiões tropicais e subtropicais em aproximadamente 11 milhões de hectares. A estimativa da produção chega a 142 megatoneladas (Mt), sendo que os dez maiores produtores são Índia (30,5 Mt), China (11,4 Mt), Filipinas (9,1Mt), Indonésia (7,2 Mt), Colômbia (7,1 Mt), Equador (6,9 Mt), Brasil (6,7 Mt), Camarões (5,7 Mt), República Democrática do Congo (5,1 Mt) e Uganda (3,8 Mt) (FAO, 2019). Em conjunto com arroz, trigo e milho a fruta é considerada uma das fontes alimentares mais importante do mundo, servindo de alimento básico e fonte de renda para inúmeras famílias, principalmente na África e Ásia (PERRIER, et al., 2011; LU et al., 2013).

Algumas doenças são responsáveis por perdas significativas na produção de banana e plátanos, com destaque para a Sigatoka-negra, causada pelo fungo *Pseudocercospora fijiensis* (forma sexual: *Mycosphaerella fijiensis*). O fungo foi descrito pela primeira vez em 1963, nas Ilhas Fiji (CROUS et al., 2011) e o primeiro registro da doença no Brasil deu-se na fronteira com a Colômbia e o Peru, em 1998, nos municípios de Tabatinga e Benjamin Constant, Estado do Amazonas (GASPAROTTO et al., 2006). Sua propagação ocorre por meio de dois tipos de esporos, os conídios, que são os esporos assexuados e ascósporos, esporos sexuados (CHURCHILL, 2011).

Os primeiros sintomas da doença ocorrem entre 7 e 14 dias após infecção e manifestam-se sob a forma de estrias, que em estádios mais avançados levam a necrose da folha interferindo na fotossíntese (CHURCHILL, 2011). Essa condição pode levar a perdas de até 100% na produção, a depender das condições ambientais, por meio da redução no peso dos frutos e dos cachos, da antecipação da maturação, redução da vida verde e modificações na coloração da polpa (GAGNÉ et al., 2011; CASTELANA et al., 2012; CHILLET et al., 2014).

A Sigatoka-negra é rotineiramente controlada a partir da combinação de fungicidas de contato e sistêmicos. Entretanto, essa prática pode elevar o custo de produção na fazenda em até 30% representando, em nível global, um custo estimado em mais de 550 milhões de dólares (CHURCHILL, 2011). Soma-se a esse fato impactos potenciais à saúde e possíveis contaminações ambientais. O controle biológico do patógeno ainda é bastante limitado, em função da pouca eficiência de

alguns agentes biológicos e do custo de produção e aplicação (JIMENEZ et al., 2007).

Sendo assim, o desenvolvimento de cultivares resistentes à Sigatoka-negra é foco de vários programas de melhoramento pelo mundo, incluindo o desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, no Brasil (ALAKONYA et al., 2018). Infere-se que a genética da resistência à *Pseudocercospora fijiensis* está associada a um alelo recessivo (*bs1*) e dois alelos independentes com efeitos aditivos (*bsr2* e *bsr3*) (ORTIZ e VUYLSTEKE, 1994). Há também interação intralocus no locus *bs1* que aparentemente estão associados com o surgimento dos primeiros sintomas nas folhas e com a interação intralocus nos locus *bsr*, que influenciam no desenvolvimento da doença (CRAENEN E ORTIZ, 1997).

Desde 1982 a Embrapa realiza cruzamentos envolvendo diploides melhorados e cultivares comerciais triploides suscetíveis à Sigatoka-negra, *Pseudocercospora fijiensis* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raça 1 (AMORIM et al., 2013). Onze híbridos tetraploides foram desenvolvidos e recomendados aos agricultores brasileiros a partir dessa estratégia.

O desenvolvimento de diploides melhorados é uma atividade de rotina na Embrapa, que anualmente gera vários híbridos resistentes à Sigatoka-amarela e murcha de *Fusarium* raça 1; sendo que alguns também são resistentes à Sigatoka-negra e tolerantes à broca do rizoma e nematoides; além de possuírem outras características agrônômicas de interesse para o melhoramento. Trata-se de um processo dinâmico, uma vez que novos diploides melhorados, com características superiores, são inseridos nas rotinas de cruzamentos, assim como outros são excluídos por questões técnicas (AMORIM et al., 2013).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi desafiar/avaliar novos híbridos diploides e tetraploides de bananeira desenvolvidos pela Embrapa na presença de *Pseudocercospora fijiensis*, visando selecionar híbridos resistentes para uso em cruzamentos ou recomendação aos agricultores.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa, localizada em Cruz das Almas, Estado da Bahia (12°40'19"S e 39°06'22"W', 220 acima do nível do

mar). O clima é designado como tropical quente e úmido, Aw a Am, de acordo com a classificação de Köppen, tendo temperatura média anual de 24,5°C, umidade relativa de 80% e precipitação média de 1.250 mm anuais (AGRITEMPO, 2018).

Foram utilizados trinta e dois genótipos, incluindo 23 diploides melhorados, oito tetraploides e a cultivar Grande Naine, utilizada como testemunha suscetível (Tabela 1). O experimento foi instalado em 05/05/2016 e concluído em 21/01/2018. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 10 plantas por genótipos, em espaçamento 4 m x 2 m x 2 m e irrigado por microaspersão, de acordo com as necessidades da cultura. Esse manejo evita estresses às plantas pelo déficit hídrico, considerando que o experimento foi conduzido em região com períodos de escassez de água.

Quatro estratégias de seleção de híbridos resistentes à Sigatoka-negra foram avaliadas, a saber: (1) avaliação de sintomas da doença ao longo de todo o período do experimento, (2) avaliação dos sintomas nos meses de verão; (3) avaliação dos sintomas nos meses de inverno; e (4) avaliação clássica, com observação dos sintomas na emissão e colheita do cachos.

Os híbridos foram avaliados quanto ao comportamento na presença da Sigatoka-negra, a partir da aplicação da escala de notas de sintomas da doença nas folhas, proposta por Stover (1972) e modificada por Gauhl (1989), onde: (1) até 1% da lâmina foliar com sintomas; (2) de 1 a 5 % da lâmina foliar com sintomas; (3) de 6 a 15% da lâmina foliar com sintomas; (4) de 16 a 33% da lâmina foliar com sintomas; (5) de 34 a 50% da lâmina foliar com sintomas; (6) de 51 a 100% da lâmina foliar com sintomas.

As avaliações foram iniciadas no sexto mês após o plantio, a partir da visualização dos sintomas da Sigatoka-negra na folha nº3, até a sua completa senescência. Após a senescência da referida folha, identificou-se outra folha nº3 para iniciar nova avaliação dos sintomas.

