

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

**Fenotipagem de características morfoagrômicas
de acessos de mamoeiro do banco ativo de
germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura**

LUCAS EZEQUIEL DA COSTA DIAS

CRUZ DAS ALMAS / BAHIA

2021

**Fenotipagem de características morfoagrômicas
de acessos de mamoeiro do banco ativo de
germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura**

Lucas Ezequiel da Costa Dias

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2018

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo
Coorientador: Dr. Diego Fernando Marmolejo Cortes

CRUZ DAS ALMAS / BAHIA

2021

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

Fenotipagem de Características morfoagrômicas de
acessos de mamoeiro do banco ativo de germoplasma da
Embrapa Mandioca e Fruticultura

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE MESTRADO DE
Lucas Ezequiel da Costa Dias

Realizada em 21 de Janeiro de 2021

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ EMBRAPA
Examinador Externo (Orientador)

Dra. Laurenice Araújo dos Santos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/ UFRB
Examinador Interno

Dra. Hellen Cristina da Paixão Moura
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ EMBRAPA
Examinador Externo

CRUZ DAS ALMAS / BAHIA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

D541f	<p>Dias, Lucas Ezequiel da Costa. Fenotipagem de características morfoagrônomicas de acessos de mamoeiro do banco ativo de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura / Lucas Ezequiel da Costa Dias. – Cruz das Almas, BA, 2021. 63f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo. Coorientador: Dr. Diego Fernando Marmolejo Cortes.</p> <p>1.Mamão – Cultivo. 2.Mamão – Melhoramento genético. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.651</p>
-------	--

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
REFERENCIAL TEÓRICO	1
Taxonomia e botânica do mamoeiro.....	1
Importância econômica	2
Melhoramento do mamão	3
Fenotipagem	4
Sensoriamento Remoto e VANTs	6
NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).....	7
ARTIGO 1	16
FENOTIPAGEM ASSISTIDA POR IMAGENS DIGITAIS EM ACESSOS DE MAMOEIRO ¹	16
ARTIGO 2	42
ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS COM USO DE DRONE EM ACESSOS DE MAMOEIRO ²	42

FENOTIPAGEM DE CARACTERÍSTICAS MORFOAGRÔNICAS DE ACESSOS DE MAMOEIRO DO BANCO ATIVO DE GERMOPLASMA DA EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA

Autor: Lucas Ezequiel da Costa Dias

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

RESUMO: O uso da tecnologia na agricultura brasileira vem ganhando cada vez mais destaque nos últimos anos. Nosso país segundo dados da FAO é o segundo maior produtor de mamão do mundo, e tem o estado da Bahia como o segundo maior produtor do país, tornando assim uma cultura de grande importância econômica. Devido a esse fato se tem a necessidade de desenvolver novas variedades através dos programas de melhoramento genético, o método de caracterização mais usual hoje é o manual, que acaba se tornando uma atividade trabalhosa, demorada, com custos elevados devido necessidade de muita mão de obra e destrutivo em alguns casos. O objetivo foi avaliar 15 acessos do BAG mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura, usando imagens digitais para descritores de interesse. O coeficiente de repetibilidade individual apresentou elevadas magnitudes ($\rho > 0,5$) para as características avaliadas com exceção do NFC (número de frutos comerciais) e o COMP (comprimento do pescoço) nas duas metodologias. Os maiores coeficientes de ρ foram obtidos nas características AP e DC com magnitudes de 0,93 e 0,84 pela FM e de 0,95 e 0,84 empregando a FBI, respectivamente. O coeficiente de repetibilidade individual apresentou elevada magnitude ($\rho > 0,5$) apenas para a característica APC (altura da planta), com magnitude de 0,73. Magnitudes baixíssimas foram obtidas para o APD (diâmetro da copa) (0,27) e o NDVI (0).

Palavras Chaves: Melhoramento Genético, Descritores e Imagens digitais.

PHENOTYPING OF MORPHOAGRONOMIC CHARACTERISTICS OF PAPAYA ACCESSIONS FROM THE ACTIVE GERMPLASM BANK OF EMBRAPA CASSAVA AND FRUIT

Author: Lucas Ezequiel da Costa Dias

Advisor: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

ABSTRACT: The use of technology in Brazilian agriculture has gained increasing prominence in recent years. According to FAO data, our country is the second largest papaya producer in the world, and the state of Bahia is the second largest producer in the country, thus making it a culture of great economic importance. Due to this fact, there is a need to develop new varieties through genetic improvement programs, the most common characterization method today is the manual, which ends up becoming a laborious, time-consuming activity, with high costs due to the need for a lot of labor and destructive in some cases. Thinking about it, we did a work where the objective was to evaluate 15 accessions of the BAG papaya from Embrapa Cassava and fruit growing, using digital images for descriptors of interest. The individual repeatability coefficient showed high magnitudes ($\rho > 0.5$) for the characteristics evaluated, with the exception of the NFC and the COMP in both methodologies. The highest coefficients of ρ were obtained in the AP and DC characteristics with magnitudes of 0.93 and 0.84 by the FM and 0.95 and 0.84 using the FBI, respectively. The individual repeatability coefficient showed a high magnitude ($\rho > 0.5$) only for the APC characteristic, with a magnitude of 0.73. Very low magnitudes were obtained for APD (0.27) and NDVI (0).

Keywords: Genetic Improvement, Descriptors and Digital images.

REFERENCIAL TEÓRICO

Taxonomia e botânica do mamoeiro

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma cultura predominante de clima tropical e tem como centro de origem provavelmente o sul do México e o norte da América Central (Badillo, 1993). A família Caricacea possui seis gêneros com 35 espécies, em que o *Carica* é de maior importância econômica com apenas uma espécie (ESQUIVEL et al., 2009).

A planta de mamão possui uma raiz principal do tipo pivotante, onde nos primeiros 30 cm de solo se encontra o maior número de raízes, podendo chegar uma camada de solo de um metro de profundidade e altura até duas vezes maior que a própria planta. O caule apresenta um formato cilíndrico com 10 cm a 30 cm de diâmetro e se trata de uma planta herbácea. As folhas são alternadas e grandes, com margens fortemente recortadas, com pecíolo longo que pode variar de 50 cm a 70 cm de comprimento (DANTAS; CASTRO NETO, 2000).

O mamoeiro é uma planta diploide, com 18 cromossomos. As plantas dessa espécie podem apresentar três tipos de flores, masculinas, femininas e hermafroditas (DAMASCENO JUNIOR; PEREIRA; PEREIRA, 2018). A hermafrodita é a flor de grande interesse comercial, com três formas: pentandra, intermediária e alongada. Entre esses três tipos citados apenas a alongada origina frutos de interesse econômico, enquanto as demais dão origem a frutos deformados sem interesse para o mercado. (DANTAS; CASTRO NETO, 2000).

O fruto do mamoeiro é do tipo baga e pode atingir diversas formas, dependendo do tipo de flor, podendo ser arredondado, oblongo, alongado, cilíndrico e piriforme. Quanto às características físicas, o fruto possui uma casca lisa e fina que pode variar de amarelo claro a alaranjada quando em estágio final de maturação e sua polpa vai do amarelo ao avermelhado. Seu comprimento pode chegar até 50 cm com um peso que pode variar de gramas até 10 quilos (DANTAS; CASTRO NETO, 2000). As sementes de mamão são pequenas e envolvidas por uma membrana externa denominada de

sarcotesta (mucilagem) e uma membrana externa esclerotesta (enrugada) (TOKUHISA et al., 2007).

Importância econômica

O Brasil desde meados do século XX até os dias de hoje vem sofrendo mudanças significativas na cadeia produtiva de mamão, e uma dessas consequências que alavancaram essas mudanças são as pesquisas que fizeram com que o Brasil deixasse de produzir frutos com qualidades apenas para o mercado interno, mas também para o mercado externo, e como consequência hoje ser um dos maiores exportadores e produtores mundiais (RUGGIERO; MARIN; DURIGAN, 2011).

Dados da HFBRASIL indicam que o Brasil exportou entorno de 39,9 mil toneladas de mamão em 2016 com Bahia e Espírito Santo a frente nessa exportação (HFBRASIL, 2016).

Segundo dados da FAOSTAT, o Brasil ocupa a segunda posição na produção de mamão do mundo, com mais de 1,6 milhão de toneladas, ficando atrás da Índia maior produtora do mundo. Em nível nacional, o nordeste e sudeste apresentam a maior parcela da produção de mamão do país, a Bahia tem 33,6% dessa produção, Ceará 10,2% e Espírito Santo 34,7%, sendo esses três os principais estados produtores da cultura, Prado-Ba e Pinheiros-ES são os municípios com maiores produções no Brasil (IBGE, 2019; FAO, 2019).

A cultura do mamão, além de movimentar o mercado com exportações e consumo interno, torna-se grande geradora de empregos uma vez que o pomar tem que ser renovado a cada três anos no máximo, e é uma fruteira que produz o ano inteiro, assim a cultura torna-se de grande cunho social, gerando empregos para as diversas atividades desenvolvidas no pomar durante a implantação, colheita e pós-colheita (SOUZA, 2000).

Para a indústria, a fruta tem grande importância, pois além de poder ser consumida in natura e processada, também possui substâncias como a papaína que é de grande valor para indústria farmacêutica, alimentícia e em procedimentos laboratoriais. A papaína pode ser encontrada em diversas partes da planta, como, raiz, caule, folhas e frutos, essa enzima é importante pois tem funções biológicas de quebrar as proteínas e em tratamento da cicatrização de feridas (LI; YANG; BAI, 2018).

Melhoramento do mamão

O melhoramento genético de mamão é fundamental, pois é necessário desenvolver novas cultivares com características superiores às já existentes, e com qualidades que atendam às exigências dos produtores rurais e consumidores (BARROS et al., 2017). Mesmo o Brasil tendo uma alta produção e consumo, possui alguns gargalos quanto ao crescimento e à conservação dos plantios de mamão, principalmente pela ocorrência de doenças e pragas. Diante deste cenário, os bancos de germoplasma possuem uma função crucial quando se trata de conservar a variabilidade genética para fins de melhoramento genético, e assim alcançar genótipos diferentes que atendam essa necessidade, como cultivares resistentes a doenças e pragas e tolerantes a estresse hídrico (VIVAS et al., 2017).

O aperfeiçoamento de práticas agrícolas e novas técnicas de cultivo para que se obtenha um aumento de produtividade em diversas espécies frutíferas se faz necessário, e atrelado a isso, o uso do melhoramento genético, que contribui satisfatoriamente para o aumento da produção. O grande objetivo em um programa de melhoramento de mamão é obter linhagens ou híbridos resistentes às principais doenças e pragas da cultura, tolerância ao estresse hídrico, aumento da produção, qualidade do fruto e precocidade, contudo esse objetivo será alcançado com uso de técnicas de melhoramento, técnicas essas de agrupamento de germoplasma diversificados, seleção de indivíduos superiores e obtenção de novas variedades através desses indivíduos selecionados (DANTAS; LIMA, 2001 e FOLTRAN et al., 1993).

As variedades mais cultivadas pertencem aos grupos Solo e Formosa, onde os genótipos do grupo Solo possuem características que atendem melhor às exigências do mercado externo, características essas de polpa avermelhada, tamanho pequeno e peso entre 300 e 650 g. Os frutos do grupo Formosa têm características de polpa laranja-avermelhada e peso que pode variar de 1kg a 1,3kg, e geralmente formados por híbridos comerciais, mas também podem ser constituídos por linhagens (DIAS; OLIVEIRA; DANTAS, 2012).

O desafio hoje em programas de melhoramento genético de plantas do mamoeiro é disponibilizar cultivares, no mercado nacional que sejam resistentes a doenças e pragas, tolerância ao estresse hídrico, aumento da produção, qualidade do fruto e precocidade, e com isso disponibilizar ao produtor sementes com baixo custo, uma vez

que se sabe que o custo das sementes é elevado, e assim ter uma melhor qualidade na aparência do fruto e maior rendimento de produção, proporcionando um produto final com características físico-químicas e sensoriais melhores, e consequentemente diminuindo os custos na produção (DANTAS; LUCENA; VILAS BOAS, 2015).

Dentro de um programa de melhoramento a caracterização do banco ativo de germoplasma é um processo de grande importância pois permite que se obtenha dados essenciais ao programa, além de permitir estudos da diversidade genética do BAG a partir desses dados obtidos, podendo ser caracteres de natureza qualitativa ou quantitativa, além de ser fundamentais para o uso coerente dos recursos genéticos vegetais (LUCENA; DANTAS, 2017).

Métodos estatísticos adequados para avaliar experimentos em campo são fundamentais, pois podem auxiliar os pesquisadores nas tomadas de decisões durante experimentos e, consequentemente, aumentar a eficiência das seleções nos programas de melhoramento. A predição de parâmetros genéticos, como repetibilidade e herdabilidade, é uma contribuição importante da genética quantitativa para os programas de melhoramento de plantas, as técnicas analíticas mais usuais para abordagens genéticas quantitativas em plantas é REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita e melhor modelo de previsão linear imparcial respectivamente), esses dois métodos de modelo misto têm como vantagens: serem aplicados em dados desequilibrados, permitem avaliar dados sem um delineamento experimental definido, possibilitam analisar um grande número de dados de vários experimentos, e assim, fornece resultados com precisão, além de, maximizar o ganho de seleção (SANCHÉZ et al., 2017).

As plantas frutíferas perenes necessitam de longas etapas de avaliações e seleções de genótipos nos programas de melhoramento, técnicas capazes de ampliar a eficácia dos processos devem ser priorizadas. Entre os procedimentos, os modelos REML e BLUP foram aplicados com êxito ao melhoramento genético de várias espécies frutíferas, como uva (Sales et al., 2019), manga (Maia et al., 2014), mamão (Santa-Catarina et al., 2019) e cupuaçu (Alcoforado et al., 2019). O coeficiente de repetibilidade, é estimado quando a medição de uma determinada característica é repetida, no tempo ou no espaço, no mesmo indivíduo (ALCOFORADO et al., 2019).

Fenotipagem

A fenotipagem serve para se obter valores quantitativos e qualitativos dos caracteres em estudo, e relacioná-los ao comportamento de um determinado genótipo no ambiente em que se encontra (DE SOUSA et al., 2015).

