

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

**CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA DE
ACESSOS DE MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) UTILIZANDO
MÉTODOS CLÁSSICOS E ALTERNATIVOS**

Daiane Sampaio de Santana

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2024**

CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA DE ACESSOS DE MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) UTILIZANDO MÉTODOS CLÁSSICOS E ALTERNATIVOS

Daiane Sampaio de Santana

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2020

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Dr. Onildo Nunes de Jesus

Coorientador: Dr. Franklin Damasceno Carvalho

Coorientador (a): Dr^a. Hellen Cristina da Paixão Moura

FICHA CATALOGRÁFICA

S232c

Santana, Daiane Sampaio de.

Caracterização morfoagronômica de acessos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) utilizando métodos clássicos e alternativos / Daiane Sampaio de Santana. _ Cruz das Almas, BA, 2024.

87f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientadora: Prof. Dr. Onildo Nunes de Jesus.

Coorientador: Dr. Franklin Damasceno Carvalho.

Coorientadora: Dra. Hellen Cristina da Paixão Moura.

1.Mamão – Cultivo – Manejo. 2.Mamão – Caracterização. 3.Germoplasma vegetal – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 634.651

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

**CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA DE ACESSOS DE
MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) UTILIZANDO MÉTODOS CLÁSSICOS
E ALTERNATIVOS**

Comissão Examinadora da Defesa de
Dissertação de Daiane Sampaio de Santana

Aprovada em: 14/10/2024

Documento assinado digitalmente
 **ONILDO NUNES DE JESUS**
Data: 11/12/2024 15:43:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Onildo Nunes de Jesus
Pesquisador/Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **DIEGO FERNANDO MARMOLEJO CORTES**
Data: 09/12/2024 23:01:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Diego Fernando Marmolejo Cortes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Examinador interno)

Documento assinado digitalmente
 **RENATO SANTA CATARINA**
Data: 10/12/2024 18:00:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Renato Santa Catarina
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro (Examinador externo)

DEDICATÓRIA

A Deus, meu Pai e ajudado, sem Ele eu jamais teria chegado até aqui. Ao Senhor Jesus, a razão da minha existência. Ao Espírito Santo, meu consolador. A minha família (Mãe, Pai e irmãos) por me apoiar e incentivar a conquistar meus sonhos, mesmo aqueles considerados mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a meu Deus e pai, ao Senhor Jesus, razão do meu viver, e ao Espírito Santo, meu consolo diário. A graça e misericórdia de Deus, por meio de Jesus Cristo, me levam a lugares inimagináveis, e tudo é para a glória Dele.

À minha família que é a minha base e são meus melhores amigos. Minha mãe, Clarice, minha melhor amiga, que ora por mim e me encoraja com palavras de ânimo e fé. Meu pai, Lourival, que me apoia nos estudos e torce pela minha vitória. Meus pais são exemplos de amor e resiliência. Aos meus irmãos, Danilo, Tiago e Filipe, que me ajudam em tudo, especialmente Tiago com seus conselhos. À minha cunhada Geruza, por todo carinho. E à minha sobrinha Lavínia, que é a alegria das nossas vidas.

Às minhas tias, tio, primos e primas, que sempre torcem e vibram pelas minhas conquistas. Sou grato por todo o apoio e inspiração que me proporcionam.

Ao meu orientador, Dr. Onildo Nunes, a quem expresso minha profunda gratidão pelo apoio e suporte inestimáveis durante o desenvolvimento desta pesquisa. Sua orientação, paciência e palavras de incentivo foram fundamentais não apenas para a conclusão deste mestrado, mas também como inspiração que levarei comigo ao longo de toda minha trajetória profissional.

Aos meus coorientadores, Dra. Hellen e Dr. Franklin, agradeço pela paciência e dedicação em cada etapa deste processo. Suas contribuições foram essenciais para o aprimoramento do meu trabalho.

A todos da equipe Mamão e Maracujá, minha imensa gratidão. Agradeço especialmente a Francisco, pela ajuda e incentivo desde o início. Sem a sua ajuda, eu não teria conseguido. A Sidnara, Idália, Celeste e Liliane por todo suporte e companheirismo.

A todos os pesquisadores e colaboradores da Embrapa Mandioca e Fruticultura, minha sincera gratidão.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela disponibilização de um campo de pesquisa e pelos materiais necessários para a realização do trabalho.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, pela significativa contribuição à minha formação acadêmica e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, que foi essencial para a realização deste trabalho. A todos que ajudaram direta ou indiretamente minha imensa gratidão.

EPÍGRAFE

“Porque para Deus nada é impossível”.
Lucas 1:37

CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA DE ACESSOS DE MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) UTILIZANDO MÉTODOS CLÁSSICOS E ALTERNATIVOS

RESUMO: O banco de germoplasma de mamoeiro da Embrapa Mandioca e Fruticultura é composto por vários acessos. A caracterização morfológica e agronômica desses acessos é essencial para identificar genótipos promissores para uso no programa de melhoramento. Assim, este estudo propõe-se a: i) caracterizar a diversidade fenotípica dos acessos de mamoeiro utilizando descritores morfo-agronômicos; ii) realizar a análise colorimétrica utilizando imagens digitais tanto da planta como da polpa; iii) identificar fontes de resistência à pinta-preta em folhas e frutos em condições de campo; iv) realizar a caracterização físicas e químicas em frutos de mamoeiro. Para a caracterização morfológica foram avaliados 111 acessos de mamoeiros hermafroditas do banco de germoplasma da Embrapa, aos seis meses após o plantio por meio de oito descritores qualitativos e cinco quantitativos. Imagens dos acessos (caules, pecíolos, folhas e flores) foram analisadas para extração de cor com base no pacote *colordistance* e a métrica *Earth Mover's Distance* (EMD) utilizando o *software* R. Os dados foram analisados por meio de análise multivariada com os acessos agrupados em *clusters* e *heatmap*. O método utilizando imagens, conseguiu agrupar os acessos com base na cor das estruturas avaliadas. Essa técnica revelou ampla diversidade fenotípica quando comparada ao método convencional utilizando descritores morfológicos. Aos dezesseis meses, frutos de 110 acessos de plantas hermafroditas foram avaliados para as características físicas: massa de fruto, comprimento e diâmetro do fruto, relação comprimento e diâmetro, diâmetro da cavidade interna, espessura da polpa, firmeza do fruto e caracteres químicos como teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e a relação sólidos solúveis/acidez (*ratio*). A coloração da polpa foi também avaliada com pacote *colordistance*, sendo as cores avaliadas no espaço de cor *CIE-L*a*b**. A severidade da doença pinta-preta em folhas e frutos foi avaliada em campo com escalas diagramáticas. Os dados foram analisados por estatística multivariada (*clusters* e *heatmap*) com uso da distância euclidiana e o método de ligação completa. Com base nos caracteres físicos e químicos foi possível organizar os *clusters* os acessos tipo Solo em quatro grupo, enquanto os acessos Intermediários e Formosa foram organizados em seis grupos. Uma ampla variação foi observada dentro e entre grupos identificados. A análise colorimétrica da polpa com base na imagem agrupou de forma eficiente os acessos com base na similaridade da cor da polpa do fruto, com nítida separação dos acessos de polpa avermelhada, polpa alaranjada e amarelada. Os acessos BGCA245, BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 e BGCA67 se destacaram por apresentar baixos índices de severidade da doença pinta-preta nas folhas e frutos. O germoplasma de mamoeiro da Embrapa revelou uma considerável diversidade genética sendo que o acesso BGCA120, se destacou em termos de formato, tamanho do fruto, cor da polpa e baixos índices de severidade da doença, sendo promissor para o melhoramento genético.

Palavras-chave: Germoplasma; qualidade de fruto; melhoramento genético; imagens digitais; *Asperisporium caricae*

MORPHOAGRONOMIC CHARACTERIZATION OF PAPAYA (*Carica papaya* L.) ACCESSIONS USING CLASSICAL AND ALTERNATIVE METHODS

ABSTRACT: The Embrapa Cassava and Fruits papaya germplasm bank is composed of several accessions. The morphological and agronomic characterization of these accessions is an essential step to identify promising genotypes for use in breeding programs. Therefore, this study proposes to: i) characterize the phenotypic diversity of papaya accessions by morpho-agronomic descriptors; ii) carry out colorimetric analysis by utilizing digital images of both the plant and the pulp; iii) identify resistance sources to papaya black spot in leaves and fruits under field conditions; iv) carry out physical and chemical characterization of papaya fruits. For the morphological characterization, 111 hermaphrodite papaya accessions from Embrapa's germplasm bank were evaluated at six months after planting using eight qualitative and five quantitative descriptors. Images of each accession (stems, petioles, leaves and flowers) were analyzed for color extraction by utilizing the *colordistance* package and the Earth Mover's Distance (EMD) metrics of the R software. The data was analyzed by using multivariate analysis and the accessions were grouped into clusters and heatmap. The digital images method was able to grouping papaya accessions based on the color of evaluated structures. This technique revealed a wide phenotypic diversity when compared to the conventional method that uses morphological descriptors. At sixteen months, fruits from 110 papaya accessions belonging to hermaphrodite plants were evaluated for physical characteristics: fruit mass, fruit length and diameter, ratio length and diameter, internal cavity diameter, pulp thickness, fruit firmness and chemical characters such as soluble solids content, titratable acidity, pH and the soluble solids to acidity ratio. The pulp color was also assessed by the *colordistance* package, in the CIE-L*a*b* color space. The severity of the papaya black spot on leaves and fruits was measured under field conditions by using diagrammatic scales. The data was analyzed by multivariate statistics (clusters and heatmap) utilizing Euclidean distance and the complete linkage method. Based on the physical and chemical characters, it was possible to organize the Solo Group accessions into four groups, while the Intermediate and Formosa Groups accessions were organized into six groups. A wide variation was observed within and between the groups. The pulp colorimetric analysis by digital images was efficient for grouping the papaya accessions based on pulp color similarity, with a clear separation between accessions with reddish, orange and yellowish pulps. The accessions BGCA245, BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 and BGCA67 stood out for presents low levels of papaya black spot disease severity on leaves and fruits. The Embrapa's papaya germplasm revealed a considerable genetic diversity, and the accession BGCA120 standing out as far as shape, fruit size, pulp color and low level of disease severity, making it promising for genetic improvement.

Keywords: Germplasm; fruit quality; genetic improvement; digital images; *Asperisporium caricae*

SUMÁRIO

1. LISTA DE FIGURAS	12
2. LISTA DE TABELAS.....	14
3. INTRODUÇÃO GERAL	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1. Aspectos gerais da cultura do mamoeiro (<i>Carica papaya</i> L.).....	17
4.2. Recursos genéticos de Banco Ativo de Germoplasma do Mamoeiro	18
4.3. Descritores Morfoagronômicos	19
4.4. Processamento e análise de imagens digitais de plantas	20
4.5. Análises multivariadas	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

Capítulo I: CARACTERIZAÇÃO DE ACESSOS DE MAMOEIRO UTILIZANDO DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS E ANÁLISE COLORIMÉTRICA POR IMAGENS DIGITAIS

1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1. Local de condução do experimento	33
2.2. Material vegetal.....	33
2.3. Caracterização morfoagronômica	36
2.4. Análise estatística com base na coloração das características por imagem	38
2.5. Análise estatística dados qualitativos e quantitativos	39
3. RESULTADOS	40
3.1. Caracterização morfoagronômica por meio de descritores	40
3.2. Análise colorimétrica por análise de imagens digitais	43
4. DISCUSSÃO	46
5. CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

Capítulo II: CARACTERIZAÇÃO DE FRUTOS, ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE POLPAS COM IMAGEM DIGITAL E RESISTÊNCIA À PINTA-PRETA EM GERMOPLASMA DE MAMOEIRO (*Carica papaya* L.)

1. INTRODUÇÃO	58
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60

2.1. Localização do experimento e material vegetal	60
2.2. Material Vegetal	60
2.3. Avaliação física e química.....	63
2.4. Análise colorimétrica	63
2.5. Avaliação da doença pinta-preta.....	64
2.6. Análise estatística	65
3. RESULTADOS	66
3.1. Caracterização física e química dos frutos.....	66
3.2. Análise da cor da polpa via imagem digital	71
3.3. Severidade da doença pinta-preta (<i>Asperisporium caricae</i>) em folhas e frutos de mamoeiro.....	73
4. DISCUSSÃO	74
5. CONCLUSÕES	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Análise de agrupamento baseada em descritores morfoagronômicos em 111 acessos de *Carica papaya* L. utilizando a distância de Gower e o método de ligação completa. (a) Mapa de calor (*heatmap*) gerado com oito descritores qualitativos e cinco descritores quantitativos com dados transformados. Os grupos (G1 a G5) estão identificados por círculos maiores e preenchidos. No *heatmap*, os descritores são coloridos de acordo com seu valor, variando desde valores baixos (verde mais escuros) valores mais altos (verde mais claros). Retângulos menores externos ao círculo e próximo ao código de acesso indicam a cloração da flor no seu terço médio. *Boxplots* (b-f) em função dos grupos formados pelo método de ligação completa: (b) altura da planta (ALT); (c) diâmetro do caule (DAM); (d) comprimento da folha madura (CF); (e) largura da folha madura (LF); (f) comprimento do pecíolo da folha (CP). (g) Variabilidade fenotípica entre genótipos, por grupo, ajustada à curva normal. (h) Variabilidade fenotípica entre as características quantitativas e qualitativas avaliadas.