Esse processo foi padronizado em quatro folhas nº3, considerando que mais de 80% das plantas emitiram essa quantidade de folhas até a colheita do cacho. Maiores detalhes sobre a duração das quatro folhas nº3 estão apresentadas na Tabela suplementar 1. É importante destacar que as plantas emitiram um número variável de folhas, mas o critério de avaliação dos sintomas até a senescência fez

com que parte dessas folhas não tenham sido avaliadas. A escala de notas foi aplicada em intervalos de 15 dias nas folhas nº3 selecionadas.

Tabela 1. Híbridos de bananeira avaliadas quanto a resistência a Sigatoka-negra em área naturalmente infestada no Brasil. Embrapa 2019.

Códigos	Genealogias
	Diploides melhorados
CNPMF0038	[(M53 x Madu)] x [(Malaccensis x Tjau Lagada)]
CNPMF0496	[(M61 x Pisang Lilin)] x [(Terrinha x Calcutta 4)]
CNPMF0513	[(M61 x Pisang Lilin)] x [(M53 x Kumburgh)]
CNPMF0519	Self-fertilization (wild diploid Tambi)
CNPMF0534	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Borneo x Guyod)]
CNPMF0536	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Borneo x Guyod)]
CNPMF0542	[(SH3263)] x [(Malaccensis x Sinwobogi)]
CNPMF0557	[(M61 x Pisang Lilin)] x [(Malaccensis x Tjau Lagada)]
CNPMF0565	[(Calcutta 4 x Pahang) x (Borneo x Madang)] x Khae
CNPMF0572	[(Khai x (Calcutta 4 x Madang)] x [(Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF0612	[(M53 x Madu) x Madu] x SH3263
CNPMF0731	[(Malaccensis x Madang)] x [(Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF0767	[(Malaccensis x Madang)] x [(Khai x (Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF0811	[(Khai x (Calcutta 4 x Madang)] x [(Calcutta 4 x Pahang) x (Borneo x Madang)]
CNPMF0978	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Terrinha x Calcutta 4)]
CNPMF0993	[(Borneo x Guyod) x (Tuugia x Calcutta 4)] x [(Khai x (Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF0998	[(Borneo x Guyod)] x [(Borneo x Guyod) x SH3263]
CNPMF1102	[(Jari Buaya x (Calcutta 4 x Madang)] x [(Borneo x Guyod) x (Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF1105	[(Borneo x Guyod) x (Calcutta 4 x Heva)] x [(Calcutta 4 x Madang)]
CNPMF1171	[(Malaccensis x Madang)] x [(M53 x (Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF1272	[(Borneo x Guyod) x (Calcutta 4 x Heva)] x [(Tuugia x Calcutta 4)]
CNPMF1286	[(Calcutta 4 x Madang)] x [(Terrinha x Calcutta 4)]
CNPMF1323	[(Malaccensis x Sinwobogi)] x [(Calcutta 4 x Heva)]
Híbridos tetraploides	
CNPMF0241	[(Pacovan x diploide melhorado não identificado*)]
CNPMF0282	[(Pacovan x diploide melhorado não identificado*)]
CNPMF0351	[(Prata Anã x diploide melhorado da FHIA)]
CNPMF0897	[(Prata Anã)] x [(Malaccensis x Sinwobogi) x (Zebrina x Heva)]
CNPMF0898	[(Prata Anã)] x [(Malaccensis x Sinwobogi) x (Calcutta 4 x Galeo)]
CNPMF0906	[(Prata Santa Maria x diploide melhorado não identificado*)]
CNPMF0908	[(Maçã x diploide melhorado não identificado*)]
BRS Princesa	[(Yangambi nº2 x M53)]
Testemunha	
Grande Naine	-

*polinização aberta envolvendo diploide melhorado.

As notas obtidas em intervalos de 15 dias foram transformadas em índice de severidade da doença ID (%), baseado na fórmula descrita por Mckinney (1923):

$$ID (\%) = \frac{\sum \text{nota da doença} \times \text{número de plantas com uma certa nota da doença}}{\text{número de plantas avaliadas por parcela} \times \text{maior nota adotada na escala}} \times 100$$

Para cada híbrido estimou-se o ID médio, com base nas avaliações realizadas a cada 15 dias e no número de repetições por híbrido.

Estimou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de acordo com a fórmula proposta por Madden et al., (2007), onde n é o número de avaliações, ID é o índice de severidade da doença e $(T1-T2)$ é o intervalo de tempo entre duas avaliações consecutivas, como pode ser observado na seguinte fórmula:

$$AACPD = \frac{\sum n - 1n[(ID1 + ID2)]}{2} \times (T2 - T1)$$

A AACPD foi padronizada pelo número de avaliações realizadas a cada 15 dias até a colheita dos cachos, considerando que a duração das folhas nº3 foi variável entre os híbridos.

Selecionou-se as avaliações realizadas nos períodos de verão (dezembro a março) e de inverno (junho a setembro) e estimou-se o ID e a AACPD específicos para esses intervalos de meses (estações do ano), utilizando-se as avaliações dos sintomas em intervalos de 15 dias e o número de repetições por híbridos.

A avaliação clássica dos sintomas de Sigatoka-negra nas folhas foi realizada a partir da aplicação da escala de notas proposta Stover (1972) e modificada por Gauhl (1989) na emissão e na colheita dos cachos, considerando todas as folhas ativas, com posterior estimativa de dois ID's.

Com base em quatro índices médios de severidade da doença e quatro áreas abaixo da curva de progresso da doença (avaliações durante todo o período do experimento, apenas no período de verão, restrito aos meses de inverno e análise clássica na emissão e colheita dos cachos), foram elaborados quatro dendrogramas, utilizando-se a distância euclidiana média e o método de *Kmeans* para agrupar os híbridos, adotando-se como critério para o ponto de corte o proposto por Krzanowski e Lai (1988). Com base nos mesmos ID's e AACPD's realizou-se a análise de *heat*

map, que produz uma interpretação gráfica onde os dados referentes a cada genótipo são representados por cores, onde tonalidades na escala do verde associam-se com níveis de resistência genética, enquanto que cores na escala do vermelho indicam níveis de suscetibilidade. Os pacotes estatísticos utilizados para as análises foram: *devtools*, *NbClust* e *gplots*, executados no programa R (R Core Development Team, 2016).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por tratar-se de um trabalho que visa selecionar híbridos para uso em cruzamentos (diploides melhorados) ou para recomendação aos agricultores (tetraploides), a identificação segura de híbridos resistentes ou com resistência parcial ou moderada à Sigatoka-negra é fundamental. Soma-se a essa exigência, o uso de critérios de seleção precoce, de forma a acelerar o desenvolvimento de cultivares para disponibilizá-las aos agricultores. Nesse contexto, testaram-se quatro estratégias de seleção, a saber: avaliações durante todo o período do experimento, apenas no período de verão, restrito aos meses de inverno e análise clássica na emissão e colheita dos cachos).