Para que novas cultivares sejam lançadas no mercado e atendam às expectativas quanto à produção, processamento e venda de sementes, devem passar por rigorosos processos de caracterização, onde são estabelecidos descritores mínimos e capazes de diferenciar essa nova cultivar dos já pré-existentes. No entanto, para que essa caracterização seja realizada se faz o uso de 46 descritores morfológicos e agrônômicos, para caracterizar acessos de germoplasma e cultivares de mamoeiros. O alto número de genótipos a serem descritos atrelados ao grande número de observações e às medidas para cada descritor, torna onerosa exigindo tempo para que se tenha dados precisos (OLIVEIRA; DIAS; DANTAS, 2012).

O mamão possui um longo período de reprodução, onde inúmeras aferições por indivíduo e com variadas condições ambientais são realizadas. Trabalhos de pesquisa exigem várias replicações, alto número de tratamentos além de exatidão e rigidez no método de avaliação escolhido. Atualmente, a fenotipagem manual é a ferramenta mais utilizada para mensurar características de interesse e exige uma grande demanda de mão de obra e tempo, sendo que esse método limita a avaliação de um extenso número de plantas e conseqüentemente reduz a exatidão experimental, além de diminuir as chances de seleção de genótipos superiores (CORTES et al., 2017).

Geralmente, a demanda por novas cultivares requer muitas vezes longos períodos de triagem e seleções intensas. Com o avanço do programas de melhoramento, os pesquisadores estão sempre em busca de novas técnicas para aumentar a eficácia na seleção de indivíduos. O uso de mapas genéticos, marcadores moleculares e seleção genômica são ferramentas muito eficientes quanto, a caracterização do genótipo. Mesmo com a grande importância para o melhoramento de plantas, a fenotipagem não evoluiu no mesmo ritmo, e existe uma grande demanda de métodos mais eficientes além dos já existentes. Novas formas de fenotipagem com rendimento alto e confiável são necessárias para desvendar a relação entre os fatores genéticos e ambientais, e as variações do fenótipo em nível de planta e população (JUNG et al., 2018).

A fenotipagem com ajuda de tecnologias avançadas é uma técnica fundamental para o melhoramento genético de plantas nas pesquisas futuras. Clareza, automatização

e precisão da análise de dados fenotípicos são ferramentas que ajudam a reduzir as dificuldades da fenotipagem. O uso de análise de imagens e métodos para interpretá-las é uma das ferramentas que podem aprimorar a fenotipagem e conseqüentemente ter um maior número de avaliações, melhorar a qualidade dos dados e assim diminuir o erro experimental (ROSCHER et al., 2014).

A agricultura hoje faz o uso de processamento de imagens como técnica de análise. Esse uso consiste em usar o sensoriamento remoto terrestre ou aéreo de culturas na identificação de doenças em diversas partes da planta e pode auxiliar na caracterização das plantas (PANDEY; NAIK; MARFATIA, 2013).

O uso de processamento de imagens digitais nas ciências agrárias bem como a utilização de computadores compreende inúmeras áreas. Essas ferramentas podem ser usadas para práticas de pré e pós-colheita, na avaliação da qualidade dos frutos por exemplo, previsão de produtividade, inferência em doses de adubação e irrigação, vigilância em espaço aéreo de lavouras, análise de doenças e déficit hídrico, além de ser uma importante ferramenta na obtenção de características morfológicas e morfoagronômicas. O processamento de imagens com auxílio computacional para visualização tem conquistado atenção da fenotipagem de plantas por se ter vantagens práticas em relação à fenotipagem manual, vantagens essas como, mensuração não destrutiva, funcionalidade, baixo custo com mão-de-obra e conseqüentemente ganho de tempo, além de grande exatidão (CORTES, 2017).

Sensoriamento Remoto e VANTs

O ano de 1970 foi o estopim para os estudos e pesquisas com sensoriamento remoto sendo usado nas culturas agrícolas, Nos últimos anos, os DRONES ou VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) vêm cada vez mais se tornando uma alternativa na agricultura em vários países, onde se teve a chance de empregar no campo os princípios da agricultura de precisão, fundamentada em recursos da ciência e tecnologia da informação buscando melhorar o rendimento agrícola (MICHELON et al., 2019).

A técnica do sensoriamento remoto é um método capacitado para tornar mais fácil a aquisição de dados para pesquisas na área de ciências agrárias, humanas e meio ambiente, e assim tornando a obtenção desses dados mais fácil quando comparado ao levantamento de campo. Ligado ao Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) e ao

Geoprocessamento, é uma área da ciência denominada de geotecnologias, com consequências favoráveis quando se trata de geração de dados (RIBEIRO, 2016).

A sigla VANT é usada quando se trata de aeronaves autônomas, semiautônomas ou remotamente operadas. De acordo com a Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA), VANT é: “Um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito do solo, que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo (JORGE et al., 2014).

Os Veículos Aéreos Não Tripulados possuem grandes vantagens como ser capaz de analisar grande áreas em tempo reduzido e sem obstáculos. Essas características permitem a ampliação do seu uso na agricultura. O gasto inicial na compra de um VANT pode variar conforme as características do mesmo, como: peso mínimo sustentado; tempo de voo e sensores acoplados. Esses sensores podem variar desde uma simples câmera RGB de resolução baixa até uma câmera hiperespectral de alta resolução. Quanto maior o sensor, maior o valor agregado ao VANT (VIANA et al., 2018).

NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

Segundo Tucker (1979), o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), é a razão diferenciada de refletância no comprimento de onda vermelho e no infravermelho próximo. É um índice amplamente utilizado em pesquisas agrônômicas e inicialmente seu uso foi motivado para prever indiretamente o rendimento de grãos usando bandas disponíveis no espaço com dados de satélite Landsat (DUAN et al., 2017).

O NDVI é um índice de vegetação proposto por Rouse et al. (1974) que tem sido empregado para medidas da coloração verde e o tamanho do aparelho fotossintético de uma determinada cultura. O NDVI pode variar dentro de uma escala que vai de -1 a 1, que quando se tem valores maiores, maiores as diferenças entre as reflectâncias do infravermelho próximo com o vermelho, e conseqüentemente aponta uma maior quantidade de clorofila e vigor da planta, assim se tem um indicativo do potencial de produção das plantas (PIRES et al., 2014).

O acompanhamento de culturas em campo usando o sensoriamento como ferramenta, através do uso de imagens de satélite para obter os índices de vegetação é

considerado um grande ganho para agricultura de uma forma geral, pois é um método que complementa alguns manejos culturais. O NDVI é o índice mais utilizado, por ser mais sensível à presença de pigmentos que participam da fotossíntese e por ser de utilização prática, proporcionando uma constatação hábil de alteração na vegetação (ALFACE et al., 2019).

Características fisiológicas como a coloração verde e a estrutura do dossel, podem ser adquiridas por uma câmera RGB (geração de imagens com base em um modelo de cor aditivo Red-Green-Blue) de alta definição, no entanto, diversos índices de vegetação são obtidos através de sensores de imagem multi e hiperespectrais, para mensuração de características importantes como: biomassa, nível de estresse e potencial de rendimento (BAUER et al., 2019).

A caracterização de culturas no decorrer de seus ciclos produtivos ou em programas de melhoramento genético, deve ser realizada, e métodos não destrutivos devem ser desenvolvidos. Diante dessas circunstâncias, o sensoriamento remoto torna uma ferramenta poderosa para determinar com exatidão as características que descrevem a copa de uma determinada cultura por exemplo, altura da planta, fração verde, índice de área foliar (IAF) e a compostos químicos presentes em folhas, como quantidade clorofila e nitrogênio (JAY et al., 2017).

Atualmente, com o progresso de algoritmos aplicados em imagens que possibilitam a costura de imagem e técnicas de geração ortomosaica, proporciona imagens com alta definição, que podem ser coletadas por VANTs e aeronaves leves de asa fixa, o que possibilita a fenotipagem de campo de alta qualidade e análise fenotípica de alto rendimento (BAUER et al., 2019).

O sensoriamento remoto em VANTs de baixa altitude tem grande capacidade para realizar fenotipagem rápida e de uma forma não destrutiva. As câmeras multiespectrais tem sido usadas em muitos estudos, porque a clorofila das folhas refletem fortemente a luz NIR, e alguns índices baseados na taxa de reflectância do NIR, como NDVI, são relevantes para avaliação da fenologia de algumas culturas em diferentes fases do desenvolvimento mediante ao sensoriamento remoto.

O NDVI é um índice que está ligado ao IAF (Índice de Área foliar), e é muito sensível a alterações na projeção da copa das culturas quando este índice está baixo. Alguns trabalhos indicam que o rendimento medido a partir do NDVI tem uma conexão forte com o rendimento de grãos no trigo; além disso, alguns experimentos vem sendo

realizados para estimar a altura da planta, biomassa e cobertura do solo, taxa de senescência através de imagens aéreas de VANTs, usando RGB e sensores multiespectrais em sorgo, cevada, algodão e trigo (DUAN et al., 2017; HASSAN et al., 2019).

Pesquisas precisam focar no desenvolvimento de métodos capazes de realizar uma fenotipagem de alto rendimento, onde a avaliação de características pode ser feita com uma execução mais acelerada, sem afetar a precisão e a exatidão. Ainda que se tenha um certo progresso, é necessário validar a aplicação de tecnologias para fenotipar características de culturas específicas em condições de campo. Os veículo aéreos não tripulados, quando anexado a sensor óptico apropriado, torna-se uma ferramenta confiável para uma fenotipagem rápida em campo (SANKARAN et al., 2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO, Ayulle Thalía Watson, et al. Repeatability of morpho-agronomic characters of *Theobroma grandiflorum* fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2019, 41.2.

ALFACE, ANGELO B. et al. Sugarcane spatial-temporal monitoring and crop coefficient estimation through NDVI. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 330-335, 2019.

BADILLO, VICTOR M. Caricaceae: segundo esquema. **Revista de la Facultad de Agronomía**. Alcance-Universidad Central de Venezuela (Venezuela) nº. 43 111 p., 1993.

BARROS, GISLANNE BRITO DE ARAÚJO et al. Capacidade combinatória de linhagens recombinadas de mamoeiro oriundas de retrocruzamento para conversão sexual. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 166-174, jan./mar, 2017.

BARBOSA, JULIERME Z. et al. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 15-24, 2016.

BAUER, A., et al. Combining computer vision and deep learning to enable ultra-scale aerial phenotyping and precision agriculture: A case study of lettuce production. **Horticulture research**, 2019, 6: 70.

CORTES, D. F. M. **Desenvolvimento de linhagens de mamoeiro assistido por imagens digitais**. 2017. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes.

CORTES, D. F. M. et al. Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294-302, 2017.

DAMASCENO JUNIOR, PEDRO CORRÊA; PEREIRA, Telma Nair Santana; PEREIRA, MESSIAS GONZAGA. Estimation of genetic parameters for flower anomalies in papaya. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 9-15, 2018.

DANTAS, J.L.L.; CASTRO NETO, M.T. de. Aspectos botânicos e fisiológicos. TRINDADE, A. V. (Org.) **Mamão produção: aspectos técnicos**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2000. 77 p.

DANTAS, J.L.L.; LIMA, J.F de. Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro-avaliação de linhagens e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 617-621, 2001.

DANTAS, J.L.L.; LUCENA, R.S; VILAS BOAS, S.A. Avaliação agrônômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

DANTAS, Jorge Luiz Loyola; JUNGHANS, Davi Theodoro; LIMA, Juliana Firmino De. **O produtor pergunta, a Embrapa responde: Mamão**. 2 ed. Brasília-DF: Embrapa, 2013. 170 p.

DE SOUSA, CARLOS ANTÔNIO FERREIRA et al. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas (New approach for plant phenotyping: concepts, current tools and perspectives). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660-672, 2015.

DIAS, NÁGELA LAZARE PEREIRA; OLIVEIRA, EDER JORGE; DANTAS, JORGE LUIZ LOYOLA. Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetros genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1471-1479, 2012.

DUAN, T. et al. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. **Field Crops Research**, v. 210, p. 71-80, 2017.

ESQUIVEL, M. A. et al. Caracterización de accesiones de papaya (*Carica papaya* L.) a través de marcadores AFLP en Cuba. **Revista Colombiana de Biotecnología**, Bogotá, v. 11, n. 2, p. 31-39, jun./nov. 2009.

FAO 2014. **World Production**. Disponível em: <www.faostat3.fao.org> . Acesso em: 30 set. 2018.

FOLTRAN, D. E.; GONCALVES, P. S.; SABINO, J. C.; IGUE, T.; VILELA, R. C. F. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em mamão. **Bragantia** (São Paulo), Campinas, v. 52, n.1, p. 7-15, 1993.

GAMEIRO, S. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Revista Terrae**, v. 13, 2016.

HFBRASIL. HORTIFRUTI/CEPEA: **Por dentro do mercado de frutas e hortaliças**. Disponível em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/hortifruti-cepea-por-dentro-do-mercado-de-frutas-e-hortalicas.aspx>>. Acesso em: 03 out. 2018.

HASSAN, MUHAMMAD ADEEL, et al. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. **Plant science**, 2019, 282: 95-103.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>>. Acesso em: 30 set. 2018.

JAY, SYLVAIN et al. Retrieving LAI, chlorophyll and nitrogen contents in sugar beet crops from multi-angular optical remote sensing: Comparison of vegetation indices and PROSAIL inversion for field phenotyping. **Field Crops Research**, v. 210, p. 33-46, 2017.

JORGE, LA de C.; INAMASU, RICARDO Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

JUNG, JINHA et al. Unmanned aerial system assisted framework for the selection of high yielding cotton genotypes. **Computers and electronics in agriculture**, v. 152, p. 74-81, 2018.

LI, XIANGRONG; YANG, ZHENHUA; BAI, YULIN. Fluorescence spectroscopic analysis of the interaction of papain and bromelain with l-ascorbic acid, α -tocopherol, β -carotene and astaxanthin. **International journal of biological macromolecules**, v. 107, p. 144-156, 2018.

LUCENA, RANGEL SALES; DANTAS, JORGE LUIZ LOYOLA. Divergência genética por meio de caracteres morfoagronômicos e de qualidade de frutos de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Magistra**, v. 27, n. 1, p. 101-109, 2017.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, L.C.; VASCONCELOS, L.F.L.; LIMA NETO, F.P. Análise genética em genótipos de manga rosa via REML/BLUP. **Revista Agrotecnologia**, v.5, n.1, p.01-16, 2014.

MICHELON, DIOGO et al. Uso do sensoriamento remoto com VANTs: possibilidade de aquisição de dados para agricultura. **Ciência & Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 23-35, 2019.

OLIVEIRA, EDER JORGE; DIAS, NÁGELA LAZARE PEREIRA; DANTAS, JORGE LUIZ LOYOLA. Selection of morpho-agronomic descriptors for characterization of papaya cultivars. **Euphytica**, v. 185, n. 2, p. 253-265, 2012.