..... 40

Figura 2. Caules, folhas, pecíolos e flores de acessos de mamoeiro do banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura com código de cores Hexadecimal. (a) BGCA176; (b) BGCA130; (c) BGCA166; (d) BGCA234; (e) BGCA251; (f) BGCA011; (g) BGCA037; (h) BGCA142. 42

Figura 3. Classificação de cores para os 111 acessos de *Carica papaya* L. Representação tridimensional de todos os pixels presentes em (a) caules, (b) pecíolos, (c) flores e (d) folhas, excluindo o fundo, no espaço de cores RGB. Gráficos de barra empilhados mostrando a distribuição proporcional de pixels, desconsiderando o fundo, atribuídos em cada um dos oito compartimentos para imagens de (e) caules, (f) pecíolos, (g) flores e (h) folhas. As barras são coloridas de acordo com a tonalidade média dos pixels em cada segmento e estão ordenadas por grupo. Os grupos (G1 a G8) estão identificados ao lado do gráfico conforme os grupos identificados na Figura 4. O grupo “Único” foi representado pelos acessos isolados BGCA251, BGCA172, BGCA116 e BGCA027 nos gráficos (setas vermelhas). 44

Figura 4. Análises de agrupamento para matrizes de distância de cor de caules, pecíolos, flores e folhas de 111 genótipos de *Carica papaya* L. geradas usando a *Earth Mover’s Distance* (EMD). A coloração dos ramos identifica os grupos. Foram incluídas como referência fotos de três acessos por grupo. O grupo “Único” foi representado pelos acessos isolados BGCA251, BGCA172, BGCA116 e BGCA027 no dendrograma (setas vermelhas). 45

CAPÍTULO II

Figura 1. Mapa de calor e análise de agrupamento com base na distância euclidiana e método de ligação completo de 110 acessos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma de Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura. As características consideradas para o agrupamento foram massa do fruto (MF); comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); relação entre comprimento e diâmetro (RCD); diâmetro da cavidade interna do fruto (DC); espessura da polpa (EP); firmeza do fruto (F); potencial hidrogeniônico (pH); acidez titulável (AT); sólidos solúveis (SS) e ratio, razão entre SS/AT. IF: Formosa/intermediários; S: Solo. 67

Figura 2. (a) mapa de calor e análise de agrupamento com base na distância euclidiana usando o método de ligação completa para 40 acessos de mamoeiro do grupo Solo do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. (b) *Boxplots* para as variáveis estudadas com os grupos determinados pela análise de agrupamento. Seguindo a ordem: massa do fruto (MF); comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); relação comprimento e diâmetro (RCD); diâmetro da cavidade interna (DC); espessura da polpa (EP); firmeza do fruto (F); potencial hidrogeniônico (pH); acidez titulável (AT); sólidos solúveis (SS) e ratio, razão SS/AT. Nos *boxplots*, as linhas em negrito indicam a mediana dos dados, as caixas representam os quartis (Q1 e Q3) ou 50% dos dados, enquanto os segmentos além das caixas (bigodes) mostram os valores máximos e mínimos (excluindo os outlier (●)). **68**

Figura 3. (a) mapa de calor e análise de agrupamento de 29 acessos de mamoeiro do grupo Formosa e 41 acessos do grupo Intermediários do Banco Ativo de Germoplasma de Mamoeiro da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Considerou-se para o agrupamento distância euclidiana e o método de ligação completa para as 11 características avaliadas (b) *Boxplots* para as 11 características avaliadas nos frutos considerando os grupos identificados por meio das análises de agrupamento: massa do fruto (MF); comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); relação comprimento e diâmetro (RCD); diâmetro da cavidade interna do fruto (DC); espessura da polpa (EP); firmeza do fruto (F); potencial hidrogeniônico (pH); acidez titulável (AT); sólidos solúveis (SS); e ratio, razão SS/AT. Nos *boxplots*, as linhas em negrito indicam a mediana dos dados, as caixas representam os quartis (Q1 e Q3) ou 50% dos dados, enquanto os segmentos além das caixas (bigodes) mostram os valores máximos e mínimos (excluindo os outlier (●)). **70**

Figura 4. Classificação de cores para os 110 genótipos de *Carica papaya* L. (a) Representação tridimensional de todos os pixels presentes no fragmento da polpa (2 × 2 cm) do fruto, no espaço de cores RGB. (b) Histograma da distribuição de cores pixels atribuídos em cada um dos oito compartimentos para imagens da polpa do fruto. (c) Gráfico empilhado da extração de cores das imagens de polpa analisadas de cada acesso, sendo a barra fracionada em função da quantidade de cores distintas presentes na imagem. (d) Mapa de calor (*heatmap*) da análise de agrupamento baseado no valor médio de L^* , a^* e b^* (*CIELab*) das imagens da polpa com base na distância euclidiana e ligação completa, ao lado, imagem da polpa de um fruto cortado transversalmente, e seu código hexadecimal, representando o grupo formado. A cor da polpa detectada para cada acesso está destacada por retângulo colorido externo ao *heatmap*. (e) Representação do espaço de cores *CIELab* gerada por mecanismos de inteligência artificial: *Bing Image Creator*. **72**

Figura 5. Severidade da doença pinta-preta (*Asperisporium caricae*) em folhas e frutos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, avaliada em campo. A-B) Dendrogramas com base no índice de severidade dos sintomas nas folhas (a) e frutos (b) utilizando distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA. C-D) distribuição do número de acessos em cada grupo dos dendrogramas em função da severidade dos sintomas nas folhas (c) e nos frutos (d). S: Solo; IF: Formosa/Intermediário. A cor da barra representa um grupo de acordo com o dendrograma. **74**

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Lista de Acessos pertencentes ao Banco de Germoplasma de Mamoeiro (*Carica papaya* L.) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia... **33**

Tabela 2. Descritores quantitativos e qualitativos utilizados na caracterização de 111 acessos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura..... **36**

CAPÍTULO II

Tabela 3. Lista de acessos de mamoeiros avaliados pertencentes ao Banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia. **61**

INTRODUÇÃO GERAL

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), originário do norte da América Central e do sul do México, é um recurso genético crucial para a segurança alimentar devido ao excelente valor nutricional de seus frutos. Além disso, é uma cultura de grande importância econômica em regiões tropicais e subtropicais do mundo, incluindo o Brasil (Girón-Ramírez *et al.*, 2021; Hernández-Salinas *et al.*, 2022). Em 2023, o Brasil produziu 1.138.343 toneladas em uma área de 26.839 hectares, resultando em uma produtividade de 42.414 kg por hectare (IBGE, 2024). No cenário nacional os estados da Bahia e Espírito Santo foram os maiores produtores, com 354.525 e 352.046 toneladas, respectivamente (IBGE, 2024).

Apesar de sua importância, a produção de mamão enfrenta desafios significativos, incluindo adversidades climáticas, pragas e doenças (Budiyantl *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022). Especialmente, doenças fúngicas como a pinta-preta, causada pelo fungo *Asperisporium caricae*, reduzem a capacidade fotossintética das plantas e afetam a qualidade dos frutos, causando grandes prejuízos (Vivas *et al.*, 2013). Além disso, Serafini *et al.* (2021), aponta que os produtores ainda concentram a produção em um número limitado de cultivares dos grupos Solo e Formosa, não expandindo para outras cultivares já registradas. Isso resulta em baixa variabilidade genética, aumenta a suscetibilidade às principais pragas e doenças e reduz a produtividade.

Estudos voltados para a compreensão da variabilidade genética do mamoeiro são fundamentais para o melhoramento genético (Silva *et al.*, 2017). A finalidade desses estudos é identificar genótipos que apresentem características agronômicas e econômicas desejáveis, que atendam às principais demandas comerciais relacionadas à produtividade, à qualidade dos frutos, à resistência a doenças e pragas, e a tolerância a fatores abióticos (Nobre *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2017).

Bancos Ativos de Germoplasma são coleções de materiais genéticos essenciais para a melhoria e conservação das culturas. Nos bancos de germoplasma do mamoeiro, uma das principais práticas realizadas é a caracterização dos acessos (Ferreira *et al.*, 2022). Descritores morfológicos e/ou agronômicos são frequentemente utilizados na caracterização e podem ser qualitativos ou quantitativos (Oliveira *et al.*, 2012a; Pirovani *et al.*, 2021).

A cultura do mamoeiro apresenta diferentes formas e tamanhos de folhas, frutos, tipos de inflorescências e flores (Moore *et al.*, 2013). Portanto, ao se trabalhar com um número elevado de descritores, eles tendem a ser repetitivos, o que não contribui para a distinção dos indivíduos avaliados, e pode tornar a caracterização imprecisa (Silva *et al.*, 2019). A avaliação visual de algumas características, especialmente aquelas relacionadas à cor, é particularmente desafiadora e suscetível a erros devido à subjetividade do observador, ou ainda, aos descritores não abrangerem todas as classes de cores (Jesus *et al.*, 2022).

A cor desempenha um papel fundamental na função das plantas na natureza. Flores e frutos exibem uma variedade de cores, principalmente para atrair polinizadores e também para sinalizar a maturidade das frutas aos agentes dispersores, diferindo do verde predominante na vegetação. Juntamente com outras características de qualidade, a cor dos frutos exerce influência até na decisão de compra dos consumidores. Sendo assim, a análise de cores é crucial na fenotipagem de plantas e oferece dados valiosos com diversas aplicações (Kays, 1999; Silva *et al.*, 2016; Wright *et al.*, 2023).

Para tornar a fenotipagem ou caracterização mais eficiente, métodos alternativos baseados em processamento de imagens têm sido empregados ultimamente (Cortes *et al.*, 2017; Rosero *et al.*, 2019). A integração de técnicas de processamento de imagens digitais e análise multivariada pode aprimorar a caracterização e o melhoramento do mamoeiro de maneira completa e eficiente (Silva *et al.*, 2017). Tendo em vista que a análise multivariada, identifica os descritores mais informativos em um conjunto de dados analisados (Oliveira *et al.*, 2012a).

Portanto, este trabalho teve por objetivo *i*) caracterizar a diversidade fenotípica dos acessos de mamoeiro utilizando descritores morfo-agronômicos; *ii*) analisar imagens digitais para quantificar diferenças morfológicas com base em atributos de cor de acessos de mamoeiro; *iii*) identificar fontes de resistência à pinta-preta em folhas e frutos em condições de campo; *iv*) realizar análises físicas e químicas em frutos de mamoeiro e *v*) empregar uma metodologia alternativa com base em imagem digital para caracterização da cor da polpa de frutos de mamoeiro.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aspectos gerais da cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.)

A família Caricaceae engloba seis gêneros (*Vasconcellea*, *Cylicomorpha*, *Horovitzia*, *Jarilla*, *Jacaratia* e *Carica*). Destes, *Vasconcellea* é o maior, pois abriga 21 espécies das 35 que estão distribuídas nessa família. Em contrapartida, o gênero *Carica* inclui apenas a espécie *Carica papaya* L. (Badillo, 2001).

Carica papaya é originária do norte da América Central e sul do México. Em razão de seu valor comercial e do volume de vendas, o mamoeiro é a espécie economicamente mais importante da família Caricaceae e é amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais do mundo (Hernández-Salinas *et al.*, 2019).

O mamoeiro apresenta uma notável diversidade fenotípica em suas características morfológicas. Essa variação abrange desde formas e tamanhos das folhas até tipos de inflorescências e flores, bem como a forma e o tamanho dos frutos (Moore *et al.*, 2013). As plantas de mamoeiro possuem caules semi-lenhosos, geralmente únicos, cilíndricos e ocos. O sistema radicular é do tipo pivotante, com ramificações que se distribuem ao redor, concentrando-se principalmente nos primeiros 30 cm do solo. Seus pecíolos são longos e ocos, conectando as folhas ao caule (Jiménez, 2014; Martins *et al.*, 2024). As folhas são grandes, palmadas, com nervuras e lóbulos nas bordas, formando uma espiral ao redor do caule, concentrando-se principalmente na região apical. Além disso, o látex está presente em todos os tecidos da planta (Ramona *et al.*, 2017).

É uma espécie trióica e apresenta três tipos básicos de flores: femininas, masculinas e hermafroditas (Lee *et al.*, 2018). Ming *et al.* (2007), mencionam que o mamoeiro possui um sistema de determinação sexual que se baseia no cromossomo XY. Nesse sistema, as femininas possuem XX, masculinas XY e as hermafroditas têm um cromossomo XY2. Essa diversidade genética influencia o tipo sexual da planta e afeta a produção de frutos.

As plantas com flores masculinas ou estaminadas apresentam suas flores em longas inflorescências, e essas flores não possuem pistilo, exceto por algumas flores ocasionalmente encontradas na extremidade mais distante (Ming *et al.*, 2007). Essas plantas raramente produzem frutos, o que geralmente as torna sem utilidade comercial (Phuangrat *et al.*, 2013). Por outro lado, os mamoeiros com flores femininas, também conhecidas como flores pistiladas, produzem frutos de formato mais arredondado (Fernandes *et al.*, 2022).

No entanto, os frutos mais aceitos pelos consumidores são os produzidos por plantas com flores hermafroditas, pois esses frutos têm maior espessura de polpa e, conseqüentemente, menor cavidade interna (Abreu *et al.*, 2015). Vale ressaltar que as flores hermafroditas podem ser afetadas pelas variações ambientais, especialmente a temperatura, resultando em anomalias florais como reversão sexual, pentandria e carpeloidia (Ferreira *et al.*, 2022).

A reversão sexual também conhecida como esterilidade de verão ocorre quando as temperaturas são elevadas, quando os níveis de nitrogênio no solo são insuficientes ou em caso de deficiência hídrica. Temperaturas de inverno ou amena favorecem a carpeloidia e pentandria, o surgimento dessas anomalias resulta em frutos deformados que fogem do padrão comercial (Damasceno-Junior *et al.*, 2018; Moreira *et al.*, 2019a).

As principais variedades cultivadas de mamão estão distribuídas em dois grandes grupos: Solo e Formosa (Pirovani *et al.*, 2022). O grupo Solo é caracterizado por produzir frutos de menor porte, com peso variando de 300 a 600 gramas, já o grupo Formosa produz frutos com peso entre 1000 e 1300 gramas, mas além desses padrões existe uma nova classe de genótipos que produzem frutos de tamanho intermediário, pesando em média 800 gramas (Santana *et al.*, 2023).

Recursos genéticos de Banco Ativo de Germoplasma do Mamoeiro

A preservação dos recursos genéticos além de contribuir para a produção agrícola sustentável pode influenciar na adaptação das plantas ao constante cenário de variações climáticas. Além disso, os recursos genéticos são essenciais para o melhoramento genético, pois contribuem para a segurança alimentar, o crescimento econômico e a manutenção da diversidade genética. Eles também são fontes potenciais de genes de resistência a estresses causados por pragas, doenças e condições abióticas (Casals *et al.*, 2017; Katna; Sood, 2015; Zhang *et al.*, 2021). No entanto, é essencial que haja um profundo entendimento da diversidade genética do material vegetal disponível para iniciar um programa eficaz de melhoramento de plantas (Hasibuzzaman *et al.*, 2020).