De acordo com Jones et al. (2000) os sintomas da Sigatoka-negra podem variar de acordo com o estágio fenológico da planta, idade da folha, período de infecção do patógeno, pressão de inóculo e cultivar utilizada. Nesse sentido, observou que a resposta à Sigatoka-negra é diferenciada quando se avalia sintomas em plantas jovens e adultas, sugerindo a necessidade de se padronizar o período e o estágio de avaliação dos sintomas para a seleção de híbridos resistentes.

Houve a formação de agrupamentos distintos, a depender da estratégia de avaliação dos sintomas da Sigatoka-negra, uma vez que o número de híbridos em cada *cluster* foi variável; assim como os indivíduos *per se* (Figura 1). Independente da estratégia adotada, nossos resultados corroboram com a literatura internacional, que classifica a cultivar Grande Naine como suscetível a doença, reforçando a acurácia nas avaliações (CHURCHILL, 2011; BAREKYE et al., 2011).

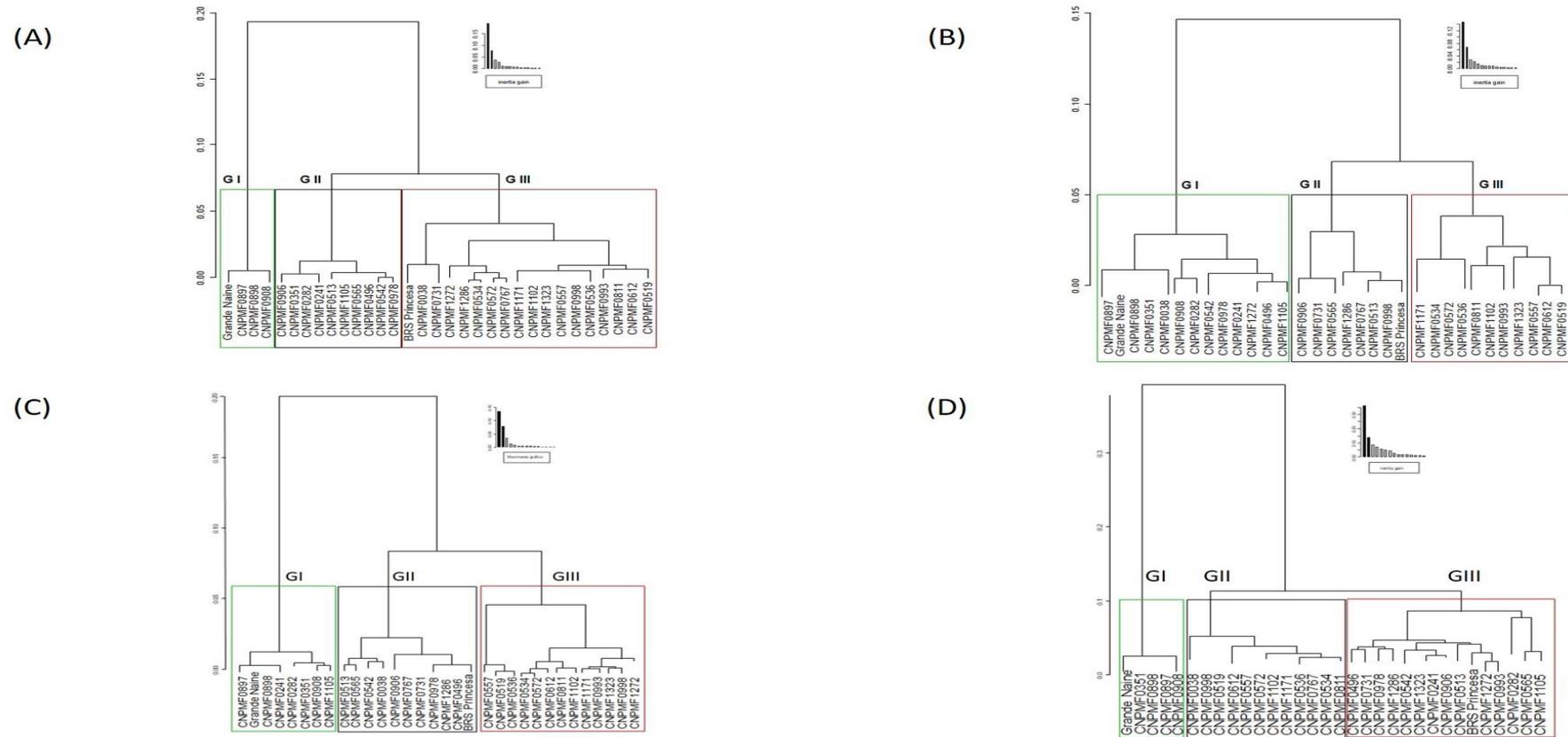


Figura 1. Agrupamento de híbridos de bananeira quanto ao comportamento na presença da Sigatoka-negra, a partir do índice de severidade da doença (ID) e da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) mensuradas a partir da avaliação dos sintomas em quatro folhas nº 3 de cada genótipo: (A) avaliação realizada no verão; (B) no inverno; (C) anual. (D) avaliação global clássica, considerando o ID na emissão do cacho (ID-e) e na colheita do mesmo (ID-c). GI: suscetíveis, GII: moderadamente resistentes, GIII: resistentes. Embrapa 2 019.

Por meio dos dendrogramas, a melhor eficiência na discriminação dos híbridos nas classes resistente, moderadamente resistente e suscetível, quando se avalia os sintomas de Sigatoka-negra nas folhas é durante o período do inverno. Nas condições de Cruz das Almas (Bahia, Brasil), esse período favorece o desenvolvimento da doença, por haver condições ambientais que favorecem pontos chave no ciclo de vida do patógeno, como dispersão, germinação, penetração, colonização e sobrevivência, aumentando a severidade da doença e permitindo a seleção de híbridos resistentes com maior rigor. De fato, com esse critério menos híbridos foram classificados como resistentes a doença e/ou moderadamente resistentes, quando em comparação com as outras épocas de avaliação (Figura 1).

As estações de verão e inverno, no que diz respeito a dados médios de temperatura, umidade relativa, precipitação total e média diária, são distintas. No verão observa-se 26 °C, 73% de umidade, 105 mm de chuva (1,2 mm/dia); já no inverno registra-se 22 °C, 86% de umidade, 460 mm de chuva (4,7 mm/dia). Esses dados foram coletados durante o desenvolvimento do experimento, em estação meteorológica automatizada distante 50 m.