PANDEY, RASHMI; NAIK, SAPAN; MARFATIA, ROMA. Image processing and machine learning for automated fruit grading system: A technical review. **International Journal of Computer Applications**, v. 81, n. 16, 2013.

PIRES, JOÃO LEONARDO FERNANDES et al. Uso de sensor óptico ativo para caracterização do perfil de NDVI em dosséis de trigo submetidos a diferentes estratégias de manejo. **Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

RIBEIRO, C. **Drones, Índices de vegetação e tomada de decisão na Agricultura**, 2016. Disponível em: <<http://sensix.com.br/2016/08/29/drones-indices-de-vegetacao-e-a-tomadade-decisao-na-agricultura/>>. Acesso em: 18 out. 2019.

ROSCHER, RIBANA et al. Automated image analysis framework for high-throughput determination of grapevine berry sizes using conditional random fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 100, p. 148-158, 2014.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; D.W. Deering. **Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS**, 1974. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf>>. Acesso em: 15 out 2019.

RUGGIERO, CARLOS; MARIN, SERGIO LÚCIO DAVID; DURIGAN, JOSÉ FERNANDO. Mamão, uma história de sucesso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n.1, p. 76-82, 2011.

SALES, WITALO DA SILVA, et al. Estimates of repeatability for selection of genotypes of seedless table grapes for Brazilian semiarid regions. **Scientia horticultrae**, 2019, 245: 131-136.

SANKARAN, SINDHUJA, et al. High-throughput field phenotyping in dry bean using small-unmanned aerial vehicle based multispectral imagery. **Computers and electronics in agriculture**, 2018, 151: 84-92.

SANTA CATARINA, Renato, et al. Papaya (*Carica papaya* L.) S1 family recurrent selection: Opportunities and selection alternatives from the base population. **Scientia Horticulturae**, 2019, 260: 108848.

SOUZA, JOSÉ DA SILVA. **Mamão produção**: aspectos técnicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2000. 77 p.

TOKUHISA, D. et al. Compostos fenólicos inibidores da germinação em sementes de mamão (*Carica papaya L.*). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 180-188, 2007.

TUCKER, COMPTON J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

VIANA, I. a. et al. potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 3, p. 286-298, 2018.

VIVAS, MARCELO et al. Phenotypic characterization of papaya genotypes to determine powdery mildew resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 3, p. 198-205, 2017.

ARTIGO 1

FENOTIPAGEM ASSISTIDA POR IMAGENS DIGITAIS EM ACESSOS DE MAMOEIRO¹

¹Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Ciências Agrárias, em versão na Língua portuguesa.

FENOTIPAGEM ASSISTIDA POR IMAGENS DIGITAIS EM ACESSOS DE MAMOEIRO

Autor: Lucas Ezequiel da Costa Dias

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

RESUMO: A cultura do mamão é de grande importância para o Brasil, e sua produção e consumo vem crescendo no mundo todo. Devido à importância dessa cultura faz-se necessário a criação de programas de melhoramento genético do mamão, que tem como uma das funções aumentar a base genética e selecionar genótipos superiores com características desejáveis para exportação e o mercado interno, além de variedades resistentes e tolerantes às principais doenças e pragas. A caracterização morfoagronômica é crucial para o programa de melhoramento, para selecionar genótipos de mamão com potencial, além das vantagens como: possibilita mensurações não destrutivas, uso reduzido de recursos humanos e financeiros, além de dar precisão e rapidez. O objetivo do trabalho é avaliar o uso de imagens digitais com auxílio de Softwares computacionais, para que se tenha, através das imagens a caracterização para descritores de interesse para 15 acessos de mamoeiro. A fenotipagem para características morfoagronômicas foi realizada manualmente e baseada em imagens digitais para comparar as metodologias, foram avaliadas, altura da planta (AP); diâmetro do caule (DC); altura da inserção do primeiro fruto (AIPF); número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos deformados (NFD); comprimento do pescoço (COMP) e números de nós sem frutos (NSF). Para processamento das imagens foi usado o software ImageJ. As estimativas dos coeficientes de repetibilidade foram altos e medianos expressando grande estabilidade para as variáveis, exceto para a característica COMP. O coeficiente de repetibilidade individual apresentou elevadas magnitudes ($\rho > 0,5$) para as características avaliadas com exceção do NFC e o COMP nas duas metodologias. Os maiores coeficientes de ρ foram obtidos nas características AP e DC com magnitudes de 0,93 e 0,84 pela FM e de 0,95 e 0,84 empregando a FBI, respectivamente. Magnitudes intermediárias foram obtidas para o NFC 0,58 (FM) e 0,56 (FBI). Empregando a metodologia FBI (Fenotipagem baseada em imagens) foram obtidas magnitudes ligeiramente superiores de ρ para AP (0,95), COMP (0,19) e NSF (0,62) em comparação às obtidas pela FM (Fenotipagem manual) em que foram obtidas

magnitudes de 0,93, 0,13 e 0,61, respectivamente. Já a FBI apresentou menores magnitudes para AIPF (0,60), NFC (0,56) e NFD (0,69) em relação à FM em que foram obtidas magnitudes de 0,63,0,58 e 0,71. Os dados obtidos via imagens digitais mostraram homogeneidade para os parâmetros genéticos para as sete características avaliadas, quando comparados aos da fenotipagem manual.

Palavras Chaves: Melhoramento Genético, Caracterização, correlação.

PHENOTYPING -ASSISTED BY IMAGE DIGITAL IN ACCESSES FROM OF PAPAYA

Author: Lucas Ezequiel da Costa Dias

Advisor: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

ABSTRACT: The culture of papaya is of great importance for Brazil, and its production and consumption has been growing worldwide. Due to the importance of this culture, it is necessary to create programs for the genetic improvement of papaya, which has as one of its functions to increase the genetic base and select superior genotypes with desirable characteristics for export and the domestic market, in addition to resistant and tolerant varieties. main diseases and pests. Morpho-agronomic characterization is crucial for the breeding program, to select papaya genotypes with potential, in addition to the advantages such as: it allows non-destructive measurements, reduced use of human and financial resources, in addition to providing precision and speed. The objective of the work is to evaluate the use of digital images with the aid of computational softwares, so that, through the images, the characterization for descriptors of interest for 15 papaya accesses is obtained. Phenotyping for morpho-agronomic characteristics was performed manually and based on digital images to compare methodologies, plant height (AP) was evaluated; stem diameter (DC); height of insertion of the first fruit (AIPF); number of commercial fruits (NFC) and number of deformed fruits (NFD); neck length (COMP) and number of fruitless nodes (NSF). ImageJ software was used to process the images. The estimates of repeatability coefficients were high and median, expressing great stability for the variables, except for the COMP characteristic. The highest coefficients of ρ were obtained in the AP and DC characteristics with magnitudes of 0.93 and 0.84 by FM and 0.95 and 0.84 using FBI, respectively. Intermediate magnitudes were obtained for NFC 0.58 (FM) and 0.56 (FBI). Using the FBI methodology, slightly higher magnitudes of ρ were obtained for AP (0.95), COMP (0.19) and NSF (0.62) compared to those obtained by FM where magnitudes of 0.93, 0, 13 and 0.61, respectively. The FBI presented lower magnitudes for AIPF (0.60), NFC (0.56) and NFD (0.69) in relation to FM, where magnitudes of 0.63, 0.58 and 0.71 were obtained. The data obtained via digital images showed homogeneity for the genetic parameters for the seven characteristics evaluated,

when compared to those of manual phenotyping.**Key words:** Software, Genetic Improvement, Characterization.

INTRODUÇÃO

A cultura do mamoeiro possui grande importância para o Brasil, tanto economicamente como também social. Para que o país continue a expandir sua produção se faz necessário a seleção de genótipos novos com características que satisfaçam o mercado, uma vez que se têm poucas variedades para uso comercial (DIAS; OLIVEIRA; DANTAS, 2012).

Mesmo o Brasil tendo uma alta produção e consumo, possui alguns gargalos quanto ao crescimento e a conservação dos plantios de mamão, principalmente, devido à ocorrência de doenças e pragas, anomalias florais, falta de variedades precoces e alta influência da temperatura. Diante destes cenários, os bancos de germoplasma possuem função crucial quando se trata de conservar a variabilidade genética para fins de melhoramento, e assim obter genótipos diferentes que atendam essas necessidades (VIVAS et al., 2017).

O mamoeiro possui um período reprodutivo um pouco extenso, e com isso surge a necessidade de avaliações repetidas em cada indivíduo em condições ambientais diversas, sendo assim experimentos demandam numerosas repetições, tratamentos e exatidão nos processos de seleção. A caracterização ou fenotipagem é realizada normalmente de forma manual, o que acaba se tornando uma tarefa com alto custo financeiro e com demanda de tempo, já que se exige grande quantidade de mão de obra, além de experiência do avaliador. Assim, a fenotipagem manual restringe o número de indivíduos avaliados (CORTES, 2017).

Metodologias baseadas em análise e processamento de imagens são testadas com intuito de avaliar a eficiência e aplicabilidade na fenotipagem de características de interesse ao melhoramento genético das culturas. A vantagem desse método é que possibilita mensurações não destrutivas, uso reduzido de recursos humanos e financeiros, além de dar precisão e rapidez (CORTES et al., 2017).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da análise e processamento de imagens na fenotipagem de acessos de mamoeiro da Embrapa em comparação à metodologia tradicional de fenotipagem manual, considerando as estimativas de parâmetros de repetibilidade e classificação de genótipos superiores.

MATERIAL E MÉTODOS

Material genético e descrição do experimento

O experimento foi conduzido em campo, no Banco Ativo de Germoplasma de Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura (BAG-mamão), analisando-se 15 acessos (Tabela 1) e 10 plantas por parcela, num total de 150 plantas.

Tabela 1. Descrição dos 15 acessos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura avaliados.

Acesso	Nome		Instituição	Grupo heterótico
	comum			
CMF011	DCG440-3		Cenargen	Formosa
CMF021	Solsun		Cenargen	Solo
CMF040	X		X	X
CMF087	Waimanalo		Havaí	Solo
CMF128	X		X	X
CMF230	Ouromel		Faz.Palmares	Solo
CMF232	M5		Faz. Bello Fruit	Solo
CMF233	BS-Gondo		Faz. Gondo	Solo
CMF234	BS – Faz. SF		Faz. São Francisco (JTA)	Solo
CMF235	JTA		Faz. São Francisco (JTA)	Solo
CMF248	Aliança		Eunápolis – BA	Solo
CMF249	THB		Eunápolis – BA	Solo
CMF250	BS 2000		Eunápolis – BA	Solo
CMF L-78	Linhagem		Embrapa	Solo
CMF 245	TAINUNG 1		Nicaragua	Formosa

A área experimental (Figura 1), estava localizada na latitude $12^{\circ}40'58''$ S e longitude $39^{\circ}04'28''$ W no município de Cruz das Almas-BA. O BAG-mamão foi instalado em agosto de 2018 contendo 123 acessos e 8 testemunhas, foi feito o plantio de três plantas por cova e aos 90 dias após o plantio foi realizada a sexagem, ao final dessa prática ficou um total de 10 plantas por acesso. As avaliações foram realizadas aos 8, 10 e 12 meses após o plantio (abril, junho e agosto) de 2019.

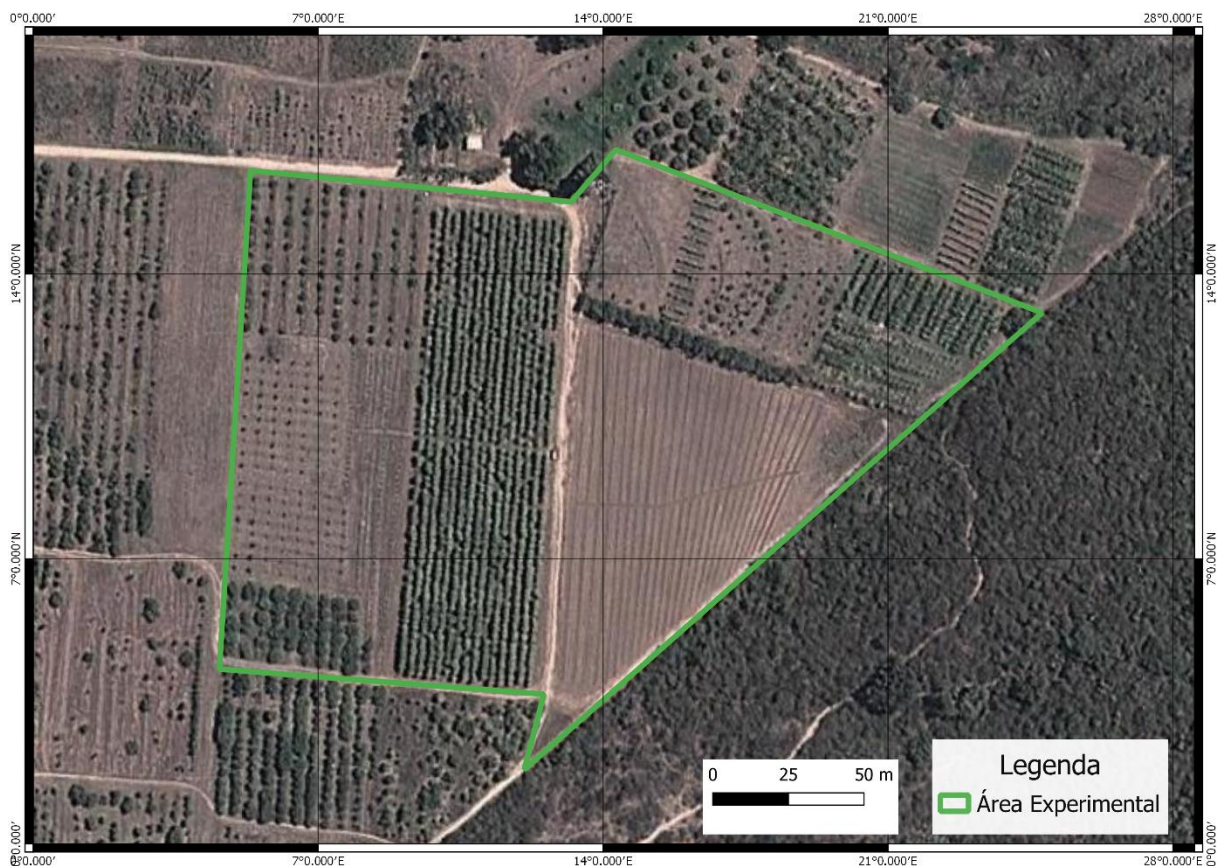


Figura 1. Localização do BAG mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical.