No melhoramento genético do mamoeiro, os recursos genéticos têm sido utilizados como base para o desenvolvimento de cultivares superiores. Budiyanthi *et al.* (2021), mencionam que as variedades devem possuir características agrônômicas desejáveis, resistência a pragas, doenças, fatores abióticos e que atendam às

exigências dos consumidores, com frutos de sabor adocicado, polpa de coloração laranja-avermelhada, com boa espessura da polpa, textura firme e durabilidade no mercado.

Essas características são essenciais para tornar as frutas mais atraentes para os consumidores e garantir sua durabilidade no mercado, fazendo-se necessário à manutenção de uma maior diversidade desses recursos genéticos (Budiyanti *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2021).

Os Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs) são cruciais na preservação dos recursos genéticos da cultura do mamoeiro (Ferreira *et al.*, 2022). Entre as principais instituições que realizam programas de melhoramento genético de mamoeiro no Brasil, está a Embrapa Mandioca e Fruticultura, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) em parceria com a empresa Caliman Agrícola S.A e o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) (Moreira *et al.*, 2019b; Nobre *et al.*, 2021; Pirovani *et al.*, 2018).

A caracterização dos genótipos em um Banco de Germoplasma é essencial, especialmente para gerar informações aos melhoristas, pois a ausência de dados pode complicar a utilização de um acesso no processo de melhoramento genético (Sá *et al.*, 2021).

Descritores Morfoagronômicos

O termo descritor refere-se a uma característica mensurável ou um aspecto observado em uma amostra de germoplasma. Esses descritores são usados para identificar e registrar características específicas de maneira padronizada (Tripathi *et al.*, 2022).

A caracterização morfológica de recursos genéticos vegetais se fundamenta nos descritores do *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR), fundado em 1974. Posteriormente, o IBPGR, que atualmente faz parte da aliança *Bioversity International* e do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (Conejo-Rodríguez *et al.*, 2024; Gotor *et al.*, 2008).

Mas em 1988, o IBPGR preparou uma lista de descritores para *Carica papaya* L., abrangendo aspectos morfológicos e agrônômicos. Esses descritores incluíam características como tamanho, forma, cor e outros. Tais descritores têm sido utilizados para avaliar uma variedade de características em um conjunto de germoplasma,

inclusive do mamoeiro, e desempenha um papel crucial no pré-melhoramento (Conejo-Rodríguez *et al.*, 2024).

Com base nos descritores do IBPGR, Dantas *et al.* (2000) elaboraram um catálogo de germoplasma de mamão. O objetivo principal deste catálogo era caracterizar os acessos de mamoeiro do Banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Além disso, outros pesquisadores também utilizaram esse catálogo, mesmo fora do âmbito da Embrapa (Hernández-Salinas *et al.*, 2019).

Com a finalidade de definir uma lista de descritores morfoagronômicos mínimos que permitisse distinguir os genótipos de mamoeiro de maneira rápida e precisa, Oliveira *et al.* (2012a), conduziram um estudo avaliando 30 descritores quantitativos e 21 descritores multicategóricos relacionados a características como folhas, flores, frutos e sementes em 27 genótipos de mamoeiro. Ao final da pesquisa, eles selecionaram uma lista mínima composta por 18 descritores quantitativos e 13 descritores multicategóricos específicos para a cultura do mamoeiro.

Assim, a avaliação inicial da diversidade genética pode ser realizada por meio desses descritores morfoagronômicos, que abrangem variáveis qualitativas e quantitativas, proporcionam uma visão imediata do espectro de diversidade existente (Jesus *et al.*, 2013).

Entretanto, descritores multicategóricos podem variar consideravelmente. Por exemplo, a cor nem sempre é facilmente definida por descritores específicos, devido à limitação desses descritores em abranger todas as variações e intensidades possíveis. Além disso, é importante considerar a subjetividade do observador, se tratando de cor (Jesus *et al.*, 2022).

Processamento e análise de imagens digitais de plantas

As técnicas de processamento e análise de imagens digitais são fundamentais para o setor agrícola (Francis *et al.*, 2016). Imagens digitais já foram utilizadas na detecção de doenças de planta, na segmentação de folhas de planta, ou seja na fenotipagem de plantas (Barbedo; Koenigkan; Santos, 2016; Pereira; Moraes; Reis, 2018; Zhang *et al.*, 2018).

O processamento de imagens envolve a aplicação de métodos para melhorar ou extrair dados relevantes de uma imagem (Ansari *et al.*, 2022). A análise de imagens inclui o pré-processamento (que ajusta a imagem para a análise), a segmentação (que divide a imagem em regiões com atributos comuns, facilitando a análise), a extração

de características dessas regiões (que está relacionada com a forma, estrutura ou cor) e por fim a análise ou classificação (Loddo *et al.*, 2023).

A fenotipagem convencional é cansativa e lenta, exigindo muita mão de obra, especialmente para medições em campo. Seja utilizando aparelhos específicos ou observações visuais, nesse último caso, ainda está sujeita a erros e à subjetividade do observador (Watawana; Isaksson, 2024). Já a fenotipagem de plantas com base em imagens de alta eficiência, permite a análise precisa de muitos indivíduos em pouco tempo, eliminando a necessidade de trabalho manual intensivo. Além disso, é um método que normalmente, possibilitando a quantificação repetida das mesmas características em diferentes momentos e escalas ao longo do ciclo de vida da planta (Das Choudhury; Samal; Awada, 2019).

Nesse sentido, Cortes *et al.* (2017) utilizaram análise de imagens para a fenotipagem de características morfológicas e agronômicas das plantas de mamoeiro e processamento de imagens digitais para características dos frutos de mamoeiro. O estudo focou na precisão e eficiência dessas metodologias, demonstrando alta correlação entre medições manuais e por imagem, com erros baixos, permitindo a expansão dos experimentos e maiores ganhos genéticos na seleção de genótipos superiores.

Pesquisas sobre características morfológicas de plantas têm sido frequentemente realizadas usando imagens RGB (vermelho, verde e azul). Onde cada pixel da imagem emite quantidades específicas de luz vermelha, verde e azul (LI *et al.*, 2018; Karcher; Richardson, 2003). Os autores García-Vieira *et al.* (2018) utilizaram imagens RGB para analisar as mudanças nos tecidos das folhas de mamão infectadas pelos vírus Papaya ringspot virus (PRSV) e Papaya mosaic virus (PapMV). As imagens permitiram uma análise detalhada das alterações morfológicas nos tecidos foliares.

A análise de imagens digitais é uma maneira eficiente de verificar a coloração em diferentes órgãos vegetais (Jesus *et al.*, 2022). Por exemplo, o nível de maturação dos frutos de mamão foi identificado através do processamento de imagens digitais com base nos valores de cor (Simbolon *et al.*, 2019).

Recentemente, pacotes de software, como *colordistance*, utilizados para quantificar perfis de cor em imagens digitais (Weller; Westneat, 2019) têm viabilizado a extração de informações morfométricas e cromáticas, além da definição de padrões de cor em imagens de estruturas de plantas, como flores (Gibert *et al.*, 2022). O

método do histograma, proposto em *colodistance* proporciona uma análise quantitativa das cores nas imagens e os pixels são tratados como coordenadas 3D em um espaço de cores, gerando um histograma multidimensional para cada imagem. O conceito de *Earth Mover's Distance* (EMD) é utilizado para comparar os histogramas de cores entre diferentes imagens, calculando a distância entre eles (Weller; Westneat, 2019).

Análises multivariadas

Análise Multivariada é uma técnica estatística que permite analisar conjuntos de dados extensos, com múltiplas variáveis. Em vez de examinar cada variável isoladamente, essa abordagem envolve a análise simultânea, considerando como se relacionam entre si (Martínez-Calvo *et al.*, 2008). O resultado é uma compreensão mais completa e holística dos dados.

Em estudos de germoplasma a análise multivariada é uma ferramenta valiosa, pois ajuda a compreender a estrutura da coleção, identificar variáveis importantes, além de possibilitar a identificação de possíveis agrupamentos (Tucak *et al.*, 2009). A análise multivariada envolve métricas de distância (como a euclidiana e a generalizada de Mahalanobis) e análise de cluster, também conhecida como agrupamento (como o método hierárquico). Essas abordagens ajudam a entender padrões e relações entre genótipos (Chiorato *et al.*, 2005).

A análise de agrupamentos classifica indivíduos em grupos com base em suas semelhanças, formando grupos homogêneos internamente e heterogêneos entre si. No agrupamento hierárquico, indivíduos similares são agrupados inicialmente e esses grupos são mesclados até formar um único cluster (Yang *et al.*, 2014).

O agrupamento hierárquico é frequentemente aplicado em pesquisas sobre diversidade genética na cultura do mamoeiro (Ferreira *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2012b; Pinto *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2011; Santana *et al.*, 2023). Os dendrogramas, também conhecidos como árvore filogenética, são utilizados para representar visualmente os resultados de agrupamentos. O dendrograma facilita a representação das conexões entre os grupos e mostra como eles estão relacionados com base em características compartilhadas (Li, 2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, I. S.; CARVALHO, C. R.; SOARES, F. A. F. Early sex discrimination in *Carica papaya* by nuclei FISH. **Euphytica**, v. 206, p. 667-676, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1485-1>

ANSARI, A. S. *et al.* [Retracted] Improved Support Vector Machine and Image Processing Enabled Methodology for Detection and Classification of Grape Leaf Disease. **Journal of Food Quality**, v. 2022, n. 1, p. 9502475, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/9502475>

BADILLO, V. M. *Carica L.* vs. *Vasconcellea St.* (Caricaceae) com La reabilitação de else ultima. *Ernstia*, v. 10, p. 74–99, 2000.

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T. Identifying multiple plant diseases using digital image processing. **Biosystems engineering**, v. 147, p. 104-116, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.03.012>

BUDIYANTI, T. *et al.* Genetic variability of single, double and three-way cross hybrids in papaya (*Carica papaya*). **International Journal of Conservation Science**. v. 12, n. 3, p. 1179-1188, jul.-set. 2021. Disponível em: https://ijcs.ro/public/IJCS-21-88_Budiyanti.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

CASALS, J.; CASAÑAS, F.; SIMÓ, J. Is it still necessary to continue to collect crop genetic resources in the Mediterranean area? A case study in Catalonia. **Economic botany**, v. 71, n. 4, p. 330-341, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12231-017-9392-0>

CHIORATO, A. F. *et al.* Genetic diversity of common bean accessions in the germplasm bank of the Instituto Agrônômico-IAC. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, n. 1, 2005. Disponível em: [10.12702/1984-7033.V05N01A01](https://doi.org/10.12702/1984-7033.V05N01A01)

CONEJO-RODRÍGUEZ, D. *et al.* Digital descriptors sharpen classical descriptors, for improving genebank accession management: A case study on *Arachis* spp. and *Phaseolus* spp. **Plos one**, v. 19, n. 5, p. e0302158, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302158>

CORTES, D. F. M. *et al.* Model-assisted phenotyping by digital images in Papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 294-302, jul.-ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0134>

DANTAS, J. L. L. *et al.* **Catálogo de germoplasma de mamão** (*Carica papaya* L.). 2000.

DAS CHOUDHURY, S.; SAMAL, A.; AWADA, T. Leveraging image analysis for high-throughput plant phenotyping. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 508, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00508>

FERNANDES, T. F. S. *et al.* Sex type determination in papaya seeds and leaves using near infrared spectroscopy combined with multivariate techniques and machine learning. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 193, p. 106674, 2022.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106674>

FERREIRA, J. A. B. *et al.* Stigma structure and receptivity in papaya (*Carica papaya* L.). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120190605>

FERREIRA, J. A. B., *et al.* Flowering map of papaya germplasm: Support for genetic breeding and conservation programs. **Scientia Horticulturae**, v. 293, p. 110699, Feb. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110699>

FRANCIS, J. *et al.* Identification of leaf diseases in pepper plants using soft computing techniques. **In: 2016 conference on emerging devices and smart systems (ICEDSS)**. IEEE, 2016. p. 168-173. Disponível em: [10.1109/ICEDSS.2016.7587787](https://doi.org/10.1109/ICEDSS.2016.7587787)

GARCÍA-VIERA, M. A. *et al.* Changes in leaf tissue of *Carica papaya* during single and mixed infections with Papaya ringspot virus and Papaya mosaic virus. **Biologia plantarum**, v. 62, n. 1, p. 173-180, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0741-8>

GIBERT, A. *et al.* Extracting quantitative information from images taken in the wild: A case study of two vicariants of the *Ophrys aveyronensis* species complex. **Diversity**, v. 14, n. 5, p. 400, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d14050400>

GIRÓN RAMÍREZ, A. *et al.* Identification of the SHINE clade of AP2/ERF domain transcription factors genes in *Carica papaya*; Their gene expression and their possible role in wax accumulation and water deficit stress tolerance in a wild and a commercial papaya genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 183, p. 104341, Mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104341>

GOTOR, E. *et al.* The scientific information activity of Bioversity International: the descriptor lists. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, p. 757-772, 2008. Disponível em: [10.1007/s10722-008-9342-x](https://doi.org/10.1007/s10722-008-9342-x)

HASIBUZZAMAN, A. S. M. *et al.* Phylogeographic diversity and population structure of *Carica papaya* L. revealed through nuclear microsatellites. **Brazilian Journal of Botany**, v. 43, n. 1, p. 147-154, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00594-8>

HERNÁNDEZ-SALINAS, G. *et al.* Distribution and eco-geographic characterization of *Carica papaya* L. native to Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 1, p. 99-116, May. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01207-3>

HERNÁNDEZ-SALINAS, G. *et al.* In situ morphological variation of *Carica papaya* L. native to Mexico. **Revista fitotecnia mexicana**, v. 42, n. 1, p. 47-55, Aug. 2019. ISSN 0187-7380 Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000100047

IBGE. Produção Agrícola Municipal 2024. Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam>

INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCES. Descriptors for papaya. Bioversity International, 1988.