De acordo com Gauhl et al (2000), para o desenvolvimento da Sigatoka-negra algumas condições ambientais são requeridas, entre as quais temperaturas em torno de 27 °C e umidade na superfície foliar. Ainda, segundo o autor, em ambientes de alta umidade a água livre na superfície foliar não é necessária.

Valores absolutos para ID, AACPD, ID-e e ID-c estão apresentados na Tabela 2. Nela é possível observar algumas inversões na classificação dos híbridos, a depender da estratégia de avaliação adotada. Os diploides melhorados CNPMF0038, CNPMF0496, CNPMF0542, CNPMF0978, CNPMF1105 e CNPMF1272 foram classificados como suscetíveis à Sigatoka-negra nas avaliações realizadas apenas no inverno, enquanto que para as outras análises (no período do verão, avaliação anual e avaliação clássica), os mesmos híbridos foram classificados como resistentes ou moderadamente resistentes, fato que também ocorre em análises de *heat map* e dendrogramas. A mesma observação é válida para alguns dos híbridos tetraploides (CNPMF0241, CNPMF0282 e CNPMF0351). Percebe-se valores médios superiores para ID e AACPD nas avaliações realizadas no inverno, reforçando que esse é o melhor período para a seleção de híbridos resistentes à doença, uma vez que há melhores condições ambientais para o desenvolvimento de

epidemias no campo. Uma avaliação incorreta sobre o comportamento do híbrido frente a essa doença pode acarretar em um atraso de anos para a obtenção de cultivares resistentes a Sigatoka-negra, que é um dos objetivos finais do melhoramento genético.

Visando corroborar com os resultados dos agrupamentos descritos acima, fez-se análises de *heat map*, com base nas quatro estratégias de seleção de híbridos resistentes a Sigatoka-negra (Figura 2). Percebe-se visível distinção entre as épocas de seleção, a partir da intensidade das cores nas figuras, em que tonalidades na escala do verde associam-se com níveis de resistência genética, enquanto que cores na escala do vermelho indicam níveis de suscetibilidade. Percebe-se também que os agrupamentos formados refletem os observados na Figura 1, mesmo considerando bases estatísticas distintas entre os dois métodos. O *heat map* é uma análise de fácil interpretação quando em comparação aos métodos de agrupamento clássicos, baseados em dendrogramas (REBOUÇAS et al., 2018).

Considerando a eficiência na discriminação dos híbridos quando se analisa os sintomas da Sigatoka-negra no inverno em nossas condições de clima, maior detalhamento dos resultados serão concentrados nesse período. É importante também destacar que essa estratégia se mostra mais célere, uma vez que dispensa a avaliação das plantas até a colheita dos cachos, metodologia clássica adotada em rotinas de melhoramento até o momento, inclusive na Embrapa.

Para o conjunto de diploides melhorados o ID variou de 0,00% a 48,81%, enquanto que a AACPD oscilou entre 0,00 e 2439,51 (Tabela 2). Três diploides melhorados apresentaram resistência completa à Sigatoka-negra, são eles: CNPMF0519, CNPMF 0557 e CNPMF0612. Outros oito apresentaram resistência quantitativa ao patógeno, com destaque para CNPMF0811 e CNPMF0993, que apresentaram os menores valores para ID e AACPD entre os híbridos. Esses cinco híbridos têm potencial de uso em cruzamentos com cultivares suscetíveis visando o desenvolvimento de cultivares comerciais resistentes à Sigatoka-negra.

Craenen e Ortiz (1997) não observaram resistência completa à *Mycosphaerella fijiensis*, embora afirmem que níveis de resistência e/ou tolerância foram claramente demonstrados em seus trabalhos. Esses resultados contrastam com os achados dos autores, uma vez que três diploides melhorados não apresentaram sintomas da doença em campo.

Tabela 2. Níveis de resistência à Sigatoka-negra entre híbridos melhorados de bananeira. Embrapa 2019.

Híbridos	ID (%)	AACPD	NR	ID (%)	AACPD	NR	ID (%)	AACPD	NR	ID-e (%)	ID-c (%)	NR
	Verão			Inverno			Anual			Clássica		
CNPMF0557	0,43	55,60	R	0,00	0,00	R	0,11	12,50	R	1,33	1,67	R
CNPMF0496	24,67	1027,00	MR	35,58	1816,69	S	22,75	1115,31	MR	16,60	18,52	MR
CNPMF0513	28,43	1130,62	MR	24,01	1428,64	MR	21,48	1126,59	MR	21,67	23,33	MR
CNPMF0519	0,00	0,00	R	0,00	0,00	R	0,00	0,00	R	0,00	0,00	R
CNPMF0534	7,06	719,75	R	13,56	855,98	R	9,15	581,44	R	3,70	9,26	R
CNPMF0536	0,36	20,83	R	10,00	563,96	R	5,39	261,80	R	6,25	10,42	R
CNPMF0542	23,32	1094,06	MR	36,67	2018,47	S	28,51	1680,00	MR	14,81	42,59	MR
CNPMF0038	10,76	1050,93	R	48,81	2241,81	S	25,09	1400,59	MR	10,42	11,25	R
CNPMF0565	25,01	646,30	MR	27,98	2313,26	MR	25,90	1337,38	MR	33,33	43,75	MR
CNPMF0572	4,00	474,13	R	9,49	357,91	R	6,06	388,60	R	3,33	5,00	R
CNPMF0612	0,00	0,00	R	0,00	0,00	R	0,00	0,00	R	0,00	0,00	R
CNPMF0731	8,82	659,78	R	27,26	1238,03	MR	18,35	883,98	MR	23,33	26,67	MR
CNPMF0767	6,25	573,02	R	24,36	1695,81	MR	16,18	808,24	MR	6,25	12,50	R
CNPMF0811	0,00	0,00	R	7,50	125,00	R	4,14	104,86	R	5,56	12,96	R
CNPMF0978	21,95	832,08	MR	44,64	1757,00	S	23,88	1562,09	MR	16,67	30,56	MR
CNPMF0993	0,00	0,00	R	6,41	250,03	R	2,15	100,70	R	14,29	16,67	MR
CNPMF0998	0,89	124,95	R	20,00	409,72	MR	9,60	356,11	R	14,29	16,67	R
CNPMF1102	2,26	222,30	R	7,05	320,38	R	6,10	379,21	R	9,26	16,67	R
CNPMF1105	27,65	2405,60	MR	44,97	2439,51	S	34,68	2267,55	S	35,71	40,48	MR
CNPMF1171	3,74	320,38	R	13,89	594,02	R	9,68	480,88	R	8,33	12,50	R
CNPMF1272	8,59	487,04	R	33,33	652,85	S	9,11	524,84	R	16,67	20,83	MR
CNPMF1286	7,92	1375,03	R	25,60	1748,65	MR	26,72	1577,75	MR	19,44	25,00	MR
CNPMF1323	3,63	169,48	R	3,85	347,25	R	3,80	227,13	R	19,05	35,71	MR
Médias	9,38	582,13		20,22	1007,61		13,43	746,85		13,06	18,83	

Tabela 2. Continuação.