Fenotipagem manual

Foi utilizada a metodologia tradicional para realizar a fenotipagem manual das seguintes características: altura da planta (AP), mensurada da base do solo até a inserção da folha mais nova; altura da inserção do primeiro fruto (AIPF); comprimento do pescoço (COMP), sendo mensurada a região sem frutos entre dois racemos. Essas características foram mensuradas utilizando uma trena (Figura 2) e expressas em metro. O diâmetro do caule (DC) foi mensurado a 20 centímetros de altura da base do solo utilizando um paquímetro digital e expresso em mm (Figura 2). Também foi feita a

contagem do número de nós sem frutos (NSF), número de frutos comerciais (NFC) e frutos deformados (NFD). Os frutos pentrândricos e carpeloídes foram classificados como deformados.



Figura 2. (A) Avaliação da altura da planta (AP); altura da inserção do primeiro fruto (AIPF) e comprimento do pescoço (COMP) com trena. (B) Diâmetro do caule (DC) com uso do paquímetro digital e expresso em mm.

Fenotipagem via imagem digital

Para fenotipagem digital, as características de interesse foram analisados por imagens de acordo com a metodologia descrita e validada por Cortes et al. (2017). Para isso, foi usada uma câmera digital Sony semiprofissional, onde cada planta foi fotografada em duas posições diferentes (Figura 3), ou seja, utilizando duas fotos completas por planta, uma perpendicular à planta (imagem A) considerando o eixo da fileira (Figura 3A) e outra pelo lado oposto da mesma planta utilizada na imagem A (imagem B) (Figura 3B). Cada planta foi identificada com uma placa anexada ao caule para facilitar a identificação durante o processo de análise de imagens. A imagem A foi usada para mensurar as características AP, AIPF e COMP expressas em m e DC

expressa em mm. Ambas as imagens (A e B) foram usadas para obter as características NFC, NFD e NSF.

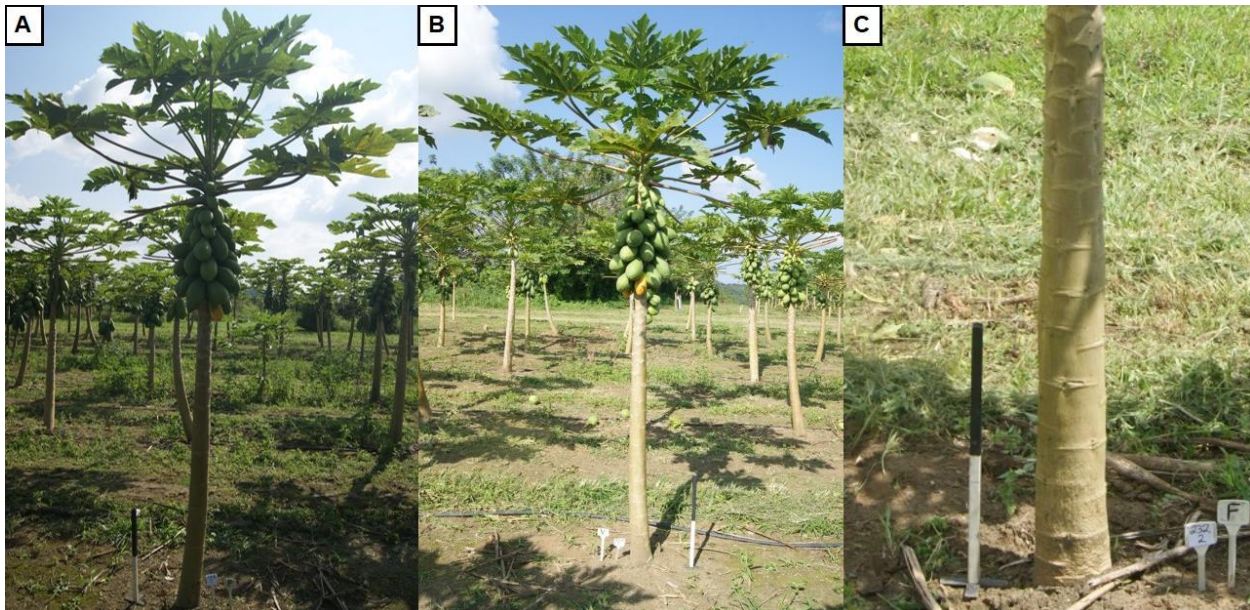


Figura 3. (A) Imagem perpendicular à planta considerando o eixo da fileira (imagem A), usada para mensuração das características AP, AIPF, COMP e DC; (B) imagem obtida do lado oposto ao da imagem A (Imagem B). Duas imagens (Imagem A + imagem B) foram utilizadas para estimar as características: NFC, NFD e NSF. (C) régua de calibração, placa de identificação do acesso e número da planta (C).

Análise das imagens

As imagens foram processadas e analisadas utilizando o software ImageJ v1.50c. Para cada planta fotografada foi usada uma régua (Figura 3) para servir como referência e realizar a calibração da imagem com uso da função *Set Scale* do software. Pela ferramenta seleção de linha reta foram mensuradas as características AP, AIPF, COMP e DC. As características NFC, NSF e NFD foram mensuradas usando o *Plugin Cell Counter*.

Análise estatística

A eficiência da fenotipagem baseada em imagens em relação à metodologia tradicional foi estudada considerando a estimação de parâmetros associados à repetibilidade bem como a valores fenotípicos permanentes e ranqueamento dos

acessos. Foram utilizados os dados obtidos nas três avaliações realizadas aos 8, 10 e 12 MAP. As características foram analisadas utilizando o procedimento padrão de avaliação dos modelos lineares mistos, mediante o procedimento REML (máxima verossimilhança restrita) para estimar os componentes de variância e parâmetros genéticos e pelo Blup (melhor preditor linear não viciado) para estimar os valores fenotípicos permanentes. O modelo estatístico utilizado foi o que segue:

$$y = Xm + Wp + \varepsilon$$

Em que:

y é o valor de observações;

m é o valor do efeito de medição (assumidos como fixos) somados à média geral;

p o valor dos efeitos permanentes das plantas (efeitos genotípicos + efeitos de ambiente permanente assumidos como aleatórios);

ε é o vetor dos resíduos (aleatórios);

X e W apresentam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As distribuições e estruturas de variância associadas aos termos do modelo foram:

$$y|m, V \sim N(Xm, V)$$

$$\rho|I\sigma_p^2 \sim N(0, \sigma_p^2)$$

$$\varepsilon|I\sigma_\varepsilon^2 \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

$$V = Z\sigma_p^2 Z' + I\sigma_\varepsilon^2$$

Este é um modelo básico de repetibilidade para experimentos sem delineamento experimental, sendo apropriado para condições experimentais adotadas no estudo. O referido modelo foi analisado utilizando o Software Selegen-REML/BLUP conforme apresentado por Resende (2016).

Componentes de variância (REML individual) e parâmetros genéticos associados à repetibilidade

Foram estimados os seguintes parâmetros genéticos e componentes de variância:

V_{fp} : variância fenotípica permanente entre plantas (variância genotípica + variância ambiental permanente de uma medida para outra);

V_{et} : variância de ambiente temporário;

Variância fenotípica individual:

$$V_{fp} = V_p + V_{et}$$

Repetibilidade individual:

$$\rho = \frac{V_{fp}}{V_{fp} + V_{et}}$$

Repetibilidade da média de m medidas repetidas:

$$\rho_m = \frac{V_{fp}}{V_{fp} + V_{et}/2}$$

Acurácia da seleção baseada na média de m medidas repetidas:

$$A_{cm} = \sqrt{\rho_m}$$

Os valores fenotípicos permanentes foram obtidos por meio da expressão:

$$fp = MG + \rho_m(MG_i - MG)$$

Em que:

MG: média geral do experimento;

ρ_m : repetibilidade na média de m medidas repetidas;

MG_i : média geral do indivíduo i nas várias medições.

Foi realizado o ranqueamento dos 15 acessos com base no desempenho agrônômico dos acessos para as características utilizando um índice de valores fenotípicos permanentes (IVFP). Trata-se de um índice paramétrico que associa pesos às médias padronizadas das características em seleção, sendo utilizado no presente estudo, os valores fenotípicos permanentes (Santa Catarina et al., 2019). O estimador do índice foi expresso por:

$$IVFP = \sum_{i=1}^n (fpi \times pi)$$

Em que:

fpi; valor fenotípico permanente padronizado da característica i;

p: peso econômico atribuído a característica i com sinal positivo ou negativo, conforme o sentido da seleção.

Os pesos atribuídos às sete características foram os seguintes: AP (1), DC (5), NFC (100), NFD (-20), NSF (-20), COMP (-20) e AIPF (1). Esta relação de pesos foi estabelecida experimentalmente com base na importância econômica, conforme descrito por Silva et al. (2008).

Os procedimentos para construção do índice foram realizados utilizando os recursos computacionais do Software Selegen REML/BLUP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativas de repetibilidade

No geral, verifica-se que as duas metodologias de fenotipagem apresentaram mensurações similares nas três épocas de avaliação para todas as características avaliadas. Assim, empregando a metodologia baseada em análise de imagens (FBI) vê-se que a mediana dos dados obtidos em cada época de avaliação foi similar para as características altura de inserção do primeiro fruto (AIPF), diâmetro do caule (DC), comprimento do pescoço (COMP), número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos deformados (NFD) (Figura 4). Já para as características altura da planta (AP) e número de nós sem fruto (NSF), a mediana dos dados obtidos pela FBI teve uma posição diferente da obtida pela FM. Para essas duas características, empregando a FBI, as mensurações apresentaram valores mais elevados na AP e menores na contagem do NSF.

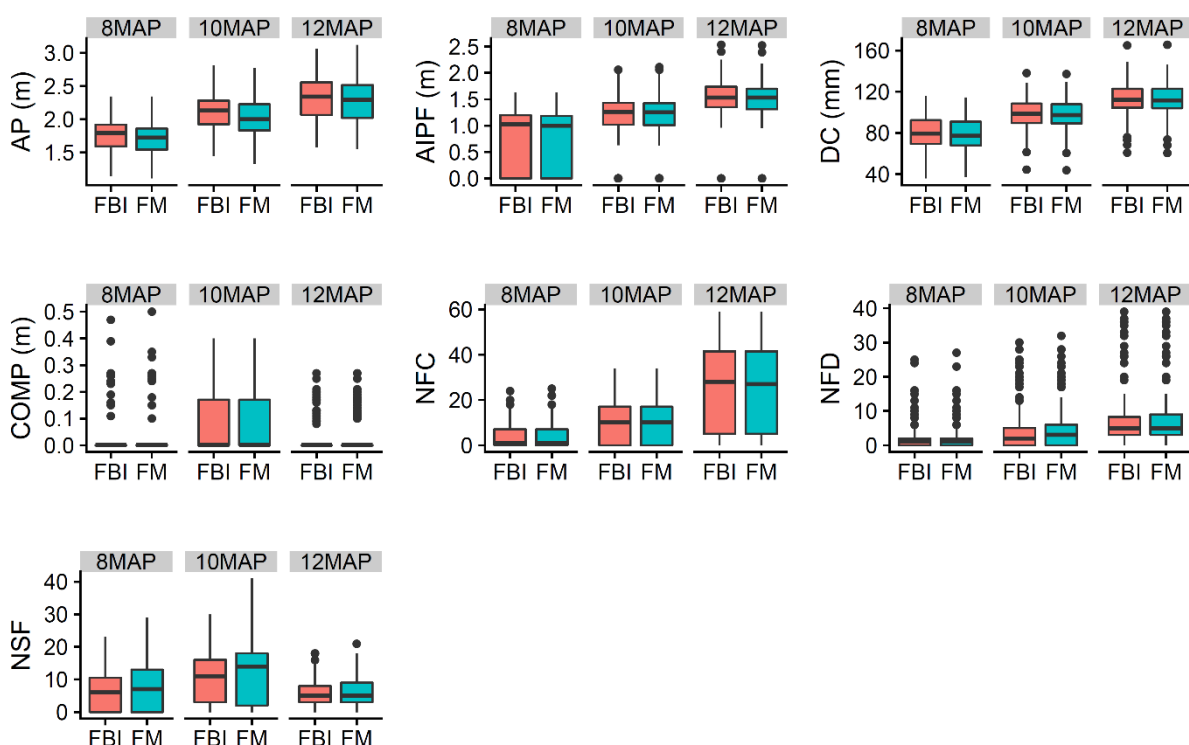


Figura 4. Representação gráfica da distribuição e dispersão dos valores fenotípicos das características morfoagronômicas mensuradas em acessos do Banco ativo de germoplasma de mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura, para cada metodologia de fenotipagem considerando três épocas de avaliação após o plantio. 8MAP, 10MAP e 12 MAP: oito, dez e doze

meses após o plantio. FBI: Fenotipagem baseada em análise de imagens; FM: Fenotipagem manual.

Em relação à análise de repetibilidade verifica-se nas duas metodologias de fenotipagem que a variância fenotípica de ambiente permanente (Vfp) representou a maior porcentagem de variância fenotípica individual (Vf) em todas as características exceto para comprimento do pescoço (Tabela 2). A Vfp representa a variação devido aos efeitos ambientais permanentes comuns aos indivíduos e a variação genotípica. Assim, quanto maior a proporção da variação explicada pela variância fenotípica de ambiente permanente maior será a repetibilidade conforme observado no estudo. Contudo, no modelo estatístico adotado no presente estudo não é possível isolar a variância genotípica tendo na repetibilidade o limite superior da herdabilidade.

Tabela 2. Componentes de variância (REML individual) e parâmetros genéticos associados à repetibilidade para sete caracteres avaliados em 15 acessos do BAG mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical.