JESUS, O. N. *et al.* Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 110573, Jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110573>

JESUS, O. N. *et al.* Use of morpho-agronomic traits and DNA profiling for classification of genetic diversity in papaya. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6646-6663, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/2013.July.11.8>

JIMÉNEZ, V. M.; MORA-NEWCOMER, E; GUTIÉRREZ-SOTO, M. V. Biology of the papaya plant. In: Genetics and genomics of papaya. **Springer**, New York, NY, 2014. p. 17-33. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7_2

DAMASCENO-JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G. Estimation of genetic parameters for flower anomalies in papaya. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 9-15, Jan-Mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332018v18n1a2>

KARCHER, D. E.; RICHARDSON, M. D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. **Crop science**, v. 43, n. 3, p. 943-951, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.9430>

KATNA, G.; SOOD, V. K. Plant genetic resources, traditional knowledge and their use in crop improvement. **Plant Genetic Resources and Traditional Knowledge for Food Security**, p. 23-38, 2015.

KAYS, S. J. Preharvest factors affecting appearance. **Postharvest biology and technology**, v. 15, n. 3, p. 233-247, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00088-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00088-X)

LEE, C. *et al.* The development of functional mapping by three sex-related loci on the third whorl of different sex types of *Carica papaya* L. **PLoS One**, v. 13, n. 3, p. e0194605, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196789>

LI, R. Resizable, rescalable and free-style visualization of hierarchical clustering and bioinformatics analysis. **Journal of Data Analysis and Information Processing**, v. 8, n. 4, p. 229-240, 2020. Disponível em: [10.4236/jdaip.2020.84013](https://doi.org/10.4236/jdaip.2020.84013)

LODDO, A. *et al.* An effective and friendly tool for seed image analysis. **The Visual Computer**, v. 39, n. 1, p. 335-352, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00371-021-02333-w>

MARTÍNEZ-CALVO, J. *et al.* Study of a germplasm collection of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by multivariate analysis. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, p. 695-703, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9276-8>

MARTINS, D. S. *et al.* **Recomendações técnicas para o cultivo do mamoeiro**. Vitória: Incaper, 2024. 198 p. ISBN: 978-85-89274-48-7. Disponível em: [10.54682/livro.9788589274487](https://doi.org/10.54682/livro.9788589274487).

MING, R.; YU, Q.; MOORE, P. H. Sex determination in papaya. *In: Seminars in cell & developmental biology*. **Academic Press**, 2007. p. 401-408. Disponível em: [10.1016/j.semcd.2006.11.013](https://doi.org/10.1016/j.semcd.2006.11.013)

MOORE, P. H. Phenotypic and genetic diversity of Papaya. *In: Genetics and Genomics of Papaya*. **Springer**, New York, NY. P, 35-45, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7_3

MOREIRA, N. F. *et al.* Quantification of floral abnormalities in a population generated from sexual polymorphism aiming at recurrent selection in papaya. **Bragantia**, v. 78, p. 158-165, Apr-Jun. 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180197>

MOREIRA, S. O. *et al.* Selection index based on phenotypic and genotypic values predicted by REML/BLUP in papaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 1, p. e-079, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452019079>

NOBRE, V. F.; SILVA, S. O.; SILVA, M. S. Caracterização morfoagronômica de acessos de mamoeiro do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 1, Abr. 2021. e26771. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26771>

OLIVEIRA, E. J.; DIAS, N. L. P.; DANTAS, J. L. L. Selection of morpho-agronomic descriptors for characterization of papaya cultivars. **Euphytica**, v. 185, n. 2, p. 253-265, 2012a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0565-0>

OLIVEIRA, E. J. *et al.* Genetic diversity and marker-assisted inbreeding in papaya. *Scientia Horticulturae*, v. 147, p. 20-28, 2012b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.031>

PEREIRA, C. S.; MORAIS, R.; REIS, M. J. C. S. Pixel-based leaf segmentation from natural vineyard images using color model and threshold techniques. *In: Image Analysis and Recognition: 15th International Conference, ICIAR 2018, Póvoa de Varzim, Portugal, June 27–29, 2018, Proceedings 15*. Springer International Publishing, 2018. p. 96-106. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93000-8_12

PHUANGRAT, B. *et al.* Histological and Morphological Studies of Pollen Grains from Elongata, Reduced Elongata and Staminate Flowers in *Carica papaya* L. **Tropical plant biology**, v. 6, p. 210-216, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12042-013-9118-0>

PINTO, F. O. *et al.* Use of microsatellite markers in molecular analysis of segregating populations of papaya (*Carica papaya* L.) derived from backcrossing. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 2248-2259, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/2013.July.8.6>

PIROVANI, A. A. V. *et al.* A hermaphrodite genotype in dioecious papaya progeny: sex reversal or contamination?. **Euphytica**, v. 214, n. 12, p. 227, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2304-2>

PIROVANI, A. A. V. *et al.* Is there a possibility to improve a developed hybrid? A current demand on papaya (*Carica papaya* L.). **Euphytica**, v. 218, n. 5, p. 64, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03014-y>

PIROVANI, A. A. V. *et al.* Molecular characterization of elite lines of papaya (*Carica papaya* L.) via SSR markers. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 3, n. 1, Jan-june 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35418/2526-4117/v3n1a5>

RAMONA, C. *et al.* *Carica papaya* L. cultivated in greenhouse conditions. **J. Hortic. Sci. Biotechnol**, v. 21, p. 130-136, 2017. ISSN: 2066-1797

RAMOS, H. C. C. *et al.* Comparison of multiallelic distances for the quantification of genetic diversity in the papaya. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 59-66, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.11698>

ROSETO, A. *et al.* Morphometric and colourimetric tools to dissect morphological diversity: An application in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. **Genetic resources and crop evolution**, v. 66, n. 6, p. 1257-1278, June 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00781-x>

SÁ, S. F. *et al.* Genetic diversity via REML-BLUP of ex situ conserved macauba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] ecotypes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 68, n. 8, p. 3193-3204, 2021. Disponível em: [10.1007/s10722-021-01180-x](https://doi.org/10.1007/s10722-021-01180-x)

SANTANA, J. G. S. *et al.* Exploring genetic diversity in inbred papaya lines for fruit quality in advanced stage of improvement. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 13431, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40613-8>

SERAFINI, S. *et al.* Aspectos e peculiaridades da produção comercial de mamão (*Carica papaya* Linnaeus) no Brasil: estratégias para o futuro da cultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021 e544101220551. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20551>

SILVA, H. K. da *et al.* Selection of morphoagronomic descriptors in *Physalis angulata* L. using multivariate techniques. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 289-302, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n1p289>

SILVA, R. S. *et al.* Selection of morphoagronomic descriptors for the characterization of accessions of cassava of the Eastern Brazilian Amazon. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029595>

SILVA, V. O. *et al.* Chemistry and photochemistry of natural plant pigments: the anthocyanins. **Journal of Physical Organic Chemistry**, v. 29, n. 11, p. 594-599, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/poc.3534>

SIMBOLON, Z. K. *et al.* Separation of the mature level of papaya callina fruit automatically based on color (RGB) uses digital image processing. *In*: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. p. 012127. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012127>

TRIPATHI, K. *et al.* Identification and development of key descriptors for phenotypic characterization of tuber cowpea [*Vigna vexillata* (L.) A. Rich.]. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 1-15, 2022.

TUCAK, M. *et al.* Evaluation of alfalfa germplasm collection by multivariate analysis based on phenotypic traits. **Romanian Agricultural Research**, v. 26, p. 47-52, 2009. ISSN1222-4227 Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01328-9>

VIVAS, Marcelo *et al.* Prediction of genetic gain and progenies selection of papaya for resistance to black-spot. *Tropical Plant Pathology*, v. 38, p. 142-148, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013000200008>

WATAWANA, B.; ISAKSSON, M. Automated microgreen phenotyping for yield estimation using a consumer-grade depth camera. **Smart Agricultural Technology**, v. 7, p. 100384, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100384>

WELLER, H. I.; WESTNEAT, M. W. Quantitative color profiling of digital images with *earth mover's distance* using the R package colordistance. **PeerJ**, v. 7, p. e6398, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.6398>

YANG, W. *et al.* Classification and identification of metal-accumulating plant species by cluster analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 10626-10637, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3102-6>

ZHANG, C. *et al.* High-throughput phenotyping of seed/seedling evaluation using digital image analysis. **Agronomy**, v. 8, n. 5, p. 63, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy8050063>

ZHANG, G. Target chromosome-segment substitution: a way to breeding by design in rice. **The Crop Journal**, v. 9, n. 3, p. 658-668, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.03.001>

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DE ACESSOS DE MAMOEIRO UTILIZANDO DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS E ANÁLISE COLORIMÉTRICA POR IMAGENS DIGITAIS

RESUMO: A caracterização dos acessos no banco de germoplasma do mamoeiro (*Carica papaya* L.) pode ser feita por descritores morfológicos e agronômicos. Métodos de análise de imagens ajudam a superar a subjetividade na avaliação de características como forma e cor, tornando a fenotipagem e caracterização mais eficiente. O objetivo deste estudo foi caracterizar a diversidade fenotípica dos acessos de mamoeiro utilizando descritores morfoagronômicos e a análise colorimétrica por imagens digitais, com base em atributos de cores. Foram avaliados 111 acessos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, avaliando plantas hermafroditas dos grupos Solo e Intermediário/Formosa aos seis meses após o transplante, quanto à oito descritores qualitativos e cinco quantitativos. Sendo: altura da planta aos seis meses (ALT), diâmetro do caule (DAM), presença ou ausência de frutos (PAF), coloração do caule na parte basal da planta jovem (CCAU), local do pigmento no caule (PGCAU), comprimento da folha madura (CF), largura da folha madura (LF), comprimento do pecíolo (CP), forma geral da cavidade do limbo foliar (CLF), presença de antocianina no pecíolo (CPEC), tipo de florescimento (FLOR), presença de antocianina no pedúnculo da inflorescência (CPED) e coloração das flores hermafroditas (CFH). As análises de cor foram realizadas para diferentes partes da planta (caules, pecíolo, folhas, pedúnculos e flores) por meio de imagens digitais, empregando o pacote *colordistance* do *software* R. A matriz de distância resultante da análise de cor e os descritores quantitativos e qualitativos da avaliação morfoagronômica foram submetidos à análise multivariada. Os dendrogramas foram gerados utilizando o *software* MEGA. O resultado da análise morfoagronômica demonstrou ampla diversidade entre os acessos, com a formação de cinco grupos distintos (G1, G2, G3, G4 e G5) e nítida separação dos acessos de coloração arroxeadas no grupo G1. As maiores dissimilaridades foram encontradas entre os acessos dos grupos G1 e G5 e as mais baixas no G3. Na análise de cor usando o pacote *colordistance* os acessos foram organizados em oito grupos distintos (G1 a G8), com base na diversidade de cores presentes nas imagens das diferentes estruturas da planta. Acessos com presença marcante de antocianina, especialmente em pecíolos e na parte externa das pétalas das flores, formaram o grupo G8. O estudo utilizando descritores demonstrou alta diversidade fenotípica entre os acessos de mamoeiro, com maior variação entre os descritores quantitativos, contribuindo de forma significativa para o agrupamento. Ambos os métodos, clássico (descritores) e alternativo (imagens digitais) conseguiram agrupar os acessos com base na cor das estruturas avaliadas, porém a análise de imagem revelou maior variação fenotípica, sendo mais abrangente que o método convencional e menos suscetível a erros de avaliação. A técnica de análise de imagens foi eficiente para quantificar as cores presentes nas diferentes estruturas das plantas e pode ser empregada em trabalhos de caracterização de germoplasma de mamoeiro.

Palavras-Chave: Germoplasma; Descritores; Análise de cor; *Carica papaya* L.

CHARACTERIZATION OF PAPAYA ACCESSIONS BY USING MORPHOLOGICAL AND AGRONOMIC DESCRIPTORS AND COLORIMETRIC ANALYSIS BY DIGITAL IMAGES

ABSTRACT: The accession characterization process in papaya germplasm banks (*Carica papaya* L.) is usually done by morphological and agronomic descriptors. Image analyzing methods can help to overcome subjectivity in the evaluations such as shape and color characteristics, making the phenotyping and characterization process more efficient. The objective of this study was characterize phenotypic diversity of papaya accessions by morpho-agronomic descriptors and perform a colorimetric analysis by digital images, based on color attributes. Were evaluated hermaphrodite plants of 111 papaya accessions belonging to Embrapa Cassava and Fruits Germplasm Bank belonging to the solo and Intermediate/Formosa Groups at six months after transplanting by eight qualitative and five quantitative descriptors. These descriptors were: plant height at six months (ALT), stem diameter (DAM), presence or absence of fruits (PAF), basal part stem coloration (CCAU), stem pigment location (PGCAU), mature leaf length (CF), mature leaf width (LF), petiole length (CP), leaf limb cavity shape (CLF), petiole anthocyanin presence (CPEC), flowering type (FLOR), inflorescence peduncle anthocyanin presence (CPED) hermaphrodite flower color (CFH). The color analyzing were carried out in different plant parts (stems, petioles, leaves, peduncles and flowers) by digital images, using the colordistance package in R software. The distance matrix resulting from color analysis and the morpho-agronomic evaluation by quantitative and qualitative descriptors were submitted to multivariate analysis. The dendrograms were generated using MEGA software. The morpho-agronomic analysis results showed a wide diversity among the accessions, with formation of five distinct groups (G1, G2, G3, G4 and G5) and a clear separation of purplish-colored accessions in group G1. The greatest dissimilarities were found between the accessions in groups G1 and G5 and the lowest in G3. In the color analysis by colordistance package, accessions were organized into eight distinct groups (G1 to G8), based on color diversity identified by digital images in different plant structures. Accessions with a remarkable anthocyanins presence, especially in petioles and outside of flower petals, formed group G8. The study using descriptors showed high phenotypic diversity between the papaya accessions, with greater variation among the quantitative descriptors, which was significantly contributed to the grouping. Both the classic (descriptors) and alternative (digital images) methods were able to group the accessions based on the color of the structures evaluated, but the image analyzing revealed greater phenotypic variation, being more embracing than conventional method and less susceptible to evaluation errors. The image analyzing technique was efficient in quantifying the colors present in the different plant structures and can be used in papaya germplasm characterization works.

Keywords: Germplasm; Descriptors; Color analysis; *Carica papaya* L.

INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é originário da América Central e amplamente cultivado em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo (Vasugi *et al.*, 2023). Embora o Brasil esteja entre os maiores produtores mundiais, ocupando a quarta posição, atrás apenas da Índia, República Dominicana e México (Faostat, 2022), a baixa variabilidade genética em plantios comerciais, aliada a susceptibilidade da cultura a pragas e doenças é uma grande ameaça à cultura do mamoeiro. Ações que visem explorar a variabilidade existente nos bancos de germoplasma para o desenvolvimento de cultivares resistentes e produtivas é uma estratégia interessante e pode ampliar a oferta de cultivares diversificando os plantios comerciais.

Para a identificação de genótipos superiores é imprescindível a realização de ampla avaliação e caracterização de genótipos visando estimar a variabilidade genética disponível. Para caracterização morfológica e agronômica do mamoeiro, foi criada uma lista completa de descritores em 1988 pelo *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR) que serviu de base para que Dantas *et al.* (2000) desenvolvessem um catálogo de descritores para caracterizar acessos do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

A caracterização é uma etapa fundamental, pois permite a utilização adequada dos acessos nos programas de melhoramento genético. A caracterização pode ser conduzida por meio de descritores agronômicos e morfológicos que estão associados a características específicas dos acessos (Castro *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2019). De fato, vários estudos têm demonstrado o emprego dessas características em diversos estudos com o mamoeiro como Quintal *et al.* (2012) e Magdalita *et al.* (2021). No entanto, este tipo de avaliação convencional torna a caracterização do germoplasma uma tarefa complexa e dispendiosa, exigindo recursos financeiros, tempo e mão de obra (Júnior *et al.*, 2020). Além disso, a avaliação de características específicas, como a coloração de determinadas estruturas da planta, pode ser uma tarefa extremamente desafiadora.

Na avaliação dos atributos relacionados a cor, a subjetividade de cada avaliador é um fator decisivo na avaliação da coloração das características. A percepção da cor pode variar amplamente por diferentes indivíduos, e nem sempre é facilmente definida por descritores específicos devido à limitação desses descritores em abranger todas as variações e intensidades de cores possíveis (Jesus *et al.*, 2022).

Com a advento das tecnologias digitais e surgimento de vários aplicativos e pacotes estatísticos com seus *scripts* para a análise e processamento de imagens digitais será cada vez mais comum o uso de metodologia alternativas à caracterização de acessos. Entre os atributos favoráveis do uso de softwares estão simplicidade, rapidez, precisão, produtividade e acessibilidade financeira (Chacon *et al.*, 2022; Krause *et al.*, 2017).

Diversos estudos têm explorado o processamento e análise de imagens para uma variedade de propósitos, entre eles, controle da maturidade pós-colheita de mamões e avaliação de parâmetros de qualidade de mangas (Chacon *et al.*, 2022; Elsayed *et al.*, 2016); fenotipagem de características morfoagronômicas de plantas e frutos de mamoeiro (Cortes *et al.*, 2017) e utilizaram predição de parâmetros de qualidade em frutos de banana e mamão em diferentes estádios de amadurecimento (De Oliveira *et al.*, 2024). Estudos realizados com maracujazeiro empregaram eficientemente imagens digitais e aplicativos de celulares para definir as cores em um sistema hexadecimal tanto de casca, polpa e características morfológicas de plantas (Jesus *et al.*, 2023; Jesus *et al.*, 2022).

Um método que ainda não foi empregado no mamoeiro utiliza uma abordagem quantitativa para criar perfis de cores e compará-los com imagens digitais de indivíduos ou objetos com características diversas, empregando o pacote *colordistance* do *software* R (Weller & Westneat, 2019). Este método permite uma abordagem rápida, precisa e objetiva de extrair e quantificar todas as cores presentes em imagens digitais, oferecendo uma alternativa eficiente aos métodos subjetivos e tradicionais.

Além disso, as medições de cor em estudos no mamoeiro geralmente são pontuais, utilizando colorímetros de bancada ou limitando-se a estruturas específicas da planta, como folhas (Raja *et al.*, 2019) ou frutos (Cáez Ramírez *et al.*, 2017; Oliveira, Zocchi e Jacomino, 2017). No entanto, o método aplicado por meio do pacote *colordistance* permite realizar a quantificação completa das cores em várias imagens, e pode abranger todas as estruturas da planta (caules, pecíolos, folhas, flores e frutos), sem se limitar a análises pontuais (Weller & Westneat, 2019).

Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar a diversidade fenotípica de acessos de mamoeiro utilizando descritores morfoagronômicos (caracterização morfoagronômica) e a análise de imagens digitais com base em atributos de cores (caracterização colorimétrica) para quantificar diferenças morfológicas em acessos de

mamoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de condução do experimento

O trabalho foi conduzido no Banco Ativo de Germoplasma de Mamoeiro localizado no experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12°48'S e 39°6'W, e altitude de 220 m). A região possui clima tropical quente e úmido, a precipitação média anual chega a 1170 mm, podendo variar entre 900 e 1300 mm, março a agosto são os meses em que há registros de maior precipitação (INMET, 2022).

Material vegetal

Foram realizadas análises em 111 acessos (CMF/BGCA) de mamoeiro (*Carica papaya* L.), pertencentes ao Banco de Germoplasma de Caricaceae (BGCA). Foram avaliadas somente plantas hermafroditas aos seis meses de idade pertencentes aos grupos Solo, Formosa e Intermediário, conforme indicado na Tabela 1.

As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de 250 ml, utilizando o substrato comercial Vivatto Pro 20 e o fertilizante de liberação lenta Osmocote Plus 5M®, fórmula NPK (Mg e S) 15-09-12 (1,3 e 6%) com micronutrientes (Fe 0,46; Mn 0,06; B 0,02; Cu 0,05; Zn 0,05 e Mo 0,02 %). Após a germinação e aclimação as mudas produzidas em telado, foram transplantadas para o campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

O espaçamento adotado foi de 3 metros entre linhas e 2 metros entre plantas na linha. Foram plantadas três mudas por cova. Por se tratar de Germoplasma, o florescimento dos acessos é diferente e consequentemente a sexagem ocorre em tempos diferentes. Dessa forma, a sexagem foi realizada entre três e cinco meses após o transplante mantendo-se uma planta hermafrodita por cova. Cada acesso foi representado por oito plantas após a sexagem. O método de irrigação empregado foi o localizado, por meio de microaspersão. Os tratos culturais seguiram as recomendações para a cultura, conforme descrito por Costa e Martins (2015).

Tabela 1. Lista de Acessos pertencentes ao Banco de Germoplasma de Mamoeiro (*Carica papaya* L.) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia.

Número	Acesso	Grupo	Número	Acesso	Grupo
1	BGCA-002	IF	57	BGCA-121	IF
2	BGCA-003	IF	58	BGCA-123	IF
3	BGCA-004	IF	59	BGCA-128	S
4	BGCA-005	S	60	BGCA-129	IF
5	BGCA-006	S	61	BGCA-130	IF
6	BGCA-008	IF	62	BGCA-131	S
7	BGCA-011	IF	63	BGCA-132	S
8	BGCA-012	S	64	BGCA-133	S
9	BGCA-014	F	65	BGCA-135	IF
10	BGCA-015	IF	66	BGCA-139	IF
11	BGCA-017	S	67	BGCA-142	S
12	BGCA-020	IF	68	BGCA-145	F
13	BGCA-021	S	69	BGCA-146	IF
14	BGCA-022	IF	70	BGCA-150	IF
15	BGCA-023	IF	71	BGCA-152	IF
16	BGCA-024	IF	72	BGCA-154	IF
17	BGCA-026	IF	73	BGCA-157	IF
18	BGCA-027	IF	74	BGCA-166	IF
19	BGCA-028	S	75	BGCA-172	IF
20	BGCA-030	IF	76	BGCA-175	IF
21	BGCA-031	S	77	BGCA-176	IF
22	BGCA-033	S	78	BGCA-177	S
23	BGCA-035	S	79	BGCA-180	IF
24	BGCA-036	IF	80	BGCA-183	IF
25	BGCA-037	IF	81	BGCA-185	S
26	BGCA-038	S	82	BGCA-186	IF

27	BGCA-040	S	83	BGCA-187	IF
28	BGCA-041	IF	84	BGCA-188	IF
29	BGCA-044	S	85	BGCA-204	S
30	BGCA-046	IF	86	BGCA-207	S
31	BGCA-047	IF	87	BGCA-210	IF
32	BGCA-050	IF	88	BGCA-211	IF
33	BGCA-051	S	89	BGCA-219	IF
34	BGCA-052	S	90	BGCA-223	IF
35	BGCA-054	S	91	BGCA-232	S
36	BGCA-055	IF	92	BGCA-233	IF
37	BGCA-056	IF	93	BGCA-234	S
38	BGCA-058	S	94	BGCA-235	IF
39	BGCA-060	IF	95	BGCA-245	F
40	BGCA-065	S	96	BGCA-246	IF
41	BGCA-066	S	97	BGCA-247	IF
42	BGCA-067	IF	98	BGCA-248	S
43	BGCA-069	IF	99	BGCA-249	S
44	BGCA-070	S	100	BGCA-250	S
45	BGCA-072	IF	101	BGCA-251	IF
46	BGCA-075	IF	102	BGCA-253	S
47	BGCA-076	S	103	BGCA-254	S
48	BGCA-077	IF	104	BGCA-255	IF
49	BGCA-078	IF	105	BGCA-256	IF
50	BGCA-082	S	106	BGCA-257	IF
51	BGCA-087	S	107	BGCA-258	IF
52	BGCA-088	S	108	BGCA-261	IF
53	BGCA-102	S	109	BGCA-269	IF
54	BGCA-116	IF	110	BGCA-271	IF

55	BGCA-118	S	111	BGCA-272	IF
56	BGCA-120	IF			

Onde, IF= Intermediário e Formosa; S= Solo

Caracterização morfoagronômica

A caracterização morfoagronômica dos acessos de mamoeiro foi realizada no mês de janeiro de 2023. Os descritores foram selecionados com base no catálogo de descritores mínimos para a cultura do mamoeiro, uma adaptação feita pela Embrapa Mandioca e Fruticultura dos descritores originalmente estabelecidos pelo International Board for Plant Genetic Resources (Dantas *et al.*, 2000; IBPGR, 1988). Descritores quantitativos e qualitativos (binários e multicategóricos) foram avaliados, abrangendo caules, pecíolos, folhas, pedúnculos e flores (Tabela 2). Para cada genótipo, três plantas foram escolhidas aleatoriamente para representar o acesso.

Foram avaliados cinco caracteres quantitativos aos seis meses de idade: altura da planta (ALT), em metros com auxílio de uma fita métrica; o diâmetro do caule (DAM), em centímetros, vinte centímetros acima do solo, com auxílio de um paquímetro; o comprimento da folha madura (CF), em centímetros; a largura da folha madura (LF), em centímetros; e o comprimento do pecíolo (CP), em centímetros. Para CF, LF e CP foram selecionadas três folhas de três plantas, totalizando nove folhas por acesso, as medidas foram tomadas com auxílio de uma fita métrica. Para os qualitativos foram avaliados oito descritores (Tabela 2).

Tabela 2. Descritores quantitativos e qualitativos utilizados na caracterização de 111 acessos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Código	Descritores avaliados	Classes do descritor
Descritores da Planta		
ALT	Altura da planta aos 6 meses (cm)	
DAM	Diâmetro do caule aos 6 meses (cm), a 20 cm do solo	
PAF	Presença ou Ausência de frutos	1. Ausente; 2. Presente

CCAU	Coloração do caule na parte basal da planta jovem	1. Esverdeada; 2. Verde-Amarelada; 3. Cinza claro; 4. Verde com manchas arroxeadas; 5. Arroxeada; 6. Marrom
PGCAU	Local do pigmento no caule	1. Ausente; 2. Parte basal; 3. Parte mediana; 4. Parte superior; 5. Indiscriminada
Descritores da Folha		
CF	Comprimento da folha madura	
LF	Largura da folha madura	
CP	Comprimento do pecíolo da folha	
CLF	Forma geral da cavidade do limbo foliar	1. Aberta; 2. Levemente aberta; 3. Levemente fechada; 4. Fechada
CPEC	Presença de antocianina no pecíolo da folha	1. Ausente; 2. Parte basal; 3. Média; 4. Muito forte
Descritores da Flor		
FLOR	Tipo de florescimento	1. Flores isoladas; 2. Inflorescências; 3. Ambas
CPED	Presença de antocianina no pedúnculo da inflorescência	1. Ausente; 2. Presente

CFH	Coloração das flores hermafroditas	1. Branco; 2. Creme; 3. Amarelo; 4. Amarelo com manchas arroxeadas; 5. Vermelho arroxeado; 6. Amarelo de base esverdeada
-----	------------------------------------	---

Os descritores CCAU, PGCAU, CPED e CPEC foram adaptados do formulário descritivo do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) (BRASIL, 2014).

Análise estatística com base na coloração das características por imagem

Uma base de dados fotográfica não processada, no formato *JPEG* foi adquirida em campo, correspondendo ao caule, pecíolo, folhas e flores dos 111 acessos. As imagens foram capturadas utilizando uma câmera digital Canon SX30IS com resolução mínima de 10 megapixels.

As imagens dos caules foram capturadas com a câmera posicionada a 100 centímetros de distância da planta. Essa distância garantiu a análise colorimétrica sem comprometer a verdadeira coloração dos pigmentos do caule. As folhas e pecíolos foram fotografados sobre um tecido branco 100% poliéster. A distância focal entre a folha e a câmera digital foi mantida em 80 centímetros. Para padronizar as fotos capturadas em diferentes cenários de iluminação, um *colorchecker* de 6,4x10,8 centímetros contendo 24 cores foi incluído em cada imagem.

Imagens de flores hermafroditas, na antese, completamente desenvolvidas e sem anomalias foram capturadas com a mesma câmera digital em um estúdio portátil equipado com anel de luz *LED (Light-Emitting Diode)*. O objetivo era padronizar a exposição à luz e isolar as flores de outros elementos da planta. A distância focal entre a flor e a câmera foi mantida em 22 centímetros. As imagens foram obtidas no formato *JPEG* e incluíam o *colorchecker*.

O site *remove.bg* (<https://www.remove.bg/pt-br>) foi empregado para remover o fundo de cada imagem, seguido pela adição de um fundo branco. Isso resultou em uma imagem contendo apenas a parte da planta a ser analisada. Esta metodologia garantiu a consistência e a qualidade dos dados topográficos coletados.