Híbridos	ID (%)	AACPD	NR	ID (%)	AACPD	NR	ID (%)	AACPD	NR	ID-e (%)	ID-c (%)	NR
	Verão			Inverno			Anual			Clássica		
CNPMF0241	23,82	1856,47	MR	35,74	3016,68	S	36,90	2280,95	S	14,58	35,42	MR
CNPMF0282	30,30	1922,27	MR	42,78	2697,74	S	37,86	2310,16	S	26,19	42,86	MR
CNPMF0351	30,66	1865,37	MR	48,72	3717,71	S	39,19	2832,63	S	25,00	91,67	S
CNPMF0897	55,37	3014,03	S	63,52	3330,74	S	56,12	3150,99	S	40,48	73,81	S
CNPMF0898	33,16	2748,76	S	52,79	3328,51	S	42,02	2642,41	S	35,42	37,75	S
CNPMF0906	31,66	1623,67	MR	28,18	2817,74	MR	30,89	2006,72	MR	18,75	41,67	MR
CNPMF0908	41,47	2255,75	S	43,06	2896,38	S	38,43	2436,40	S	12,08	58,33	S
BRS Princesa	13,33	438,83	R	15,06	1000,21	MR	13,88	764,75	MR	11,11	25,93	MR
Médias	32,47	1965,64		41,23	2850,71		36,91	2303,13		22,95	50,93	
Grande Naine	46,65	3146,32	S	67,16	4867,30	S	58,75	3616,31	S	52,38	92,86	S

ID: índice de severidade da doença; AACPD: área abaixo da curva de progresso da doença; NR: nível de resistência; ID-e: índice de severidade da doença mensurado na emissão do cacho; ID-c: índice de severidade da doença mensurado na colheita do cacho; S: suscetível; MR: moderadamente resistente; R: resistente.

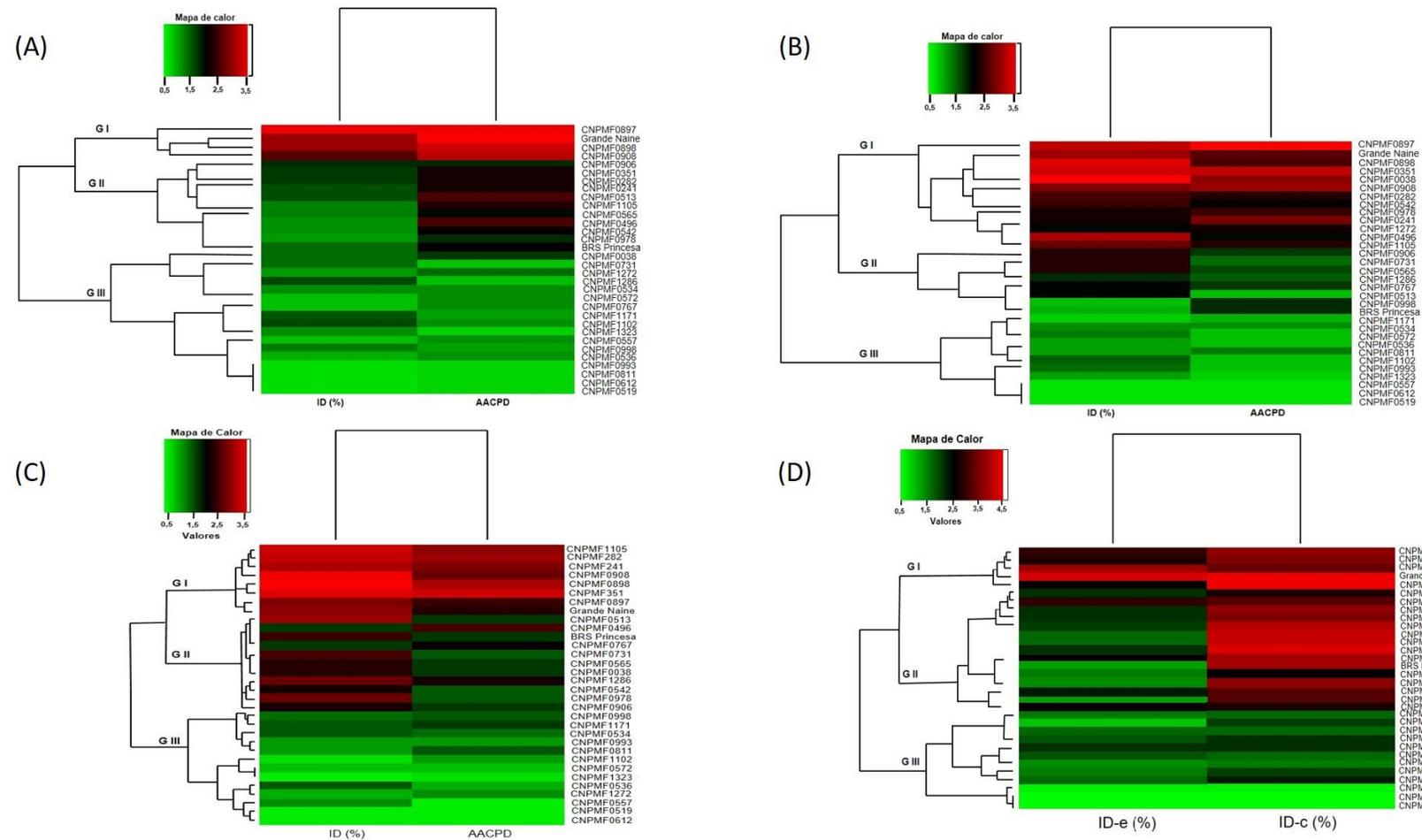


Figura 2. Agrupamento de híbridos de bananeira quanto a resistência a Sigatoka-negra a partir do índice de severidade da doença (ID) e da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) estimados por meio da avaliação dos sintomas em quatro folhas nº 3. (A) avaliação realizada no verão; (B) inverno; (C) anual; (D) global clássica. ID-e: ID emissão do cacho; ID-c: ID na colheita do cacho. GI: suscetíveis, GII: moderadamente resistentes, GIII: resistentes. Embrapa 2019.