Característica	Mensuração	Vfp	Vet	Vf	ρ	ρ_m	Acm	MG
AP	FM	0,06	0,01	0,06	0,93±0,40	0,97	0,99	2,00
	FBI	0,06	0,00	0,06	0,95±0,41	0,98	0,99	2,06
AIPF	FM	0,06	0,04	0,10	0,63±0,33	0,84	0,91	1,15
	FBI	0,06	0,04	0,10	0,60±0,33	0,82	0,90	1,15
DC	FM	111,57	20,49	132,06	0,84±0,38	0,94	0,97	96,10
	FBI	100,36	18,70	119,06	0,84±0,38	0,94	0,97	97,04
COMP	FM	0,00	0,00	0,002	0,13±0,18	0,30	0,55	0,05
	FBI	0,00	0,002	0,002	0,19±0,15	0,41	0,64	0,04
NFC	FM	47,91	34,15	82,06	0,58±0,32	0,81	0,90	14,15
	FBI	44,79	35,20	80,00	0,56±0,31	0,79	0,89	14,12
NFD	FM	5,73	2,29	8,02	0,71±0,35	0,88	0,94	5,27
	FBI	5,10	2,20	7,31	0,69±0,35	0,87	0,93	5,05
NSF	FM	12,89	8,10	20,99	0,61±0,33	0,83	0,91	8,74
	FBI	9,12	5,57	14,69	0,62±0,33	0,83	0,91	7,67

Altura da planta (AP); Altura de inserção do primeiro fruto (AIPF); Diâmetro do caule (DC); Comprimento do pescoço (COMP); Número de frutos comerciais (NFC); Número de frutos deformados (NFD); Número de nós sem fruto (NSF); fenotipagem manual (FM); fenotipagem baseada em imagens (FBI). Variância fenotípica permanente entre plantas (Vfp); Variância de ambiente temporário (Vet); Variância fenotípica individual (Vf); repetibilidade individual (ρ); Repetibilidade da média de m colheitas ou

medidas repetidas (ρ_m); Acurácia da seleção baseada na média de m colheita ou medidas repetidas (Acm); Média geral do experimento (MG).

A capacidade de expressar a variância média de determinado número de medidas correspondentes às variações genóticas é um fator importante na repetibilidade, assim como aquelas proporcionadas pelas alterações dos efeitos permanentes do ambiente, como a proporção da variância fenotípica total. Desta forma, o ganho em acurácia na estimação do valor fenotípico de uma característica pode ser relacionado com a repetibilidade e com o número de medições (FALCONER E MACKAY, 1996).

O coeficiente de repetibilidade individual apresentou elevadas magnitudes ($\rho > 0,5$) para as características avaliadas, com exceção do NFC e o COMP nas duas metodologias. Os maiores coeficientes de ρ foram obtidos nas características AP e DC com magnitudes de 0,93 e 0,84 pela FM e de 0,95 e 0,84 empregando a FBI, respectivamente. Magnitudes intermediárias foram obtidas para o NFC 0,58 (FM) e 0,56 (FBI). Empregando a metodologia FBI, foram obtidas magnitudes ligeiramente superiores de ρ para AP (0,95), COMP (0,19) e NSF (0,62) em comparação às obtidas pela FM em que foram obtidas magnitudes de 0,93, 0,13 e 0,61, respectivamente. Já a FBI apresentou menores magnitudes para AIPF (0,60), NFC (0,56) e NFD (0,69) em relação à FM em que foram obtidas magnitudes de 0,63, 0,58 e 0,71, respectivamente.

Em um trabalho realizado com uma população de 224 indivíduos aplicando a metodologia FBI, Santa Catarina et al. (2019) encontraram valores intermediários para de número de frutos comerciais (NFC) para o parâmetro repetibilidade. Esse resultado é esperado pois é uma característica altamente influenciada pela época de avaliação e fatores climáticos, e valores semelhantes para essa característica foram encontrados no experimento. Por sua vez, Luz et al. (2015) também observaram valores intermediários de repetibilidade pela método da Análise de variância com dados obtidos pela FM. Também em mamão, Moreira et al. (2019), analisado anomalias florais no mamoeiro, observaram magnitudes similares para frutos deformados, semelhantes às obtidas no estudo. As menores magnitudes de ρ obtidas pela FBI para frutos comerciais e frutos deformados podem ser devido à oclusão dos frutos. De acordo com Cortes et al. (2018), a oclusão dos frutos por parte de folhas, caule e cluster de frutos impedem a visualização dos frutos, podendo diminuir a precisão da FBI. Além disso, a identificação dos frutos deformados deve ser realizada por avaliador experiente ou treinado para identificar os tipos de anomalias e classificar corretamente os frutos. Contudo, a dificuldade de realizar

a contagem manual de frutos é evidenciada quando o número de indivíduos avaliados é grande ou também quando a produção de frutos por planta é elevada, pois é necessário girar em torno das plantas para realizar a contagem ou registrar as quantidades o que incrementa os erros nas mensurações. Além disso, em plantas altas é necessário utilizar escada para auxiliar tornando a fenotipagem trabalhosa.

Dada a sua importância para programas de melhoramento, os coeficientes de repetibilidade de variáveis quantitativas têm sido estimados em espécies frutíferas perenes como uva (SALES et al., 2019), laranjeira doce (NEGREIROS et al., 2014), bananeira (LESSA et al., 2014), graviola (SANCHÉZ et al., 2017) e mamoeiro (MORERIA et al., 2019; SANTA CATARINA et al., 2019).

A metodologia FBI também foi similar quanto às estimativas do coeficiente de repetibilidade com base na média (ρ_m) de três medições. Assim, pelas duas metodologias foram obtidas elevadas magnitudes ($\rho_m > 0,60$) para todas as características com exceção do COMP que teve baixa magnitude. Essas magnitudes de ρ_m mostram que a expressão destas características apresentou alta regularidade nas mensurações realizadas pelas duas metodologias de fenotipagem. Além disso, magnitudes elevadas de ρ_m indicam que realizando três medidas é possível prever o valor real dos indivíduos, sendo assim, haverá pouco ganho de acurácia com aumento de medidas repetidas. O uso da FBI associado com características que apresentam alta repetibilidade demandam menor custo, tempo e mão de obra nas avaliações, aprimorando o processo de fenotipagem das populações de melhoramento. Apenas a característica COMP apresentou magnitude intermediária de 0,40, indicando uma necessidade maior no número de medidas repetidas, para assim, ter um ganho maior em acurácia na estimativa real dos indivíduos. De acordo com Cruz et al. (2014), a repetibilidade varia de acordo com a natureza da característica, com as condições ambientais em que se encontra a planta e as propriedades genéticas da população. No caso da característica COMP, observa-se que a média da característica varia bastante entre as avaliações, podendo alguns genótipos inclusive não apresentar essa característica na primeira avaliação.

Para o parâmetro acurácia seletiva de precisão média (A_{cm}), observou-se uma variação de 0,99 (AP) a 0,63 (COMP), com estimativas maiores ou iguais a 0,90 para cinco das sete características avaliadas nessa população (Tabela 2). Então pode-se

dizer que há um grau significativo de certeza nas inferências, precisão e ganho na seleção.

O parâmetro acurácia seletiva (A_{cm}) é um importante dado estatístico pois está correlacionado com valor verdadeiro dos genótipos avaliados, com os valores preditos ou estimados a partir dos dados obtidos em experimentos de campo (MAIA et al., 2014).

Para as características avaliadas, as médias dos parâmetros não se diferenciaram muito quando comparadas, mostrando os resultados para os parâmetros bem homogêneos nas duas metodologias. As médias gerais de AIPF, COMP e NFC foram as características que tiveram menor ou nenhuma variação entre as metodologias testadas com 1,15, 0,04 para imagens digitais e manual, e 14,11 para manual e 14,15 para imagens digitais respectivamente.

A Tabela 3 mostra os valores relacionados à estimativa do coeficiente de determinação (R^2), Acurácia (A_c) e ganhos de eficiência (E_f) da seleção, que seriam obtidos através da realização de até 10 medições em cada indivíduo, para as sete características mensuradas. A metodologia FBI mostrou ser semelhante à FM na estimação desses parâmetros. Assim, em ambas as metodologias de fenotipagem verifica-se que apenas uma mensuração é suficiente para estimar o valor real dos indivíduos para as características AP e DC (Tabela 3), com confiabilidade acima de 84% e acurácia acima de 95%. Por sua vez, para as características AIPF, NFC, NFD e NSF, quatro medições são suficientes para estimar essas características com boa confiabilidade e precisão. Apenas a característica COMP apresentou valores baixos, exigindo um número maior de medições, o que torna inviável e trabalhoso realizar mais de 10 mensurações para essa característica (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados relacionados ao coeficiente de determinação (R^2), acurácia (A_c) e eficiência (E_f) obtidos pela realização de m medidas repetidas nos 15 acessos do BAG mamão.

Característica	FM										
	Mensurações										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AP	R^2	0,92	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	1	0,99	0,99	0,99
	A_c	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1	0,99	0,99	0,99
	E_f	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1	1,03	1,03	1,03
AIPF	R^2	0,62	0,77	0,83	0,87	0,89	0,91	0,9	0,93	0,93	0,94
	A_c	0,79	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	1	0,96	0,96	0,97

DC	Ef	1,00	1,10	1,15	1,17	1,19	1,20	1,2	1,21	1,22	1,22
	R ²	0,84	0,91	0,94	0,95	0,96	0,97	1	0,97	0,98	0,98
	Ac	0,91	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	1	0,98	0,98	0,99
COMP	Ef	1,00	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,1	1,07	1,07	1,07
	R ²	0,12	0,22	0,30	0,36	0,42	0,46	0,5	0,53	0,56	0,59
	Ac	0,35	0,47	0,55	0,60	0,64	0,68	0,7	0,73	0,75	0,76
NFC	Ef	1,00	1,33	1,54	1,70	1,82	1,91	2	2,05	2,11	2,16
	R ²	0,58	0,73	0,80	0,84	0,87	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93
	Ac	0,76	0,85	0,89	0,92	0,93	0,94	1	0,95	0,96	0,96
NFD	Ef	1,00	1,12	1,17	1,20	1,22	1,23	1,2	1,25	1,25	1,26
	R ²	0,71	0,83	0,88	0,90	0,92	0,93	0,9	0,95	0,95	0,96
	Ac	0,84	0,91	0,93	0,95	0,96	0,96	1	0,97	0,97	0,98
NSF	Ef	1,00	1,08	1,11	1,12	1,13	1,14	1,2	1,15	1,15	1,16
	R ²	0,61	0,76	0,82	0,86	0,88	0,90	0,9	0,92	0,93	0,94
	Ac	0,78	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	1	0,96	0,96	0,97
	Ef	1,00	1,11	1,16	1,18	1,20	1,21	1,2	1,22	1,23	1,23
FBI											
Característica	Mensurações										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AP	R ²	0,94	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Ac	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Ef	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
AIPF	R ²	0,60	0,75	0,82	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93
	Ac	0,77	0,86	0,90	0,92	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
	Ef	1,00	1,11	1,16	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24
DC	R ²	0,84	0,91	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98
	Ac	0,91	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
	Ef	1,00	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
COMP	R ²	0,18	0,31	0,40	0,47	0,53	0,57	0,61	0,64	0,67	0,69
	Ac	0,43	0,55	0,63	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,81	0,83
	Ef	1,00	1,29	1,47	1,60	1,69	1,76	1,82	1,86	1,90	1,93
NFC	R ²	0,55	0,71	0,79	0,83	0,86	0,88	0,89	0,91	0,91	0,92
	Ac	0,74	0,84	0,89	0,91	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96
	Ef	1,00	1,13	1,18	1,22	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,28
NFD	R ²	0,69	0,82	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95
	Ac	0,83	0,90	0,93	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97
	Ef	1,00	1,08	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,16	1,17
NSF	R ²	0,62	0,76	0,83	0,86	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
	Ac	0,78	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97
	Ef	1,00	1,11	1,15	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23

Altura do fruto (AP); Altura de inserção do primeiro fruto (AIPF); Diâmetro do caule (DC); Comprimento do pescoço (COMP); Número de frutos comerciais (NFC); Número de frutos deformados (NFD); Número de nós sem fruto (NSF); Fenotipagem manual (FM) e fenotipagem baseada em imagens (FBI).

A quantidade de avaliações é uma importante informação para os programas de melhoramento genético, sendo de grande utilidade para o melhorista na economia de tempo, mão de obra e recursos financeiros, maior eficiência para selecionar novos genótipos superiores. A metodologia baseada em imagens apresentou resultados bem próximos da metodologia manual para os R^2 , Ac e Ef das sete características avaliadas (Tabela 3). O nível de determinação vai depender do objetivo da seleção, caso os indivíduos sejam selecionados para compor uma população, valores de R^2 acima de 80% e valores de precisão acima de 0,89 já são considerados ideais (SANTA CATARINA et al., 2019). Empregando a metodologia FBI foram obtidos valores acima de 80% para o coeficiente de determinação a partir de três medições das características AP, AIPF, DC, NFC, NFD, NSF, e uma precisão superior a 0,89 para as mesmas características. Apenas o caractere COMP não obteve valores ideais.

De maneira geral, o uso de três mensurações possibilitou um aumento de eficiência seletiva (Ef), variando de 2% para altura da planta a 47% no comprimento do pescoço. Em características que apresentam repetibilidades baixas e intermediárias, a seleção de indivíduos vai exigir um número maior de mensurações para que se tenha um aumento na eficiência em termos de ganho genético com a seleção de indivíduos superiores. Sendo assim, é necessário levar em consideração, o aumento de tempo e custos para determinar o número ideal de mensurações.

Encontra-se na Tabela 4 e 5 os efeitos fenotípicos permanentes (fp) e valores fenotípicos permanentes, em sete características de grande importância para o melhoramento genético do mamoeiro preditos em acessos fenotipados via imagens digitais e manuais, com ordenamento de acordo com o índice de seleção IVFP, baseado em pesos atribuídos às características.

Em estudos de repetibilidade, indica-se o uso do valor fenotípico permanente para comparar indivíduos quando não se tem os valores genotípicos. Assim, o valor fenotípico permanente pode ser analisado como o valor esperado de uma produção futura ou capacidade provável de produção (VIANA E RESENDE, 2014). O índice de seleção mostrou coerência no ranqueamento em todas as características avaliadas, nas quais foram atribuídos os maiores pesos.

Tabela 4. Efeitos fenotípicos permanentes (fp) e valores fenotípicos permanentes ($\mu+fp$), em sete características de grande importância para o melhoramento genético do

mamoeiro preditos em acessos fenotipados pela metodologia manual e ranqueamento de acordo com o índice de seleção CSI.