As informações colorimétricas, associadas a estruturas distintas da planta (caules, pecíolos, folhas e flores), foram adquiridas a partir de imagens digitais

utilizando o pacote *colordistance* (Weller; Westneat, 2019) na linguagem de programação R versão 4.4.0 (R Core Team, 2023). As análises foram realizadas em cada parte da planta separadamente. Sendo 111 imagens de caules, 111 imagens de pecíolos, 111 imagens de folhas e 111 imagens de flores. Totalizando 444 imagens avaliadas. O método empregado envolveu a seleção não direcionada de pixels nas imagens, seguida pela conversão desses pixels em coordenadas dentro de um espaço tridimensional. Esta transformação foi fundamentada nas tonalidades dos pixels no espaço de cores RGB, que inclui *Red* (R), *Green* (G), e *Blue* (B).

Histogramas de cores multidimensionais foram empregados para classificar os pixels presentes nas imagens. Em essência, esses histogramas são representações gráficas que exibem a distribuição dos pixels em uma imagem. O número de caixas do histograma, distribuídos de maneira uniforme, foi estabelecido previamente: 8 caixas, nos quais cada componente do espaço de cores RGB foi segmentado em duas seções.

Uma Matriz de Distância de Cores (CDM) foi gerada a partir do conjunto de histogramas. A CDM é uma matriz quadrada onde cada elemento $[i, j]$ representa a distância de cor entre a imagem i e a imagem j . O cálculo desta matriz depende dos histogramas de cores fornecidos da análise de cada imagem. Para o cálculo de distância utiliza-se o método *Earth Mover's Distance* (EMD) que calcula diferenças de cor presentes agrupadas em um histograma para cada imagem analisada. Um EMD menor indica que os histogramas são mais semelhantes, ou seja, as imagens são mais parecidas em termos de suas distribuições de cores. Posteriormente, com base na matriz de distância das características foi quantificado o valor médio entre as distâncias. Essa matriz obtida foi utilizada para fazer o dendrograma utilizando o software MEGA (*Molecular Evolutionary Genetics Analysis*), versão 7.0 (Kumar; Stecher; Tamura, 2016) e como método de agrupamento o UPGMA.

Análise estatística dados qualitativos e quantitativos

Descritores quantitativos e qualitativos da avaliação morfoagronômica foram submetidos à análise multivariada. Os descritores qualitativos foram utilizados sem transformação de dados, enquanto que para os descritores quantitativos os dados foram transformados visando ajustar a uma distribuição normal, ou seja, com média (μ) igual a um e σ é desvio padrão (σ) zero. A fórmula utilizada foi $z = (x - \mu)/\sigma$ em que z valor transformado, x valor observado; μ é a média e σ é desvio padrão da característica normalizada. Esses dados foram utilizados para gerar um *heatmap*

circular utilizando o índice proposto por Gower (1971) para a análise simultânea dos caracteres quantitativos e qualitativos, e o método de ligação completa (Kaufman e Rousseeuw, 1990). Todas as análises foram conduzidas utilizando o software R versão 4.4.0 (R Core Team 2023).

RESULTADOS

Caracterização morfoagronômica por meio de descritores

Um gráfico de *heatmap* associado a análise de *cluster* foi gerado com base em oito descritores qualitativos e cinco descritores quantitativos para avaliar a diversidade genética em 111 acessos mamoeiro (Figura 1a).

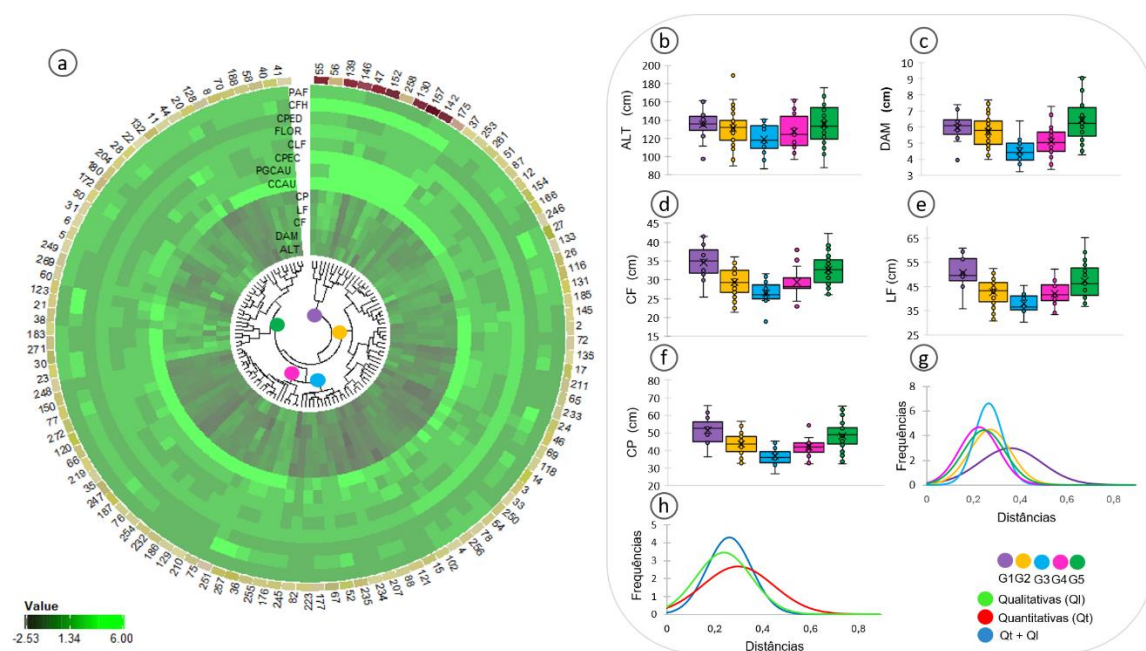


Figura 1. Análise de agrupamento baseada em descritores morfoagronômicos em 111 acessos de *Carica papaya* L. utilizando a distância de Gower e o método de ligação completa. (a) Mapa de calor (*heatmap*) gerado com oito descritores qualitativos e cinco descritores quantitativos com dados transformados. Os grupos (G1 a G5) estão identificados por círculos maiores e preenchidos. No *heatmap*, os descritores são coloridos de acordo com seu valor, variando desde valores baixos (verde mais escuros) valores mais altos (verde mais claros). Retângulos menores externos ao círculo e próximo ao código de acesso indicam a cloração da flor no seu terço médio. *Boxplots* (b-f) em função dos grupos formados pelo método de ligação completa: (b) altura da planta (ALT); (c) diâmetro do caule (DAM); (d) comprimento da folha madura (CF); (e) largura da folha madura (LF); (f) comprimento do pecíolo da folha (CP). (g) Variabilidade fenotípica entre genótipos, por grupo, ajustada à curva normal. (h) Variabilidade fenotípica entre as características quantitativas e qualitativas avaliadas.

A análise de agrupamento, utilizando o método de ligação completa e a distância de Gower, revelou ampla variabilidade genética entre os acessos, formando cinco grupos distintos (G1, G2, G3, G4 e G5). A maior dissimilaridade fenotípica foi de 0,71, entre os acessos de mamoeiro BGCA082 e BGCA139. Por outro lado, os

acessos BGCA120 e BGCA272, tiveram uma dissimilaridade de 0,017, indicando similaridade para as características avaliadas (Figura 1a).

Para os descritores quantitativos os acessos que compõem cada grupo tiveram agrupamento similar entre as características avaliadas (Figura 1b-g), com as maiores dissimilaridades entre os acessos do grupo G1 e G5 e a baixa entre os acessos que compõem o grupo G3 (Figura 1g). Para os descritores avaliados (qualitativos e quantitativos) as maiores dissimilaridades foram encontradas entre as características quantitativas (Figura 1h). Dos 111 acessos de mamoeiro avaliados, oito foram selecionados para montar pranchas representativas da diversidade de cores observada nas estruturas analisadas (caules, folhas, pecíolos e flores), conforme ilustrado na Figura 2a-h.

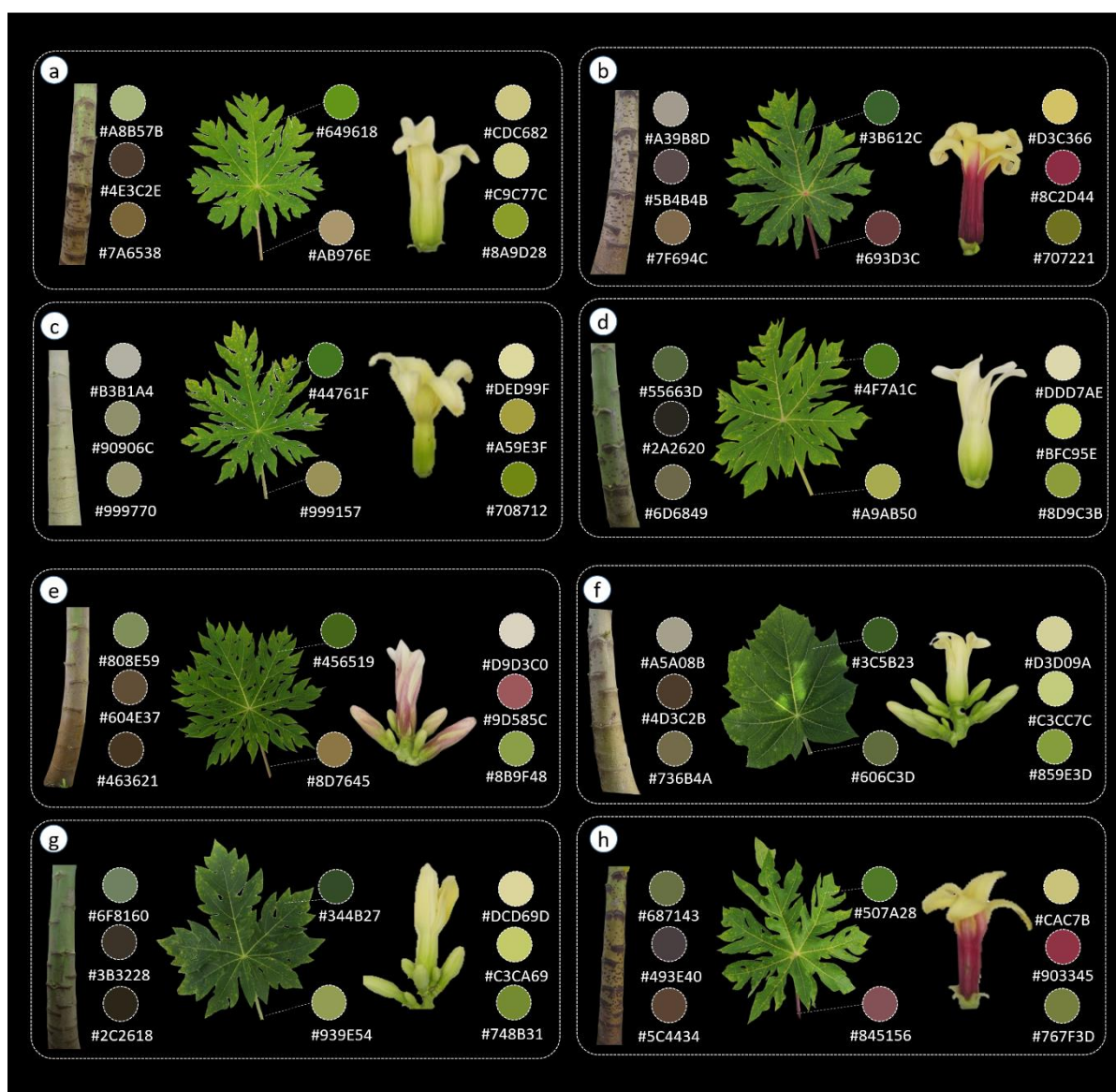


Figura 2. Caules, folhas, pecíolos e flores de acessos de mamoeiro do banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura com código de cores Hexadecimal. (a) BGCA176; (b) BGCA130; (c) BGCA166; (d) BGCA234; (e) BGCA251; (f) BGCA011; (g) BGCA037; (h) BGCA142.

O primeiro grupo (G1), contendo 11 acessos, foi nitidamente separado dos demais, caracterizado por acessos que apresentam uma tonalidade arroxeada em toda a planta ou em estruturas específicas dela (Figura 1a). Os descritores qualitativos que mais contribuíram para a distinção deste grupo foram: coloração do caule na parte basal da planta jovem (CCAU), presença de antocianina no pecíolo da folha (CPEC) e coloração da flor hermafrodita (CFH) (Figura 2b,h).

Além disso, o G1 apresentou os maiores valores para o comprimento da folha madura (CF) variando de 25,44 cm a 41,55 cm e média de 33,96 cm, a largura da folha madura (LF) variando de 35,67 cm a 60,89 cm e média de 49,71 cm e para o comprimento do pecíolo da folha (CP) a média foi de 51,37 cm (Figura 1d-f). O segundo grupo (G2), com 36 acessos, incluindo a cultivar do grupo Solo BS-2000, exibiu um tipo de florescimento (FLOR) semelhante para todos os acessos, caracterizado pela presença simultânea de flores isoladas e inflorescências na mesma planta (Figura 2c, g).

O grupo G3 com 12 acessos apresentou os menores valores médios para altura da planta aos seis meses (ALT) (118,81 cm), diâmetro do caule aos seis meses (DAM) (4,51 cm), CF (26,53 cm), LF (37,97 cm) e CP (36,51 cm) (Figura 1b-f). Em relação à presença e ausência de frutos (FAF), nenhum acesso deste grupo e do G4 tinham frutos aos seis meses (Figura 1a, 2d).

O grupo G4, composto por 22 acessos, incluindo a cultivar Aliança, não apresentou frutos aos seis meses (Figura 1a). Dentre esses acessos, apenas o BGCA251 exibiu presença de antocianina no pedúnculo da inflorescência (CPED) (Figura 2a, e). Finalmente o G5 com 30 acessos, incluindo a cultivar 'THB' (Figura 1a), apresentam flores dispostas em pequenas inflorescências e frutos na maioria dos acessos. Este grupo inclui também o BGCA011 com forma geral do limbo foliar fechado (Figura 2f). De fato é possível observar que na avaliação dos descritores da fase vegetativa o grupo G5 apresentou média igual ao G1 porém com maior desvio padrão dos valores para as características ALT que variou de 88,25 cm a 175,71 cm e DAM variando de 4,28 cm a 9,09 cm (Figura 1b, c).