Há também interação intralocus no locus *bs1* que aparentemente estão associados com o surgimento dos primeiros sintomas nas folhas e com a interação intralocus nos locus *bsr*, que influenciam no desenvolvimento da doença. Esse fato pode permitir o desenvolvimento de cultivares com resistência durável, em função do seu efeito em reduzir a velocidade do desenvolvimento da doença (CRAENEN e ORTIZ, 1997).

Considerando os três diploides melhorados que apresentaram resistência completa em nosso estudo e com base em suas genealogias, é possível especular que o controle genético da resistência à Sigatoka-negra seja monogênico; já para os híbridos com resistência quantitativa infere-se pelo controle genético poligênico, no entanto, novos estudos são necessários para confirmar essas hipóteses.

Aventa-se que a resistência a Sigatoka-negra observada no diploide CNPMF 0557 venha de alelos do diploide selvagem Pisang Lilin, resistente ao patógeno (BAREKYE et al., 2011); no caso do CNPMF0612, o híbrido SH3263 provavelmente transferiu alelos de resistência no cruzamento. CNPMF0811 e CNPMF0993 têm em suas genealogias Calcutta 4 e Tuu Gia, ambos resistentes a Sigatoka-negra, sendo estes os motivos pelos quais eles foram selecionados como promissores para serem utilizados no programa de melhoramento para futuros cruzamentos com materiais produtivos mas que possuem suscetibilidade a referida doença (ORTIZ-VÁSQUEZ et al., 2005; TIMM et al., 2016). A Embrapa considera a resistência a doenças no germoplasma diploide, em especial a murcha de Fusarium e a Sigatoka-negra, como critério para o planejamento de cruzamentos; além de outras características agrônômicas como porte baixo, produção superior a 100 frutos por cacho, fertilidade masculina, arquitetura pendular do cacho, entre outras (AMORIM et al., 2013).

A Embrapa desenvolve diploides melhorados desde os anos 1982 para uso em cruzamentos. Todos os híbridos selecionados, até o momento, são resistentes à Sigatoka-amarela e murcha de Fusarium raça 1; e alguns também resistentes à Sigatoka-negra, tolerantes à broca do rizoma e nematoides, além de outras características agrônômicas de interesse para o melhoramento. Cabe destacar que o desenvolvimento de diploides melhorados é um processo dinâmico, uma vez que novos híbridos com características superiores são desenvolvidos e selecionados a cada ano (AMORIM et al., 2013).

Quando se compara os híbridos resistentes, percebe-se que alguns se destacam devido a sua genealogia agregada a indivíduos resistentes, como é o caso de indivíduos que tem como seu genitor o M53, material utilizado pelos programas de melhoramento por possuírem características de resistência, fato também observado no diploide Calcutta 4, que além de resistência, apresenta outras características de interesse para a bananicultura brasileira como precocidade de produção e número considerável de filhos. Diante disso, a maioria dos diploides que apresentam pelo menos um desses genitores (M53 e Calcutta 4), se destacaram nas avaliações para Sigatoka- negra como resistentes ou moderadamente resistentes, a exceção dos híbridos CNPMF0978, CNPMF1105 e CNPMF1272, se comportando como suscetível em pelo menos um dos quatro métodos utilizados pelos autores.

A melhor estratégia para desenvolver novos diploides melhorados é cruzar híbridos que apresentem resistência qualitativa com os que possuem resposta quantitativa ao patógeno. Essa estratégia visa desenvolver híbridos com os dois tipos de resistência, aumentando a durabilidade da resistência em nível de campo (ALAKONYA et al., 2018). Na sequência os diploides melhorados desenvolvidos, após completa avaliação agrônômica, serão cruzados com cultivares comerciais suscetíveis visando transferir os alelos de resistência. Nesse contexto, a nova cultivar comercial poderá fazer uso de duas estratégias de defesa; em primeiro lugar o uso da resistência qualitativa, que na possibilidade de ser suplantada pelo patógeno, permitirá ainda o uso da resistência quantitativa.

Outra estratégia a ser adotada é o intercruzamento dos três diploides com resistência completa visando a piramidação de genes de resistência em um novo híbrido, aumentando a possibilidade de uma resistência durável à Sigatoka-negra em campo.

Em se tratando dos híbridos tetraploides avaliados quanto a resistência à Sigatoka-negra no período de maior incidência da doença (inverno), o ID variou de 15,06% a 63,52%, enquanto que a AACPD foi de 1000,21 a 3717,71 (Tabela 2). Percebe-se que o híbrido CNPMF0906 (tipo Prata) e a cultivar BRS Princesa (tipo Maçã), apresentaram moderada resistência ao patógeno. Esse é o primeiro trabalho em campo que relata o nível de resistência da BRS Princesa à Sigatoka-negra, que também apresenta resistência a murcha de Fusarium e a Sigatoka-amarela.

O desenvolvimento de cultivares resistentes à Sigatoka-negra mostra-se uma excelente alternativa para contornar os problemas advindos da suscetibilidade de cultivares comerciais, uma vez que a depender da cultivar, das condições ambientais e do nível de infecção, as perdas causadas pela doença podem variar de 30-100% (CHURCHILL, 2011). Essas perdas necessariamente não estão associadas com a morte da planta, mas refletem no peso reduzido do cacho e no amadurecimento precoce dos frutos (CHILLET et al., 2014; ALAKONYA et al., 2018). Soma-se a isso, questões ambientais, por meio do risco de contaminações pelo uso de fungicidas, e humanas, em especial para pessoas que vivem no entorno das plantações de banana (DE BELLAIRE et al., 2010).

No contexto das mudanças climáticas globais, de acordo com modelos probabilísticos associados com o aumento da temperatura média, estima-se um incremento de 50% na área cultivada com banana no planeta, em especial em regiões subtropicais, a exemplo do Sul do Brasil, e em áreas de altitude. Nesse cenário de temperaturas mais altas, a demanda por água será suprida via irrigação, que a depender do método utilizado pelos agricultores, a exemplos da aspersão ou micro aspersão, também irá permitir incrementos na severidade e na incidência da Sigatoka-negra, assim como o manejo integrado realizado de forma errônea e a pouca efetividade de alguns fungicidas para o controle da Sigatoka-negra, dando condições mais favoráveis para a germinação, penetração e colonização do fungo (CALBERTO et al., 2015). Portanto, cultivares adaptadas a essa nova condição serão cada vez mais demandadas pelos agricultores, em especial associadas com a resistência genética a pragas e doenças.

2.4 CONCLUSÕES

A avaliação dos sintomas da Sigatoka-negra em quatro folhas nº 3 emitidas após o sexto mês de plantio, até a sua completa senescência, mostra-se eficiente na discriminação de híbridos de bananeira resistentes e suscetíveis.