Rank	Acesso	AP		AIPF		COMP		DC		NFC		NFD		NSF	
		fp	$\mu + fp$	Fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	Fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	Fp	$\mu + fp$
1	CNPMF230	0,31	2,31	0,28	1,43	0,00	0,04	4,94	101,04	15,12	29,27	-0,30	4,97	-0,28	8,46
2	CNPMF087	0,20	2,20	0,10	1,25	0,00	0,04	-1,43	94,66	4,43	18,58	-1,32	3,96	-1,41	7,33
3	CNPMF128	-0,48	1,52	-0,32	0,83	-0,01	0,03	-12,74	83,36	1,76	15,91	-2,52	2,76	-2,64	6,10
4	CNPMF249	-0,27	1,73	-0,11	1,04	-0,01	0,04	-7,78	88,32	3,68	17,83	1,12	6,39	-2,36	6,38
5	CNPMF011	-0,14	1,85	-0,13	1,02	0,00	0,04	-13,36	82,73	3,72	17,87	1,41	6,69	2,73	11,47
6	CNPMF248	-0,02	1,97	0,14	1,29	0,00	0,05	5,02	101,12	2,38	16,53	0,35	5,62	1,08	9,82
7	L78	-0,11	1,89	0,03	1,18	0,01	0,05	2,60	98,70	0,66	14,81	-1,93	3,34	-1,88	6,86
8	CNPMF250	0,00	1,99	0,08	1,23	0,00	0,04	-3,70	92,40	-0,52	13,63	-1,19	4,08	-2,43	6,30
9	CNPMF233	0,34	2,34	0,33	1,48	0,01	0,05	14,76	110,86	2,96	17,11	0,22	5,49	4,88	13,61
10	TAINUNG	0,40	2,39	-0,02	1,13	0,00	0,04	14,01	110,11	-8,02	6,13	-2,66	2,61	-1,99	6,75
11	CNPMF021	-0,01	1,99	-0,56	0,59	-0,01	0,03	-15,09	81,01	-11,11	3,05	-3,71	1,57	-6,40	2,34
12	CNPMF232	-0,05	1,95	0,05	1,20	0,01	0,05	13,11	109,21	-2,82	11,34	1,36	6,63	3,56	12,29
13	CNPMF040	-0,32	1,68	-0,17	0,98	0,00	0,04	-10,53	85,57	-5,29	8,86	1,82	7,09	-0,91	7,82
14	CNPMF235	0,08	2,08	0,18	1,33	0,01	0,06	1,80	97,89	-3,08	11,07	2,96	8,24	5,04	13,78
15	CNPMF234	0,06	2,06	0,12	1,27	0,01	0,06	8,40	104,49	-3,86	10,29	4,39	9,66	3,00	11,74

Tabela 5. Efeitos fenotípicos permanentes (fp) e valores fenotípicos permanentes ($\mu + fp$), em sete características de grande importância para o melhoramento genético do mamoeiro preditos em acessos fenotipados via imagens digitais e ranqueamento de acordo com o índice de seleção CSI

Rank	Acesso	AP		AIPF		COMP		DC		NFC		NFD		NSF	
		Fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	Fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	fp	$\mu + fp$	Fp	$\mu + fp$
1	CNPMF230	0,28	2,34	0,31	1,47	-0,01	0,04	4,62	101,66	14,01	28,13	-0,05	5,01	-0,67	7,00
2	CNPMF087	0,23	2,29	0,10	1,26	-0,01	0,04	-1,33	95,71	4,40	18,51	-1,41	3,65	-0,53	7,14
3	CNPMF128	-0,48	1,58	-0,31	0,85	-0,02	0,03	-10,54	86,50	1,86	15,98	-2,41	2,64	-2,80	4,87
4	CNPMF249	-0,25	1,81	-0,11	1,05	-0,01	0,03	-7,85	89,18	3,78	17,90	1,12	6,17	-1,39	6,28
5	CNPMF011	-0,10	1,96	-0,11	1,05	-0,01	0,04	-15,05	81,99	3,38	17,49	1,38	6,43	1,73	9,40
6	CNPMF248	-0,02	2,03	0,14	1,30	0,00	0,05	3,28	100,31	2,32	16,44	0,20	5,25	1,26	8,93
7	L78	-0,12	1,94	0,03	1,19	0,01	0,06	2,13	99,16	0,57	14,69	-1,79	3,26	-1,49	6,18
8	CNPMF233	0,33	2,38	0,31	1,47	0,01	0,06	13,55	110,58	3,05	17,17	0,34	5,40	3,44	11,12
9	CNPMF250	-0,01	2,04	0,02	1,18	0,00	0,05	-2,59	94,44	-0,45	13,66	-1,06	3,99	-1,80	5,87
10	CNPMF232	-0,08	1,98	0,06	1,21	0,01	0,06	13,32	110,35	-2,18	11,94	0,99	6,04	2,43	10,10
11	TAINUNG	0,39	2,45	-0,02	1,14	0,00	0,04	12,98	110,02	-7,84	6,27	-2,44	2,61	-1,24	6,44
12	CNPMF021	0,00	2,06	-0,55	0,61	-0,02	0,03	-13,85	83,18	-10,89	3,22	-3,45	1,61	-5,54	2,13
13	CNPMF040	-0,31	1,75	-0,17	0,99	0,00	0,05	-9,07	87,97	-5,53	8,58	1,62	6,67	-1,33	6,34
14	CNPMF235	0,07	2,13	0,17	1,33	0,02	0,07	1,96	98,99	-2,76	11,36	2,61	7,66	5,04	12,71
15	CNPMF234	0,07	2,13	0,12	1,28	0,02	0,06	8,45	105,48	-3,70	10,41	4,35	9,40	2,89	10,56

Analisando o ordenamento dos acessos pelas duas metodologias vê-se que a fenotipagem baseada em imagens foi muito semelhante à fenotipagem manual. Assim, considerando diferentes intensidades de seleção (10, 20, 30, 40 e 50%), a FBI permitiria selecionar os mesmos acessos do que a FM. Isto mostra que a FBI é uma ferramenta promissora para ser utilizada na caracterização de acessos de mamoeiro com potencial uso em populações derivadas destes genótipos em programas de melhoramento genético.

Assim, pelas duas metodologias verifica-se que o acesso CNPMF230 foi o que apresentou melhores resultados para as sete características avaliadas de acordo com o ranqueamento e a distribuição dos pesos (Tabela 4 e 5). Nesse caso pode-se dizer que esse acesso é superior aos demais utilizados no estudo, principalmente para a característica NFC que possui maior peso dentro das sete avaliadas. O acesso CNPMF234 foi classificado como o pior acesso pelas duas metodologias aplicadas, sendo assim, verifica-se que a fenotipagem por imagens digitais é eficaz para o ranqueamento de acordo com o índice de valores fenotípicos permanentes.

Um aspecto interessante é que dos acessos avaliados, 10 apresentaram valores fenotípicos superiores ao híbrido Tainung, que é considerado uma das principais cultivares no mundo, mostrando assim o potencial genético dos acessos avaliados.

A fenotipagem baseada em imagens digitais mostrou-se eficiente na estimação dos coeficientes de repetibilidade quando comparada à fenotipagem manual. Além disso, também foi semelhante na estimação dos valores fenotípicos permanentes e na classificação dos acessos com base no índice de seleção aplicado. A fenotipagem baseada em imagens apresenta algumas vantagens em relação à fenotipagem manual tais: pouca dependência de mão de obra, fácil implementação, rapidez e automatização da fenotipagem. O menor desempenho para estimação de características como a contagem de frutos comerciais e deformados podem ser contornados pelo treinamento dos avaliadores para aprimorar a captura de imagens para reduzir a oclusão dos frutos e a diferenciação dos frutos deformados.

CONCLUSÕES

As características altura de plantas, diâmetro do caule, altura da inserção do primeiro fruto, número de frutos comerciais, número de frutos deformados e número de nos sem fruto apresentaram coeficientes de repetibilidade de magnitude elevados, e isso mostra uma regularidade na repetição das características de uma medição para outra, apenas a característica comprimento do pescoço apresentou baixa repetibilidade. Tanto para avaliações realizadas manualmente quanto para as realizado via imagem digital, mostraram resultados bem semelhantes para coeficiente de repetibilidade, provando eficiência da metodologia via imagens digitais.

A metodologia baseada em imagens digitais é promissora, podendo ser empregada na fenotipagem de características morfoagronômicas, e se mostrou eficiente para estimar parâmetros genéticos na cultura do mamoeiro quando comparadas à metodologia manual, além de boa precisão e baixo uso de mão-de -obra.

REFERÊNCIAS

- CORTES, D. F. M. **Desenvolvimento de linhagens de mamoeiro assistido por imagens digitais**. 2017. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes.
- CORTES, D. F. M. et al. Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294-302, 2017.
- CORTES, D. F. M. et al. Papaya recombinant inbred lines selection by image-based phenotyping. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 208-215, 2018.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. 2014. Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético: Volume 2 Viçosa UFV, **Imprensa universitária** 668p.
- DIAS, NÁGELA LAZARE PEREIRA; OLIVEIRA, EDER JORGE; DANTAS, JORGE LUIZ LOYOLA. Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetros genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1471-1479, 2012.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. Introduction to quantitative genetics. 1996. **Harlow, Essex, UK: Longmans Green**, v. 3, 1996.
- LESSA, LAURO SARAIVA et al. Estimativas de repetibilidade de híbridos diploides (AA) de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 2, p. 109-117, 2014.
- LUZ, LUCAS NUNES et al. Novos híbridos de mamoeiro avaliados nas condições de cultivo tradicional e no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 37, n. 1, p.159-171, 2015.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, L.C.; VASCONCELOS, L.F.L.; LIMA NETO, F.P. Análise genética em genótipos de manga rosa via REML/BLUP. **Revista Agrotecnologia**, v.5, n.1, p.01-16, 2014.

MOREIRA, NÁDIA FERNANDES et al. Quantification of floral abnormalities in a population generated from sexual polymorphism aiming at recurrent selection in papaya. **Bragantia**, v. 78, n. 2, p. 158-165, 2019.

NEGREIROS, JACSON RONDINELLI DA SILVA et al. Estimativa de repetibilidade para caracteres de qualidade de frutos de laranja-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 40-48, 2014.

RESENDE, MARCOS DEON VILELA DE. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

SALES, WITALO DA SILVA et al. Estimates of repeatability for selection of genotypes of seedless table grapes for Brazilian semiarid regions. **Scientia horticultrae**, v. 245, p. 131-136, 2019.

SANCHÉZ, C. F. B. et al. Estimates of repeatability coefficients and the number of the optimum measure to select superior genotypes in *Annona muricata* L. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

SANTA CATARINA, RENATO, et al. Papaya (*Carica papaya* L.) S1 family recurrent selection: Opportunities and selection alternatives from the base population. **Scientia Horticulturae**, 2019, 260: 108848.

SILVA, F. et al. Selection and estimation of the genetic gain in segregating generations of papaya (*Carica papaya* L.). **Crop Breeding & Applied Biotechnology** 8: 1-8. 2008.

VIANA, ALEXANDRE PIO. **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014, 296p.

VIVAS, MARCELO et al. Phenotypic characterization of papaya genotypes to determine powdery mildew resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 3, p. 198-205, 2017.

ARTIGO 2**ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS COM USO DE
DRONE EM ACESSOS DE MAMOEIRO²**

¹ Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Ciências Agrárias, em versão na Língua portuguesa.

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS COM USO DE DRONE EM ACESSOS DE MAMOEIRO

Autor: Lucas Ezequiel da Costa Dias

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

RESUMO: O uso do sensoriamento remoto e índices de vegetação na agricultura vem ganhando cada vez mais destaque no Brasil. O país é o segundo maior produtor da cultura de mamão segundo dados da FAO, 2017, e tem a Bahia como um dos principais produtores do país, tornando essa cultura de grande importância econômica. Devido a isso, há uma necessidade de novas variedades desenvolvidas por programas de melhoramento genético, o método de caracterização manual é muito trabalhoso, demorado e destrutivo em alguns casos, o uso de imagens e índices de vegetação pode ser usado como ferramenta de avaliação de características de interesse para seleção de genótipos com potencial para o programa de melhoramento de mamoeiro da Embrapa. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar duas características morfoagronômicas de interesse e o índice de vegetação *de diferença normalizada* (NDVI). O voo foi efetuado no BAG mamão da Embrapa localizada no município de Cruz das Almas/BA. Brasil. As imagens foram processadas extraindo dados de 15 acessos, utilizando a técnica *structure from motion* no *software* aerofotogramétrico Agisoft Metashape, versão 1.5.1, gerando assim, a nuvem densa com os valores pontuais do NDVI. O coeficiente de repetibilidade individual apresentou elevada magnitude ($\rho > 0,5$) apenas para a característica APC, com magnitude de 0,73. Magnitudes baixíssimas foram obtidas para o APD (0,27) e o NDVI (0). A metodologia com uso das imagens capturadas pelo drone apresentou elevadas estimativas do coeficiente de repetibilidade com base na média (ρ_m) de três medições apenas para APC (0,91), sendo assim temos uma magnitude alta ($\rho_m > 60$), já para característica APD apresentou uma magnitude intermediária (0,53).

Palavras-chaves: melhoramento genético, VANT e Índices de vegetação.

ESTIMATIVE OF GENETIC PARAMETERS USING DRONE IN ACCESS OF PAPAYA

Author: Lucas Ezequiel da Costa Dias

Advisor: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

ABSTRACT: The use of remote sensing and vegetation indices in agriculture is becoming increasingly prominent in Brazil. The country is the second largest producer of papaya crop according to data from FAO, 2017, and has Bahia as one of the main producers of the country, making this crop of great economic importance. Due to this there is a need for new varieties developed by In breeding programs, the manual characterization method is very laborious, time consuming and destructive in some cases. The use of images and vegetation indices can be used as a tool to evaluate traits of interest for selecting genotypes with potential for the breeding program. papaya breeding from Embrapa. Thus, the present work aimed to collect two morphoagronomic characteristics of interest and the normalized difference vegetation index (NDVI), to determine if the characteristics collected via images have phenotypic correlations with those of processed images acquired by the drone. The flight took place at Embrapa's papaya BAG located in Cruz das Almas. The images were processed by extracting data from 15 accesses, using the structure from motion technique using the Agisoft Metashape aerophotogrammetric software, version 1.5.1, thus generating the dense cloud. with the NDVI point values. The individual repeatability coefficient showed a high magnitude ($p > 0.5$) only for the APC characteristic, with a magnitude of 0.73. Very low magnitudes were obtained for APD (0.27) and NDVI (0). The methodology using the images captured by the drone showed high estimates of the repeatability coefficient based on the average (ρ_m) of three measurements just for APC (0.91), thus we have a high magnitude ($\rho_m > 60$), as for characteristic ODA presented an intermediate magnitude (0.53).

Key words: genetic improvement, UAV and vegetation indices.

INTRODUÇÃO

O início da observação das plantas pela humanidade não tem um começo definido, porém com a necessidade de se cultivar as plantas para subsistência, tornou-se relevante o estudo do hábito com relação à variação de fatores bióticos e abióticos. Para obtenção de características das plantas ou condições em que se encontra a mesma, são geralmente usados métodos destrutivos, a exemplo da análise foliar para definição de teores de nutrientes, porém, também métodos não destrutivos, em que se faz o uso de imagens obtidas com câmeras, por exemplo (BARBOSA et al., 2016).