De modo geral, a altura da planta aos 6 meses (ALT) apresentou média de

130,62 cm (Figura 1b). E em plantas do grupo G5 atingiram alturas de até 175,71 cm. O diâmetro do caule (DAM) variou de 3,23 a 9,09 cm, com média de 5,69 cm. O menor diâmetro foi 3,23 cm (BGCA245) encontrado no G3. No geral, a maioria dos acessos com DAM abaixo de 5 cm foram agrupados no G3 e G4. Enquanto maiores valores foram encontrados em plantas do grupo G5 e ultrapassam os 9,0 cm (Figura 1c). O comprimento da folha madura (CF), variou de 18,89 a 42,22 cm, com média de 30,47 cm. Enquanto a largura da folha madura (LF) obteve média de 44,10 cm, variando de 30,33 a 65,11 cm. Para a variável comprimento do pecíolo da folha (CP) a média obtida foi de 44,59 cm e variando de 26,50 a 65,55 cm.

Análise colorimétrica por análise de imagens digitais

A distribuição tridimensional dos pixels em cada imagem no espaço de cores RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), excluindo o fundo, e a representação gráfica desses pixels exibida por meio de gráfico de barras empilhados com pelo menos oito cores mais frequentes pode ser observada na Figura 3. A variação nos perfis de coloração das estruturas avaliadas entre os acessos é notável. As barras são coloridas de acordo com a tonalidade média dos pixels em cada um dos oito segmentos (Figura 3a-h).

Ao analisar a coloração do caule, observa-se tonalidades que variam desde o verde mais claro até o verde-amarelado, passando por tons arroxeados, cinza e marrom (Figura 3a, e). Os acessos BGCA166, BGCA177 e BGCA069 foram agrupados no G3, caracterizado, principalmente, pela coloração mais clara do caule e ausência de pigmentação. No entanto, eles mostraram semelhança com os outros acessos do grupo G3 para as demais partes da planta avaliadas (Figura 4a).

Os pecíolos se destacaram pela maior variedade de cores (com ou sem a antocianina), apresentando tons de verde claro (BGCA123), verde escuro (BGCA26), rosado (BGCA247), arroxeado (BGCA56) entre outras cores (Figura 2f). Acessos caracterizados pela presença marcante de antocianina, especialmente nos pecíolos e na parte externa das pétalas das flores, formaram o grupo oito que foi nitidamente separado dos demais devido aos padrões distintos de coloração (Figura 3; 4a).

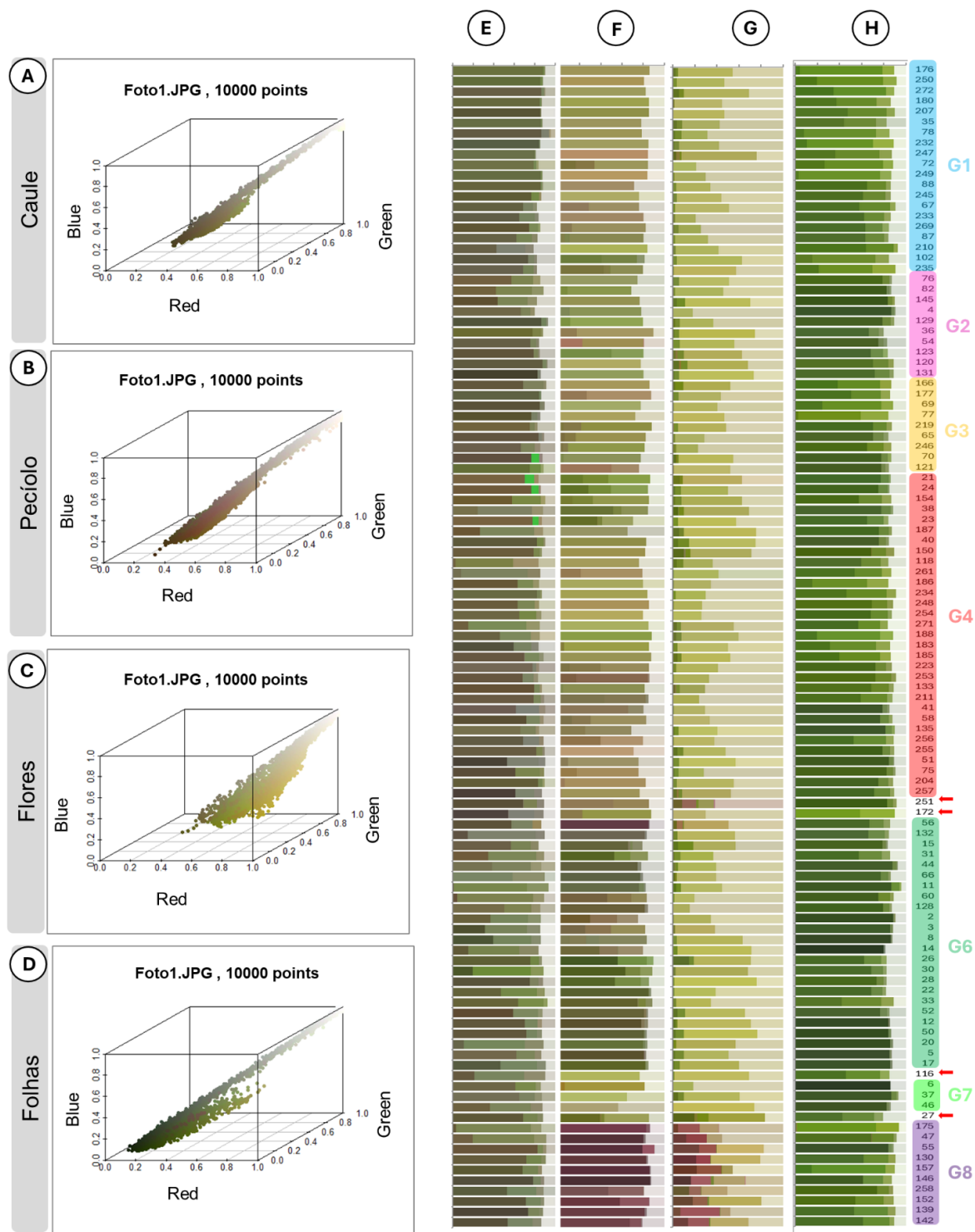


Figura 3. Classificação de cores para os 111 acessos de *Carica papaya* L. Representação tridimensional de todos os pixels presentes em (a) caules, (b) pecíolos, (c) flores e (d) folhas, excluindo o fundo, no espaço de cores RGB. Gráficos de barra empilhados mostrando a distribuição proporcional de pixels, desconsiderando o fundo, atribuídos em cada um dos oito compartimentos para imagens de (e) caules, (f) pecíolos, (g) flores e (h) folhas. As barras são coloridas de acordo com a tonalidade média dos pixels em cada segmento e estão ordenadas por grupo. Os grupos (G1 a G8) estão identificados ao lado do gráfico conforme os grupos identificados na Figura 4. O grupo "Único" foi representado pelos acessos isolados BGCA251, BGCA172, BGCA116 e BGCA027 nos gráficos (setas vermelhas).

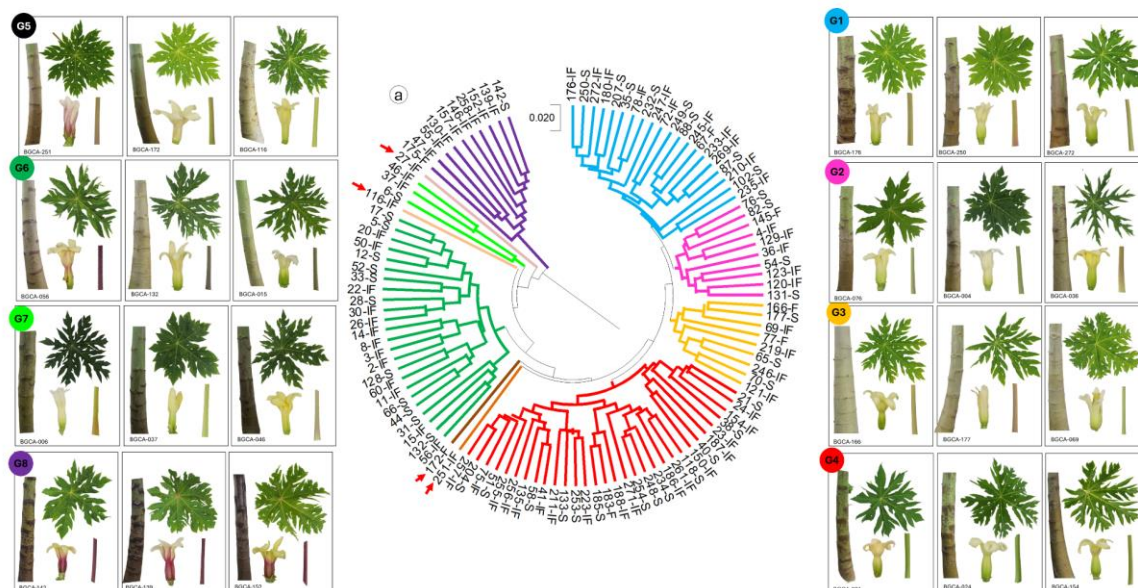


Figura 4. Análises de agrupamento para matrizes de distância de cor de caules, pecíolos, flores e folhas de 111 genótipos de *Carica papaya* L. geradas usando a *Earth Mover's Distance* (EMD). A coloração dos ramos identifica os grupos. Foram incluídas como referência fotos de três acessos por grupo. O grupo “Único” foi representado pelos acessos isolados BGCA251, BGCA172, BGCA116 e BGCA027 no dendrograma (setas vermelhas).

É possível observar que com exceção dos acessos BGCA56 e BGCA251, todos os demais acessos com coloração arroxeada em pecíolos e vermelho-arroxeada nas flores estão agrupados no G8 (Figura 3b-c, f-g).

As folhas, por sua vez, apresentam uma variação de tons que vão do verde claro ao escuro (Figura 3b-f). Acessos como o BGCA176, BGCA102 e BGCA235 que apresentam tons de verde mais claro nas folhas foram agrupados no grupo G1 (Figura 4). O grupo G5 foi formado por acessos que ficaram isolados na análise de agrupamento, BGCA251, BGCA172, BGCA116 e BGCA27. O grupo G7 reuniu somente três acessos (BGCA6, BGCA37 e BGCA46) que tem como característica comum a presença de folhas mais escuras (Figura 3h, Figura 4a).

Os acessos foram organizados em oito grupos distintos (G1 a G8), com base na diversidade de cores presentes nas imagens das diferentes estruturas da planta (Figura 4). O menor grupo (G7) tinha três acessos e o maior grupo (G4) com 31 acessos (Figura 4a). A menor distância de cor (0,327) ocorre entre BGCA248 e BGCA254. Enquanto, a distância mais alta (5,63) está entre o BGCA70 e BGCA157 (Figura 4a).

DISCUSSÃO

A caracterização morfológica de coleções em Bancos de germoplasma é essencial para o melhoramento, uma vez que a diversidade nas coleções de germoplasma só pode ser utilizada se os acessos forem devidamente caracterizados (Aguilera *et al.*, 2023). No presente estudo foi realizada uma caracterização utilizando oito descritores qualitativos e cinco descritores quantitativos em 111 acessos de mamoeiro do Banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Houve ampla diversidade de características relacionadas a estruturas vegetativas e reprodutivas das plantas (Figura 1a-g).

De modo geral, os descritores quantitativos apresentaram maiores valores mínimos e máximos de dissimilaridade, resultando em uma média superior de 0,30, quando comparada à média de distância observada para os descritores qualitativos, que foi de 0,24 (Figura 1h). É provável que os descritores quantitativos tenham contribuído de forma mais significativa para o agrupamento, embora três descritores qualitativos também contribuíram consideravelmente para o agrupamento: coloração do caule na parte basal da planta (CCAU), tipo de florescimento (FLOR) e presença de antocianina no pedúnculo da inflorescência (CPED) (Figura 1a).

Observações semelhantes foram feitas por Souza *et al.*, (2023) ao avaliar a diversidade morfoagronômica em progênies da palmeira (*Butia capitata*). Eles constataram que, dentre as análises de agrupamento realizadas, seja com dados quantitativos ou qualitativos, 11 descritores quantitativos foram mais informativos para discriminar as 18 progênies.

Para as características quantitativas observou-se ampla variação dentro e entre os grupos (Figura 1a, 2a-h). Essa variação pode estar relacionada principalmente com fatores ambientais, mas também fatores genéticos, especialmente por se tratar de um Banco de germoplasma que representa a variabilidade genética da espécie, o que pôde ser visivelmente constatado em campo. Embora os parâmetros genéticos não tenham sido estimados neste estudo.

Por se tratar de plantas jovens, com 180 dias em campo, acredita-se que o diâmetro do caule das plantas avaliadas neste estudo, ainda pode aumentar. No contexto do melhoramento, é recomendada a inclusão de plantas com maior diâmetro do caule, para aumentar a resistência ao tombamento e fornecer boa base para suportar uma maior quantidade de frutos (Ide *et al.*, 2009).

O BGCA023 se destacou com as maiores médias para as variáveis CF (42,22

cm) e LF (65,11 cm). São dados importantes, uma vez que as folhas são órgãos cruciais das plantas, e executam um papel vital nas funções anabólicas por meio da clorofila, que é uma substância essencial para o processo fotossintético, que é a principal via sintética nas plantas (Campostrini e Yamanishi, 2001).

Os grupos (G1 e G5) que obtiveram as maiores médias para CF e LF também obtiveram as maiores médias para CP. Emede; Ajayo; Collins (2017) ao estudar a diversidade genética e variabilidade entre dez genótipos de mamão, encontrou para o comprimento do pecíolo média igual a 61,79 cm, superior à média encontrada no presente estudo (44,59 cm).

Para descrever as características de cor através das listas de descritores de Dantas *et al.* (2000) são usadas cinco categorias para coloração do caule (CCAU) e quatro categorias para o local do pigmento no caule (PGCAU), para plantas de mamoeiro aos oito meses de idade. No entanto, as plantas jovens de mamoeiro geralmente exibem uma diversidade de cores bem maior e as classes contidas nos descritores não conseguem abranger gerando dificuldade na avaliação além de ser uma característica influenciada pela percepção de cada avaliador (Figura 2a-h).