A seleção de híbridos quanto a resistência a Sigatoka-negra, nas condições do Recôncavo da Bahia- Brasil, é mais efetiva quando concentrada na estação de inverno, onde há melhores condições para o desenvolvimento do patógeno.

Três diploides melhorados apresentaram resistência completa à Sigatoka-negra e tem potencial de uso em cruzamentos com cultivares comerciais suscetíveis visando transferir alelos de resistência para o germoplasma comercial.

Um híbrido tetraploide do tipo Prata apresenta resistência quantitativa à Sigatoka-negra e tem potencial para teste em áreas de produção visando quantificar o seu potencial para uso comercial.

A cultivar comercial BRS Princesa, híbrido do tipo Maçã desenvolvido pela Embrapa, apresenta resistência quantitativa à Sigatoka-negra.

Os híbridos diploides e tetraploides apresentaram características de resistência e produção superior ao dos seus genitores, fato que já era esperado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação Bill e Melinda Gates pelo suporte financeiro à execução desse trabalho e a Embrapa Mandioca e Fruticultura pelo espaço de instalação do experimento.

Trabalho realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Agritempo**: sistema de monitoramento agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario>>. Acesso em: 06 de dezembro, 2018.

ALAKONYA, A. E.; KIMUNYE, J.; MAHUKU, G.; AMAH, D.; UWIMANA, B.; BROWN, A.; SWENNEN, R. Progress in understanding *Pseudocercospora* banana pathogens and the development of resistant *Musa* germplasm. **Plant Pathology**. v.67, p.759-770, 2018.

<https://doi.org/10.1111/ppa.12824>

AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, V. B. O.; FERREIRA, C.F.; SILVA, S. Banana breeding at Embrapa Cassava and Fruits. **Acta Horticulturae**, v.986, p.171-176, 2013.

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.18>

BAREKYE, A.; TONGOONA, P.; DERERA, J.; LAING, M.; TUSHERMEREIRWE, W. K. Appraisal of methods for assessing black Sigatoka resistance in diploid banana populations. **African Journal of Plant Science**. v.5, p.900-908, 2011.

CALBERTO, G. G.; STAVER, C.; SILES, P. An assessment of global banana production and suitability under climate change scenarios. In: Elbehri A, Climate Change and Food Systems: **Global Assessments and Implications for Food Security and Trade**. Rome, Italy: Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2015, p.266-291.

CASTELANA, F. P.; SARAIVA, L. A.; LANGE, F.; DE BELLAIRE, de L.; CORDENUNSI, B. R.; CHILLET, M. Effects of black leaf streak disease and Sigatoka disease on fruit quality and maturation process of bananas produced in the subtropical conditions of Southern Brazil. **Crop Protection**. v.35, n.1, p.127-131, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.002>

CHILLET, M.; CASTELAN, F. P.; ABADIE, C.; HUBERT, O.; CHILIN-CHARLES Y.; DE BELLAIRE, L. L. Effect of different levels of Sigatoka disease severity on banana pulp colour and early ripening. **Canadian Journal of Plant Pathology**. v.36, n.1, p.48-53, 2014. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.870931>

CHURCHILL, A. C. L. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. **MOLECULAR PLANT PATHOLOGY**. V.12, n.4, p.307-328, 2011. <https://doi.org/10.1111/J.1364-3703.2010.00672.X>

CRAENEN, K.; ORTIZ, R. Effect of the *bs1* gene in plantain-banana hybrids on response to black Sigatoka. **Theoretical and Applied Genetics** v.95, p.497-505, 1997.

<https://doi.org/10.1007/s001220050589>

CROUS, P. W.; TANAKA, K.; SUMMERELL, B. A.; GROENEWALD, J. Z. Additions to *Mycosphaerella* complex. **IMA Fungus**. v.2, p.49-64, 2011.

DE BELLAIRE, L. L.; FOUR, E.; ABADIE, C.; CARLIER, J. Black Leaf Streak Disease is challenging the banana industry. **Fruits**. v.65, n.6, p.327-342, 2010. <https://doi.org/10.1051/fruits/2010034>

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations** Faostat: Production.in2012.Rome.Availableat:<<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Accessed on: Março de 2018.

GAGNÉ, E. S.; CLUZET, S.; MERILLON, J. M.; GENY, L. ABA initiates anthocyanin production in grape cell cultures. **Journal of Plant Growth Regulation**. v.30, p.1-10, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00344-010-9165-9>

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R.; HANADA, R. E.; MONTARROYOS, A. V. V. **Sigatoka- negra da bananeira**. Manaus: Embrapa Amazonia Ocidental, 2006. p.177.

GAUHL, F.; PASBERG-GAUHL, C.; JONES, D. R. (2000) Black leaf streak: disease cycle and epidemiology. In: **Diseases of Banana, Abacá and Enset** (Jones, D. R.), 2000, p.56-62.

GAUHL, F.; PASBERG-GAUHL, C.; VUYLSTEKE, D; ORTIZ, R. Multilocational evaluation of black sigatoka resistance in banana and plantain. **Abuja: International Institute of Tropical Agriculture**, v.47, p.59, 1989.

JIMENEZ, M. I.; VAN DER VEKEN, L.; NEIRYNCK, H.; RODRIGUEZ, H.; RUIZ, O. SWENNEN, R. Organic banana production in Ecuador: its implications on black Sigatoka development and plant-soil nutritional status. **Renewable Agriculture & Food Systems**. v.22, p.297-306, 2007. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001895>

Jones, D. R. Sigatoka. In: **Diseases of Banana, Abacá and Enset** (Jones, D. R.), 2000, p.79-92. New York: CABI Publishing.

KRZANOWSKI, W. J. e LAI, Y. T. A Criterion for Determining the Number of Groups in a Data Set Using Sum-of-Squares Clustering. **Biometrics**, v.44, n.1, p.23-34, 1988. <https://doi.org/10.2307/2531893>

LU, Y.; QI, Y. X.; ZHANG, H.; ZHANG, H.Q.; PU, J.J., XIE, Y.X. Separation and identification of *Musa acuminata* Colla (banana) leaf proteins by two-dimensional gel electrophoresis and mass spectrometry. **Genetics and Molecular Research**, v.12, n.4, p.6871-6881, 2013. <https://doi.org/10.4238/2013.December.19.6>

MADDEN, L. V.; HUGLES, G.; BOSCH, F. V. D. The study of Plant Disease Epidemics. **The American phutopathological society**. v.32, p.31-63, 2007. ISBN: 978-0-89054-505-8

MCKINNEY, H. H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v.26, n.5, p.195-217, 1923.