Os VANTs (Veículos aéreos não tripulados) foram inventados para atender aos militares, devido aos tipos de serviços realizados pelos mesmos e aos ambientes hostis que precisavam entrar. Com passar dos anos e pela demanda de novas tecnologias, os VANTs foram introduzidos em trabalhos no setor agrícola por meio de tomadas de imagens. Atualmente o modelo de VANTs mais utilizado no monitoramento de culturas agrícolas são aviões e os multirotores, devido à facilidade na manipulação em diferentes circunstâncias (VIANA et al., 2018).

No Brasil, o uso de DRONES na agricultura vem aumentando para monitoramento de diversas culturas de interesse, e para que isso ocorra, os VANTs requerem um sensor acoplado para coleta de informações desejadas. No país, os sensores mais usados são o de infravermelho e de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (VIANA et al., 2018).

O índice de vegetação mais utilizado é o NDVI, é amplamente utilizado em aplicações da área agrônômica comercial e de pesquisa, em muitos casos para mensurar o vigor das plantas e as matérias-primas necessárias (DUAN et al., 2017).

O Índice de Vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) é a relação entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho do visível e pela soma dessas mesmas reflectividades. O NDVI é um índice delicado da quantidade e condição

da vegetação, com um intervalo que pode variar de -1 a 1. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, esta variação é sempre menor do que 0 (GAMEIRO et al., 2016).

Objetivo do trabalho foi avaliar duas características morfoagronômicas de interesse da cultura do mamoeiro, altura da planta, diâmetro da copa o índice de vegetação *de diferença normalizada* (NDVI).

MATERIAIS E MÉTODOS

Material genético e descrição do experimento

O experimento foi conduzido em campo, no Banco Ativo de Germoplasma de Mamão da Embrapa (BAG-mamão), analisando-se 15 acessos, com 10 plantas por acesso, compreendendo uma população de 150 plantas (Tabela 1).

Tabela 1. Acessos, nome comum, instituição doadora e grupo heterótico dos 15 acessos avaliados de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Acessos	Nome comum	Instituição	Grupo heterótico
CMF011	DCG440-3	Cenargen	Formosa
CMF021	Solsun	Cenargen	Solo
CMF040	X	X	X
CMF087	Waimanalo	Havaí	Solo
CMF128	X	X	X
CMF230	Ouromel	Faz. Palmares	Solo
CMF232	M5	Faz. Bello Fruit	Solo
CMF233	BS-Gondo	Faz. Gondo	Solo
CMF234	BS – Faz. SF	Faz. São Francisco (JTA)	Solo
CMF235	JTA	Faz. São Francisco (JTA)	Solo
CMF248	Aliança	Eunápolis –BA	Solo
CMF249	THB	Eunápolis –BA	Solo
CMF250	BS 2000	Eunápolis –BA	Solo
CMF L-78	Linhagem selecionada	Embrapa	Solo
CMF 245	HÍBRIDO TAINUNG 1	Nicaragua	Formosa

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Figura 1), localizado na latitude 12°40'58" S e longitude 39°04'28" W. O BAG-mamão foi instalado em agosto de 2018 contendo 123 acessos e 8

testemunhas, foi feito o plantio de três plantas por cova e aos 90 dias após o plantio realizamos a sexagem, ao final dessa prática ficaram um total de 10 plantas por acesso. As avaliações foram realizadas quando as plantas tinham 8, 10 e 12 meses de plantio (abril, junho e agosto) de 2019.

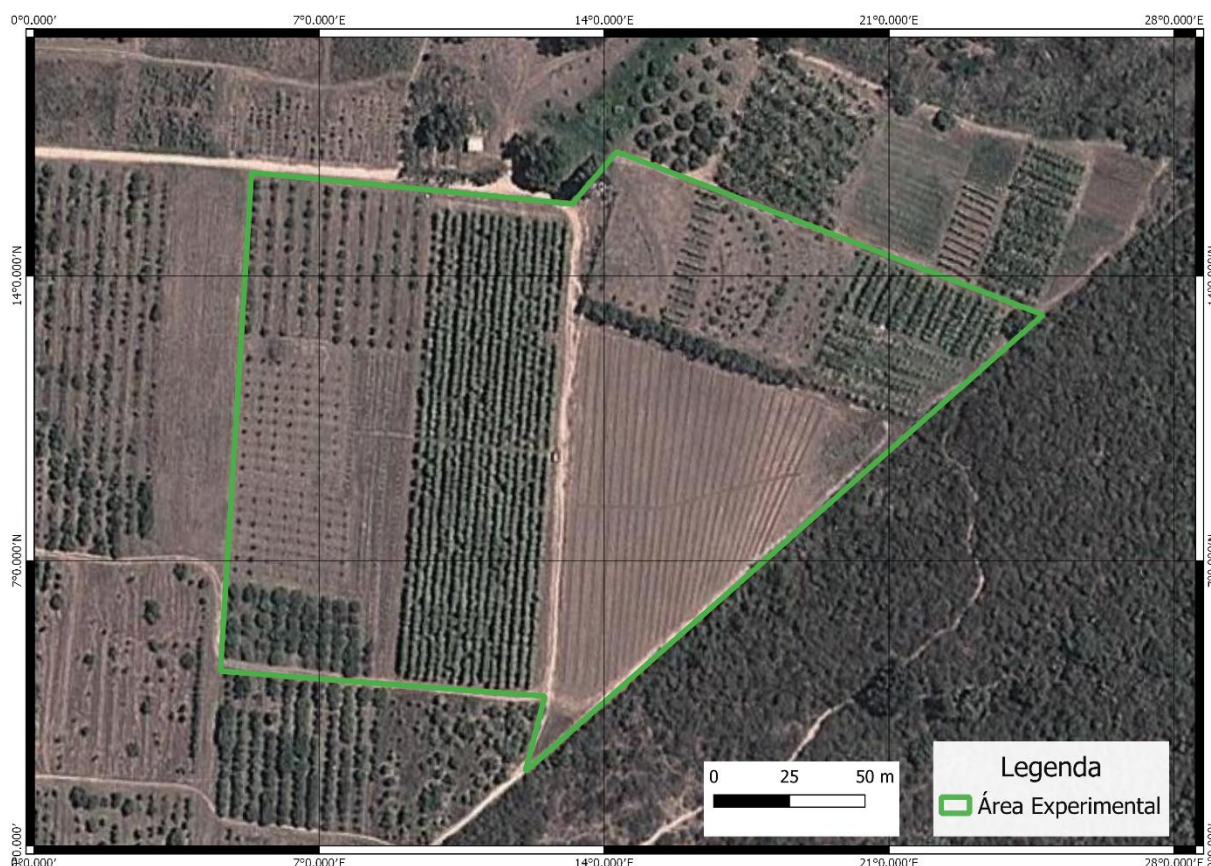


Figura 1. localização do BAG mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical.

Para aquisição dos dados de voo, inicialmente foram coletados em campo as coordenadas geográficas que limitam a área do BAG. Para tanto, foram realizados dois voos dividindo a área em duas, denominadas de BAG1 e BAG2, o levantamento foi realizado quando as plantas se encontravam com 8,10 e 12 meses após o plantio, sendo assim realizada três avaliações nos meses de abril, junho e agosto de 2019. O software de planejamento de voo autônomo DroneDeploy foi usado para determinar a trajetória e limitar a área a ser levantada.

Drone utilizado

O dispositivo usado para adquirir as imagens nesta etapa do trabalho foi o DRONE DJI Phantom 4 Advanced (Figura 2). É um DRONE que, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), tem quatro eixos, leve e com pequenas dimensões. Esse equipamento tem um tempo de voo máximo de 30 minutos, podendo ser prolongado com substituição da bateria que o alimenta. Acoplada ao VANT tem-se um sensor óptico RGB, que corresponde ao SONY EXMOR 1" CMOS e que possibilita capturar imagens com resolução de 20 megapixels, construindo imagens na proporção 4:3 com 4864 x 3648 pixels.



Figura 2. Drone multirrotor Phantom 4 Advanced usado nas três avaliações de mamoeiro

Aquisição das imagens

Para obter as imagens em infravermelho, foi utilizada uma câmera multiespectral PARROT SEQUOIA (Figura 3), com quatro sensores espectrais (green, red, red edge e near infrared) com resolução de 1280 x 960 pixels, além da RGB que captura imagens em 4608 x 3456 pixels. Este sensor controla o brilho da luz solar ao longo do voo, e obtém informações de ângulo e direção no momento dos disparos.



Figura 3. Sensor Multiespectral Parrot Sequoia

Processamento das imagens

Os dados adquiridos pela aerofotogrametria, requer uma elevada potência computacional para o tratamento e aplicação dos algoritmos de processamento. Para isso, um conjunto de máquinas denominadas de Cluster foi usado, além de máquinas inferiores que foram inseridas para colaborar com o processamento das informações. Para esse processamento foi usado o Soft Agisoft Metashape versão 1.5.1, programa que utiliza a identificação de feições semelhantes em imagens distintas para tentar reproduzir digitalmente o ambiente capturado nas imagens através da técnica Structure from Motion (SFM).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram analisados usando o procedimento padrão de avaliação dos modelos lineares mistos mediante ao procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança residual ou restrita/melhor predição linear não viciada) na estimação de componentes de variância e predição dos valores genotípicos. O modelo estatístico utilizado foi o que segue:

$$y = Xm + Wp + \varepsilon$$

Em que:

y é o valor de observações;

m é o valor do efeito de medição (assumidos como fixos) somados à média geral;

p o valor dos efeitos permanentes das plantas (efeitos genotípicos + efeitos de ambiente permanente assumidos como aleatórios);

ε é o vetor dos resíduos (aleatórios);

X e W apresentam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As distribuições e estruturas de variância associadas aos termos do modelo foram:

$$y|m, V \sim N(Xm, V)$$

$$\rho|I\sigma_p^2 \sim N(0, \sigma_p^2)$$

$$\varepsilon|\sigma_\varepsilon^2 \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

$$V = Z\sigma_p^2 Z' + I\sigma_\varepsilon^2$$

Este é um modelo básico de repetibilidade para experimentos sem delineamento experimental, sendo apropriado para condições experimentais adotadas no estudo. O referido modelo foi analisado utilizando o Software Selegen-REML/Blup conforme apresentado por Resende (2016).

Componentes de variância (REML individual) e parâmetros genéticos associados à repetibilidade

Foram estimados os seguintes parâmetros genéticos e componentes de variância:

V_{fp} : variância fenotípica permanente entre plantas (variância genotípica + variância ambiental permanente de uma medida para outra);

V_{et} : variância de ambiente temporário;

Variância fenotípica individual:

$$V_f = V_p + V_{et}$$

Repetibilidade individual:

$$\rho = \frac{V_{fp}}{V_{fp} + V_{et}}$$

Repetibilidade da média de m medidas repetidas:

$$\rho_m = \frac{V_{fp}}{V_{fp} + V_{et}/2}$$

Acurácia da seleção baseada na média de m medidas repetidas:

$$A_{cm} = \sqrt{\rho_m}$$

MG: média geral do experimento;

Os valores fenotípicos permanentes serão obtidos por meio da expressão:

$$f_p = MG + \rho_m(MG_i - MG)$$

Em que:

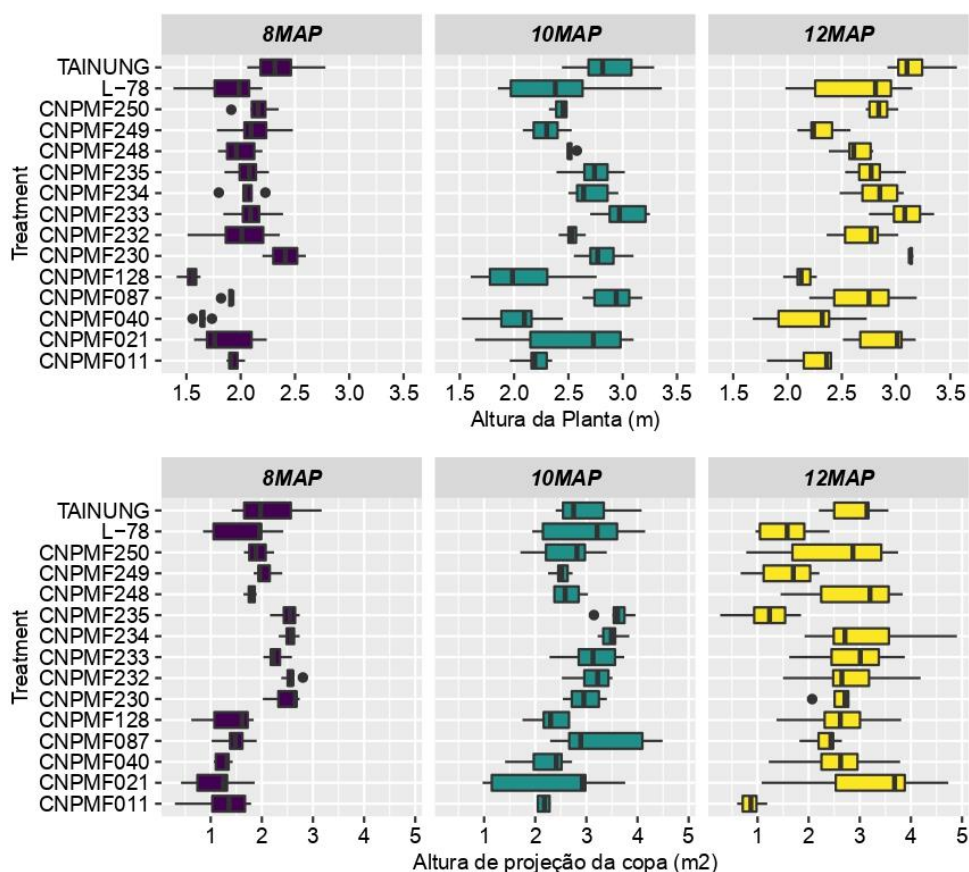
MG: média geral do experimento;

ρ_m : repetibilidade na média de m medidas repetidas;

MG_i : média geral do indivíduo i nas várias medições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No geral, verifica-se que as imagens coletadas via drone apresentaram uma evolução nas três épocas de avaliação, para as duas características morfoagronômicas avaliadas e o índice de vegetação da diferença normalizada. Assim, empregando a metodologia vê-se que as medianas dos dados obtidos em cada época de avaliação foram diferentes para altura da planta (m) e altura da projeção da copa (m^2), o que já se esperava (Figura 4). Já para o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), a mediana dos dados obtidos apresentou uma grande variação nas três épocas avaliadas, podendo assim está correlacionado com o vigor das plantas avaliadas. Segundo Gemtos (2013), o NDVI foi usado em muitos casos para avaliar o vigor das plantas, sendo assim, um dos índices de vegetação mais utilizado hoje em dia.



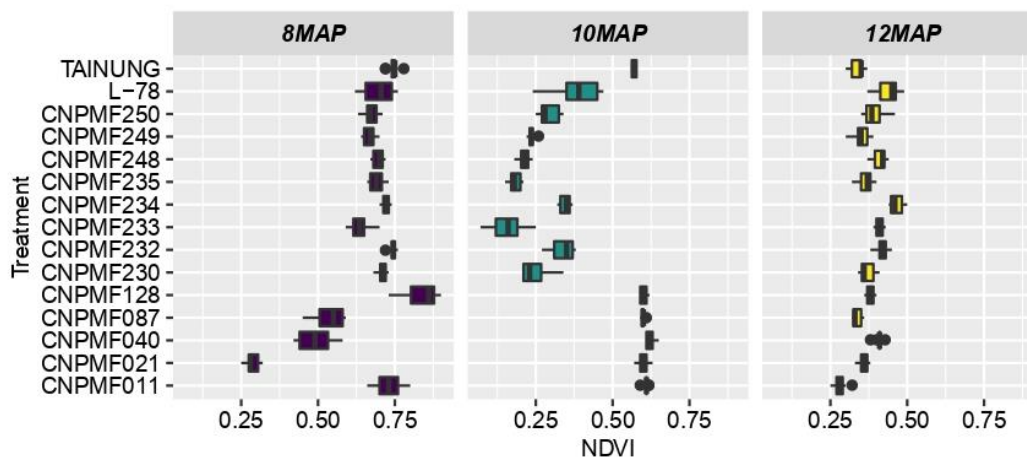


Figura 4. Representação gráfica da distribuição e dispersão dos valores fenotípicos de duas características morfoagronômicas e o Índice NDVI em acessos do Banco ativo de germoplasma de mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura, para metodologia com uso de imagens com drone, considerando três épocas de avaliação após o plantio. 8MAP, 10MAP e 12 MAP: oito, dez e doze meses após o plantio.

O coeficiente de repetibilidade individual apresentou elevada magnitude ($\rho > 0,5$) apenas para a característica APC, com magnitude de 0,73. Magnitudes baixíssimas foram obtidas para o APD (0,27) e o NDVI (0).

A metodologia com uso das imagens capturadas pelo drone apresentou elevada estimativas do coeficiente de repetibilidade com base na média (ρ_m) de três medições apenas para APC (0,91), sendo assim temos uma magnitude alta ($\rho_m > 60$), já para característica APD apresentou uma magnitude intermediária (0,53). O NDVI não apresentou um coeficiente de repetibilidade alto com base na média de três medições.

As magnitudes de ρ_m mostram que a expressão destas características apresentou regularidade para APC nas mensurações realizadas. Além disso, magnitudes elevadas de ρ_m indicam que realizando três medidas é possível prever o valor real dos indivíduos, sendo assim, haverá pouco ganho de acurácia com aumento de medidas repetidas. O uso das imagens de drone associada com características que apresentam alta repetibilidade demanda ganho de tempo e reduz custos com mão de obra nas avaliações, aprimorando o processo de caracterização das populações de melhoramento. Apenas o NDVI não apresentou nenhuma magnitude, indicando talvez uma necessidade maior no número de medidas repetidas ou a forma como o índice foi adquirido, para assim, ter um ganho maior em acurácia na estimação real dos indivíduos.

De acordo com Cruz et al. (2014), a repetibilidade varia de acordo com a natureza da característica, com as condições ambientais em que se encontra a planta e as propriedades genéticas da população, isso pode explicar o valor do NDVI, já que é um índice de vegetação que está relacionado com vigor da planta.

Para o parâmetro acurácia seletiva de precisão média (Acm), observou-se uma variação de 0,95 (APC) a 0,73 (APD), para duas das três características avaliadas nessa população, o NDVI não apresentou um valor significativo para esse parâmetro (Tabela 2). Então, pode-se dizer que para essas duas características avaliadas com imagens do drone há um grau significativo de certeza nas inferências, precisão e ganho na seleção.

O parâmetro acurácia seletiva (Acm) é um importante dado estatístico pois está correlacionado com valor verdadeiro dos genótipos avaliados, com os valores preditos ou estimados a partir dos dados obtidos em experimentos de campo (MAIA et al., 2014).

Tabela 2. Componentes de variância (REML individual) e parâmetros genéticos associados à repetibilidade para dois caracteres e o NDVI avaliados em 15 acessos do BAG mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura

Característica	Vfp	Vet	Vf	P	Pm	Acm	MG
APC	0,07	0,02	0,09	0,78±0,37	0,91	0,95	2,39
APD	0,09	0,23	0,32	0,27±0,22	0,53	0,73	2,34
NDVI	0,00	0,01	0,01	0,00±0,02	0,00	0,09	0,47

Altura da copa projetada (m²) (APC); Altura da planta (APD); *normalized difference vegetation index* (NDVI) ; . Variância fenotípica permanente entre plantas (Vfp); Variância de ambiente temporário (Vet); Variância fenotípica individual (Vf); repetibilidade individual (ρ); Repetibilidade da média de m colheitas ou medidas repetidas (ρm); Acurácia da seleção baseada na média de m colheita ou medidas repetidas (Acm); Média geral do experimento (MG).

A Tabela 3 mostra os valores relacionados à estimativa do coeficiente de determinação (R^2), Acurácia (Ac) e ganhos de eficiência (Ef) da seleção, que seriam obtidos através da realização de até 10 medições em cada indivíduo, para as características obtidas com as imagens do drone. Assim, a metodologia

baseada em imagens aéreas, verifica-se que três mensuração é suficiente para estimar o valor real dos indivíduos para as características altura da planta (APD) (Tabela 3), com confiabilidade acima de 91% e acurácia de 95%. Por sua vez, para as características APC e NDVI, vai exigir um número maior de mensurações para estimar essas características com boa confiabilidade e precisão. Característica com valores baixos, exigindo um número maior de medições, acaba tornando inviável e trabalhoso realizar mais de 10 mensurações para essa característica (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados relacionados ao coeficiente de determinação (R^2), acurácia (Ac) e eficiência (Ef) obtidos pela realização de m medidas repetidas nos 15 acessos do BAG mamão.

Característica	DRONE										
	Mensurações										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
APC	R^2	0,27	0,43	0,53	0,60	0,65	0,69	0,73	0,75	0,77	0,79
	Ac	0,52	0,66	0,73	0,77	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89
	Ef	1,00	1,25	1,38	1,47	1,53	1,58	1,61	1,64	1,66	1,68
APD	R^2	0,78	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97
	Ac	0,88	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
	Ef	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11
NDVI	R^2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
	Ac	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
	Ef	1,00	1,41	1,72	1,99	2,22	2,43	2,62	2,79	2,96	3,11

Altura da copa projetada (m^2) (APC); Altura da planta (APD); normalized *difference vegetation index* (NDVI)

A quantidade de mensurações é uma importante informação para os programas de melhoramento genético, sendo de grande utilidade para o melhorista na economia de tempo, mão de obra, recursos financeiros e maior eficiência para selecionar novos genótipos superiores. A metodologia baseada em imagens aéreas apresentou resultados satisfatórios para o R^2 , Ac e Ef apenas para uma das três características avaliadas (Tabela 3). O nível de determinação vai depender do objetivo da seleção, caso os indivíduos sejam selecionados para compor uma população, valores de R^2 acima de 80% e valores de precisão acima de 0,89 já são considerados ideais (SANTA

CATARINA et al., 2019). Empregando a metodologia com uso de imagens do drone foram obtidos valores acima de 80% para o coeficiente de determinação a partir de quatro medições da característica APD, e uma precisão superior a 0,89 para a mesma característica. Para a outra característica avaliada e o NDVI, não obtiveram-se valores ideais.

Em características que apresentam repetibilidades baixas e intermediárias, a seleção de indivíduos vai exigir um número maior de mensurações para que se tenha um aumento na eficiência em termos de ganho genético com a seleção de indivíduos superiores. Sendo assim, é necessário levar em consideração, o aumento de tempo e custos para determinar o número ideal de mensurações (MARTINS et al., 2019).

Encontra-se na Tabela 4 os efeitos fenotípicos permanentes (fp) e valores fenotípicos permanentes, em duas características de grande importância para o melhoramento genético do mamoeiro e o Índice de diferença normalizada preditos em acessos fenotipados via imagens aéreas, com ordenamento de acordo com o índice de seleção IVFP, baseado em pesos atribuídos às características.

Em estudos de repetibilidade, indica-se o uso do valor fenotípico permanente para comparar indivíduos quando não se tem os valores genotípicos. Assim, o valor fenotípico permanente pode ser analisado como o valor esperado de uma produção futura ou capacidade provável de produção (VIANA et al., 2014). O índice de seleção mostrou coerência no ranqueamento nas características avaliadas e no NDVI, nas quais foram atribuídos os maiores pesos.

Tabela 4. Efeitos fenotípicos permanentes (fp) e valores fenotípicos permanentes ($\mu+fp$), em duas características e o NDVI de grande importância para o melhoramento genético do mamoeiro preditos em acessos fenotipados via imagens de drone e ranqueamento de acordo com o índice de seleção CSI

Rank	Acesso	APC		Rank	Acesso	APD		Rank	Acesso	NDVI	
		Fp	$\mu + fp$			Fp	$\mu + fp$			Fp	$\mu + fp$
1	CPMF234	0.37	27.19	1	TAINUNG	0,36	27,59	1	CPMF128	0,00	0,48
2	CPMF232	0.25	26.01	2	CPMF230	0,32	27,16	2	TAINUNG	0,00	0,47
3	CPMF230	0.19	25.35	3	CPMF233	0,29	26,82	3	CPMF011	0,00	0,47

4	TAINUNG	0.16	25.12	4	CPMF234	0,14	25,33	4	CPMF234	0,00	0,47
5	CPMF233	0.15	24.95	5	CPMF235	0,11	25,12	5	CPMF040	0,00	0,47
6	CPMF248	0.06	24.10	6	CPMF087	0,10	24,99	6	L-78	0,00	0,47
7	CPMF087	0.02	23.67	7	CPMF021	0,04	24,39	7	CPMF232	0,00	0,47
8	CPMF235	-0.00	23.40	8	CPMF250	0,04	24,35	8	CPMF087	0,00	0,47
9	CPMF250	-0.02	23.15	9	CPMF248	0,03	24,23	9	CPMF250	-0,00	0,47
10	CPMF021	-0.04	22.95	10	CPMF232	0,00	23,96	10	CPMF230	-0,00	0,47
11	CPMF128	-0.09	22.48	11	L-78	-0,06	23,26	11	CPMF248	-0,00	0,47
12	L-78	-0.14	21.97	12	CPMF249	-0,14	22,50	12	CPMF249	-0,00	0,47
13	CPMF249	-0.18	21.59	13	CPMF011	-0,40	19,84	13	CPMF235	-0,00	0,47
14	CPMF040	-0.19	21.48	14	CPMF040	-0,41	19,78	14	CPMF021	-0,00	0,47
15	CPMF011	-0.52	18.17	15	CPMF128	-0,44	19,45	15	CPMF233	-0,00	0,47

Assim, pela metodologia usando imagens de drones verifica-se que os acessos CNPMF230, TAINUNG, CNPMF234, CNPMF232 e CNPMF233 foram os que apresentaram os melhores resultados para as duas características avaliadas de acordo com o ranqueamento e a distribuição dos pesos (Tabela 4). Nesse caso pode-se dizer que esses acessos são superiores aos demais utilizados no estudo, para a características APC e APD. Os acessos CNPMF040, CNPMF011 e CNPMF128 foram classificados como os piores acessos pela metodologia aplicada.

Um aspecto interessante é que dos acessos avaliados, o híbrido Tainung apresentou em primeiro do ranking para característica APD, mostrando a eficiência do uso de imagens de drones, uma vez que, o acesso realmente apresenta característica de porte elevado.

CONCLUSÕES

A fenotipagem baseada em imagens de drone mostrou-se eficiente na estimação dos coeficientes de repetibilidade para as duas características avaliadas.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, JULIERME Z. et al. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 15-24, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. 2014. Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético: Volume 2 Viçosa UFV, **Imprensa universitária** 668p.

DUAN, T. et al. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. **Field Crops Research**, v. 210, p. 71-80, 2017.

FAO 2014. **World Production**. Disponível em:<www.faostat3.fao.org> . Acesso em: 30 set. 2018.

GEMTOS, Theofanis et al. Precision agriculture application in fruit crops: Experience in handpicked fruits. **Procedia Technology**, v. 8, p. 324-332, 2013.

GAMEIRO, S. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Revista Terrae**, v. 13, 2016.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, L.C.; VASCONCELOS, L.F.L.; LIMA NETO, F.P. Análise genética em genótipos de manga rosa via REML/BLUP. **Revista Agrotecnologia**, v.5, n.1, p.01-16, 2014.

MARTINS, Madlles Queiroz et al. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 238-242, 2019

SANTA CATARINA, RENATO, et al. Papaya (*Carica papaya* L.) S1 family recurrent selection: Opportunities and selection alternatives from the base population. **Scientia Horticulturae**, 2019, 260: 108848.

RESENDE, MARCOS DEON VILELA DE. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

SILVA, F. et al. Selection and estimation of the genetic gain in segregating generations of papaya (*Carica papaya* L.). **Crop Breeding & Applied Biotechnology** 8: 1-8. 2008.

VIANA, I. A. et al. potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 3, p. 286-298, 2018.

VIANA, ALEXANDRE PIO. **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014, 296p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou resultados relevantes para caracterização da cultura do mamoeiro empregando o uso de imagens digitais, facilitando o trabalho de caracterização em campo, uma vez que, reduziu consideravelmente o tempo de trabalho, custos de mão de obra, e possibilitou avaliar vários indivíduos em um único dia. Para a altura da planta e diâmetro da copa os resultados foram satisfatórios, possibilitando assim o uso dessa tecnologia, uma vez que, já se tenha o drone, já que é uma ferramenta cara que pode acabar se tornando inviável seu uso.

Para o uso do Índice de Vegetação NDVI, ainda precisam ser realizados novos estudos uma vez que, para esse trabalho os resultados não se mostraram satisfatórios.