ORTIZ-VASQUEZ, E.; KAEMMER, D.; ZHANG, H. B.; MUTH, J.; RODRIGUEZ-MENDIOLA, M.; ARIAS-CASTRO, C. JAMES, A. Construction and characterization of a plant transformation-competent BIBAC library of the black Sigatoka-resistant banana *Musa acuminata* cv. Tuu Gia (AA). **Theor Appl Genetic**.110, n.4, p.706-713, 2005.

<https://doi.org/10.1007/s00122-004-1896-1>

ORTIZ, R.; VUYLSTEKE D. Inheritance of black Sigatoka resistance in plantain and banana (*Musa* spp.) hybrids. **Theoretical and Applied Genetics** v.89, p.46-52, 1994.

<https://doi.org/10.1007/BF00225134>

PERRIER, X.; DE LANGHE, E.; DONOHUE, M.; LENTFER, C.; VRYDAGHS, L.; BAKRY, F., CARREL, F.; HIPPOLYTE, I.; HORRY, J. P.; JENNY, C.; LEBOT, V.; RISTERUCCI, A. M.; TOMEKPE, K.; DOUTRILEPONT, H.; BALL, T.; MANWARING, J.; DE MARET, P.; DENHAM, T. Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. Proceedings of the National Academy of Sciences, **PNAS**, v.108, n.28, p.11311-11318, 2011. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102001108>

R Core Development Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.12.1. ISBN 3-900051-07-0. **R Foundation for Statistical Computing**, Viena, Austria.

REBOUÇAS, T. A.; HADDAD, F.; FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA, S. A. S. de; LEDO, C. A. da S.; AMORIM, E. P. Identification of banana genotypes resistant to *Fusarium* wilt race 1 under field and greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v.239, p.308-313. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.037>

STOVER, R. H. Banana Plantain and Abaca Diseases. **Common Welth Mycological Institute**, p.316, 1972.

TIMM, E. S.; PARDO, H. L.; COELLO, R. P.; NAVARRETE, T. C.; VILLEGAS, O. N.; ORDONEZ, E. S. Identification of differentially-expressed genes in response to *Mycosphaerella fijiensis* in the resistant *Musa* accession 'Calcutta-4' using suppression subtractive hybridization. **PLOS ONE**. v.11, n.9, p.1-17, 2016.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160083>

Tabela suplementar 1. Vida útil (dias) de quatro folhas nº3 entre híbridos diploides e tetraploides de bananeira em área naturalmente infestada por Sigatoka-negra. Embrapa 2019.

Híbridos	Vida útil das folhas				Média
	F1	F2	F3	F4	
Híbridos diploides					
CNPMF0557	106,00	69,00	63,00	70,00	77,00
CNPMF0496	77,00	63,00	62,00	56,00	64,50
CNPMF0513	50,00	71,00	76,00	55,00	63,00
CNPMF0519	64,00	90,00	92,00	84,00	82,50
CNPMF0536	77,00	49,00	63,00	70,00	64,75
CNPMF0534	64,00	63,00	64,00	84,00	68,75
CNPMF0542	49,00	79,00	62,00	56,00	61,50
CNPMF0565	55,00	35,00	64,00	40,00	48,50
CNPMF0572	77,00	77,00	53,00	70,00	69,25
CNPMF0612	55,00	77,00	77,00	69,00	69,50
CNPMF0731	64,00	50,00	50,00	43,00	51,75
CNPMF0767	77,00	83,00	56,00	77,00	73,25
CNPMF0811	64,00	64,00	49,00	84,00	65,25
CNPMF0038	77,00	62,00	56,00	70,00	66,25
CNPMF1102	77,00	62,00	56,00	56,00	62,75
CNPMF1171	77,00	62,00	63,00	70,00	68,00
CNPMF0993	64,00	49,00	63,00	64,00	60,00
CNPMF1323	77,00	49,00	49,00	42,00	54,25
CNPMF1105	77,00	83,00	68,00	83,00	77,75
CNPMF0998	77,00	83,00	68,00	42,00	67,50
CNPMF0978	92,00	85,00	84,00	45,00	76,50
CNPMF1272	64,00	64,00	63,00	84,00	68,75
CNPMF1286	77,00	64,00	50,00	43,00	58,50
Híbridos tetraploides					
	3F1	3F2	3F3	3F4	Média
CNPMF0898	48,00	58,00	69,00	68,00	60,75
CNPMF0241	64,00	64,00	49,00	56,00	58,25
CNPMF0282	64,00	77,00	42,00	84,00	66,75
CNPMF0351	64,00	64,00	77,00	70,00	68,75
CNPMF0897	53,00	42,00	62,00	77,00	58,50
CNPMF0908	45,00	79,00	63,00	80,00	66,75
CNPMF0906	48,00	77,00	90,00	84,00	74,75
BRS Princesa	64,00	77,00	77,00	84,00	75,50
Testemunhas					
Grande Naine	45,00	58,00	77,00	56,00	59,00

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho é pioneiro no estudo da avaliação de doenças utilizando métodos de ganho por seleção e quatro métodos de avaliações para índices de severidade da doença em diferentes estações do ano com híbridos diploides e tetraploides de bananeira.

Os diploides melhorados selecionados mostrou-se com potencial de uso em cruzamentos com cultivares comerciais suscetíveis a Foc1, sendo este fator uma das características fundamentais para a seleção desses diploides superiores, visando desenvolver novas cultivares com resistência genética e características agrônomicas alinhadas com as demandas de mercado. Em se tratando dos híbridos tetraploides selecionados, esses, têm potencial para recomendação aos agricultores brasileiros, a exemplos do híbrido CNPMF0906 (tipo Prata) e da cultivar comercial BRS Princesa, híbrido do tipo Maçã desenvolvidos pela Embrapa, que apresenta resistência satisfatória à Foc1 e Sigatoka-negra.

A identificação da melhor época para realização das avaliações de Sigatoka-negra na região do Recôncavo da Bahia em conjunto com o uso de critérios de seleção precoce, de forma a acelerar o desenvolvimento de cultivares para disponibilizá-las aos agricultores, auxilia no ganho de tempo para avaliação de cultivares e disponibilização desses materiais para o mercado consumidor.

A seleção de híbridos resistentes a Murcha de *Fusarium* raça 1 e Sigatoka-negra a partir de avaliações a campo com uso de novas formas de avaliações, classifica como inédita e inovadora contribuindo para o avanço dos estudos dessas doenças e do melhoramento genético da bananeira, assim como o desenvolvimento de novos materiais para cruzamentos e novas cultivares resistentes para uso junto aos agricultores, contribuindo dessa forma para o avanço da bananicultura brasileira.