No presente estudo foi necessário fazer algumas adaptações nos descritores de Dantas *et al.*, (2000) para a caracterização do CCAU, presença de antocianina no pecíolo da folha (CPEC) e CPED. Essas adaptações foram baseadas no formulário descritivo do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) para a cultura do mamoeiro (Brasil, 2014).

As flores hermafroditas (CFH) são classificadas em nove categorias de cor (Dantas *et al.*, 2000). No entanto, as flores do mamoeiro, possuem uma grande variedade de cores e padrões, incluindo tons de amarelo, branco, arroxeados e muitas vezes tons mesclados na parte externa da flor. Essa complexidade e variedade de cores nas flores dificultam a criação de uma classificação que contemple essas sutilezas que são essenciais para diferir os acessos. Por isso, foi realizada uma adaptação, acrescentando à classificação de coloração da flor hermafrodita, proposta por Dantas *et al.*, (2000), a categoria 'Amarela com base esverdeada', observada no germoplasma analisado em flores completamente desenvolvidas e abertas (Figura 1a).

Para o carácter FLOR são apresentadas três classes (Dantas *et al.*, 2000), sendo que nenhum acesso apresentou somente flores isoladas. Todos os acessos avaliados ou apresentaram flores dispostas em pequenas inflorescências (G3, G4 e

G5) ou flores isoladas e inflorescências dispostas na mesma planta (G2) (Figura 1a). Para os acessos do G1 houve variação entre as classes 2 e 3 do descritor (Tabela 2).

Presença e ausência de antocianina em pecíolos (CPEC) e pedúnculo de inflorescências (CPED) foram fundamentais na diferenciação dos grupos (Figura 2a-h). Com destaque para os acessos do G1 que todos apresentaram CPEC. Já para para os grupos G2, G3, G4 e G5 com exceção dos acessos BGCA46 e BGCA251, nenhum apresentou antocianinas no pedúnculo (CPED) (Figura 1a). As antocianinas pertencem ao grupo dos flavonoides, que estão entre os pigmentos presentes nos vegetais e são responsáveis pelas tonalidades vermelhas, azuis e roxas (Wu et al., 2024). Além de serem responsáveis pela coloração de várias plantas frutíferas, os flavonoides desempenham importantes funções na defesa da planta contra estresses abióticos ou ocasionados por pragas e doenças (Shi et al., 2021).

As folhas do mamoeiro apresentam grande variabilidade para as margens dos lóbulos do limbo foliar e vão de inteiras a profundamente lobadas (Wadekar et al., 2021). No catálogo de Dantas et al., (2000), são apresentadas quatro classes para a forma geral do limbo foliar (CLF), que varia de aberta a fechada. Neste estudo o único acesso que apresentou folhas com margens inteiras ou fechadas foi o BGCA011 pertencente ao G5 (Figura 2f). Em contraste com a cultivar mamão 'THB' presente no mesmo grupo que apresentou folhas com lóbulos mais profundos (Figura 1a). Essas diferenças, certamente estão relacionadas aos outros caracteres que influenciam no agrupamento.

O método do histograma cria um perfil de coloração das imagens dos acessos de maneira condizente ao observado em campo (Figura 3e-h). Um ponto positivo do método é que pequenos detalhes de cor das imagens, como pigmentos presentes no caule, ao invés de serem agrupados em uma categoria maior foram preservados como áreas de cores distintas sendo colocados em compartimentos diferentes do histograma (Figura 3e-h).

As características de cor mais informativas para a classificação foram as extraídas de pecíolos e flores. E a EMD reuniu de forma consistente acessos de características semelhantes como BGCA177, BGCA166 e BGCA069 no mesmo grupo (G3) e separou grupos com características nitidamente distintas, como G3 e G8 (Figura 4).

Outro ponto aqui observado foi acessos com maior proporção de pixels de coloração arroxeada simultaneamente presente em pecíolos e flores serem

agrupadas no G8. A Figura 4 mostra que a cor arroxeadada desses acessos está mais concentrada em pecíolos e flores. Em contrapartida, a maior proporção de pixels de cor roxa presente apenas no pecíolo não foi suficiente para agrupar o acesso BGCA056 no G8 (Figura 3f-g). Isso mostra que características combinadas, bem como a quantidade de uma determinada cor presente na imagem, são mais efetivas na classificação. Enquanto o método convencional utilizando descritores morfoagonômicos o BGCA056 foi agrupado no G1, que compreende os acessos de coloração arroxeadada, possivelmente influenciado por outro descritor (Figura 1a).

O mamoeiro apresenta uma grande diversidade em suas características morfológicas para formato e tamanho das folhas e frutos, tipos de flores (Moore *et al.*, 2013), mas além disso foi possível observar em campo grande variação de cor nas plantas. Portanto, já era esperado que o agrupamento para os caracteres agromorfológicos utilizando descritores qualitativos e quantitativos simultaneamente, agrupa aspectos mensuráveis e não levam em consideração a coloração que também caracteriza fenotipicamente os acessos (Figura 2a-h).

O pacote *colordistance* e uso EMD foi desenvolvido e usado em borboletas e peixes (Weller; Westneat, 2019), estudos de coloração de corais (Cox; Woods; Reimchen, 2021) e de filé de trutas arco-íris (Pulcini *et al.*, 2021), e em flores de orquídea (Gibert *et al.*, 2022). São abordagens novas que se mostraram eficientes na caracterização de germoplasma de mamoeiro onde há uma ampla variabilidade de cores entre os diferentes acessos.

Mesmo com toda variabilidade de cores o uso de EMD no espaço de cor RGB demonstrou ser eficaz para o agrupamento e para discriminar os acessos ao comparar a quantidade e a similaridade das cores presentes nas estruturas e ainda combinando características de cor na classificação das imagens (Jesus *et al.*, 2023; Jesus *et al.*, 2022).

Imagens digitais já são empregadas na caracterização de genótipos de *Passiflora*, fornecendo dados valiosos para o Sistema Alelo® do banco de germoplasma da Embrapa (Jesus *et al.*, 2022). Portanto, o método utilizado neste estudo abre novas possibilidades para que informações sobre o perfil de coloração de acessos de mamoeiro enriqueçam os dados armazenados no Sistema Alelo.

Além disso, existe uma certa facilidade, pois dispositivos como câmeras RGB e sensores que detectam a intensidade da luz dentro do espectro visível, podem ser utilizados na exploração da fenotipagem de plantas, o que proporciona economia de

tempo e redução de custos (Coelho *et al.*, 2024). Principalmente pela fácil aquisição das imagens, devido a grande disponibilidade de câmeras RGB, inclusive em smartphones (Montanaro *et al.*, 2023). A análise traz benefícios significativos para diversas etapas da produção agrícola, sendo relevante não apenas no melhoramento genético de plantas e na caracterização, especialmente ao trabalhar com grandes amostras, mas também nas diferentes safras, ao monitorar situações de estresses bióticos ou ambientais nas plantas (Abebe *et al.*, 2023).

Várias outras aplicações existem como aplicação de imagens digitais para prever o peso de maçãs (Miranda *et al.*, 2023), analisar as características colorimétricas de tomates e, assim, classificar seu grau de maturidade (Wan *et al.*, 2018). Além disso, o uso de imagem para inferir coloração de frutos, polpa entre outras estruturas podem ser utilizadas para elaboração de modelos matemáticos de predição (Abdel-Sattar *et al.*, 2021; Sanaeifar; Bakhshipour; De La Guardia, 2016) de características mais complexas de serem mensuradas por métodos analíticos

No entanto, para elaboração de modelos de predição com base em imagens é importante salientar que obter dados a partir de imagens com aplicação de dispositivos RGB em campo pode enfrentar alguns desafios, especialmente no processamento de imagens com fundos complexos e nas diferenças de cores entre o fundo e a estrutura de interesse da planta fotografada (Abebe *et al.*, 2023). Além disso, é necessário considerar que a intensidade da luz varia tanto de um dia para o outro quanto ao longo do próprio dia ou durante um período de avaliação de um experimento.

Uma recomendação é utilizar a mesma fonte de luz e o mesmo dispositivo para todas as fotos capturadas, pois cada equipamento captura a luz de maneira diferente (Alves *et al.*, 2022). Além disso, deve ser utilizado, ao capturar as imagens, um *ColorChecker*, uma ferramenta fotográfica que contém 24 quadrados coloridos, criado para assegurar a precisão e a uniformidade das cores nas imagens digitais (Manfredi; Petrillo; Dellepiane, 2019). Dessa forma, pode-se dizer que as métricas baseadas em RGB são eficazes, mas com a ressalva de que especialmente quando as condições de captura de imagem são controladas (Pongpiyapaiboon *et al.*, 2023).

CONCLUSÕES

Os acessos de mamoeiro apresentaram ampla variabilidade para os descritores morfoagronômicos qualitativos e quantitativos avaliados. No entanto, as

características quantitativas foram as que mais contribuíram para a discriminação dos grupos.

A técnica baseada na análise de imagens digitais, utilizando o pacote *colordistance* e a métrica de distância EMD, demonstrou ser uma alternativa ágil e eficaz para quantificar as diferenças de cor nas plantas de mamoeiro, medir a similaridade ou dissimilaridade de cores entre elas e discriminar os grupos de forma consistente. Além disso, as imagens RGB, obtidas por câmeras fotográficas convencionais, em conjunto com *softwares* de acesso livre, apresentam-se como uma alternativa de baixo custo. Portanto, essa técnica é viável para ser implementada em futuros trabalhos de caracterização de germoplasma.

A caracterização realizada por meio da análise de imagens conseguiu discriminar melhor os acessos, tanto no agrupamento quanto nas variações da cor predominante das estruturas avaliadas, em comparação com os métodos clássicos baseados em descritores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEBE, A. M. *et al.* Image-based high-throughput phenotyping in horticultural crops. **Plants**, v. 12, n. 10, p. 2061, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12102061> Acesso em 31 de julho de 2024.

ABDEL-SATTAR, M. *et al.* Development of an artificial neural network as a tool for predicting the chemical attributes of fresh peach fruits. **PLoS One**, v. 16, n. 7, p. e0251185, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251185>

AGUILERA, J. G. *et al.* Qualitative and quantitative descriptors for quantifying the genetic diversity of bean seeds. **Trends in Agricultural and Environmental Sciences**, p. e230001-e230001, 2023. Disponível em: 10.46420/TAES.e23000

ALVES, K. S. *et al.* RGB-based phenotyping of foliar disease severity under controlled conditions. **Tropical Plant Pathology**, p. 1-13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00448-y> Acesso em 31 de julho de 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para a Execução dos Ensaios de Distingüibilidade, Homogeneidade e Estabilidade de Cultivares de Mamão (*Carica papaya* L.). Brasília: MAPA, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protecao-de-cultivar/frutiferas>. Acesso em: 04 set. 2024.

CÁEZ RAMÍREZ, G. *et al.* Digital image analysis and fractal metrics as potential tools to monitor colour changes in fresh-cut papaya (*Carica papaya* L.). *International journal of food properties*, v. 20, n. sup1, p. S177-S189, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1293090>

CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K. Estimation of papaya leaf area using the central vein length. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 39-42, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100007>

CASTRO, J. A. *et al.* Definition of morpho-agronomic descriptors for the characterization of yellow passion fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 145, p. 17-22, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.022>

CHACON, W. D. C. *et al.* Image analysis applied to control postharvest maturity of papayas (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 11, p. e16999, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16999>

COELHO, F. G. T. *et al.* High-Throughput Phenotyping for the Evaluation of Agronomic Potential and Root Quality in Tropical Carrot Using RGB Sensors. **Agriculture**, v. 14, n. 5, p. 710, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14050710> Acesso em: 31 de julho de 2024.

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0134>

COSTA, A.; MARTINS, D. S. A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção. 2015. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/924>

COX, K. D.; WOODS, M. B.; REIMCHEN, T. E. Regional heterogeneity in coral species richness and hue reveals novel global predictors of reef fish intra-family diversity. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 18275, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97862-8>

DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S.; VILAS BOAS, S. A. Avaliação agrônômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 138-148, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-022/14>

DE OLIVEIRA, M.A. Ribeiro, M.N.; Valente, H.M. *et al.* Feasibility of Using Reflectance Spectra from Smartphone Digital Images to Predict Quality Parameters of Bananas and Papayas. **Food Anal. Methods** 17, 145–153, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12161-023-02556-8>

ELSAYED, S. *et al.* Passive reflectance sensing and digital image analysis for assessing quality parameters of mango fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 212, p. 136-147, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.046>

EMEDE, T.; AJAYO, B.; AGHO, C. Genetic diversity and variability among papaya (*Carica papaya* L.) genotypes using multivariate analysis. *International Journal of Plant & Soil Science*, v. 15, n. 2, p. 1-9, 2017. Disponível em: [10.9734/IJPSS/2017/30111](https://doi.org/10.9734/IJPSS/2017/30111)

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Statistical Databases. 2022. Disponível em:

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Acesso em: 10 maio 2023.

GIBERT, A. *et al.* Extracting quantitative information from images taken in the wild: A case study of two vicariants of the *Ophrys aveyronensis* species complex. **Diversity**, v. 14, n. 5, p. 400, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d14050400>

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, p. 857-871, 1971.

IDE, C. D. *et al.* Use of testers for combining ability and selection of papaya hybrids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. 1, 2009. Disponível em: <http://10.12702/1984-7033.v09n01a09>

INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCES. Descriptors for papaya. Bioversity International, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Normais Climatológicas (1961-1990). 2024.

JESUS, O. N. *et al.* Bright red passion fruit - evaluation of colorimetry and physicochemical quality for the fresh fruit market. **SCIENTIA HORTICULTURAE**, v. 317, p. 112016, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112016>

JESUS, O. N. *et al.* Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. **SCIENTIA HORTICULTURAE**, v. 292, p. 110573-15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110573>

JUNIOR, R. S. M. *et al.* Digital phenotyping of winter squash fruits. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, n. 3, Sept. 2020. GMR18646. Disponível em: <https://doi.org/10.4238/gmr18646>

KAUFMAN, L.; ROUSSEUW, P. J. **Finding groups in data**: an introduction to cluster analysis. 1990.

KRAUSE, W. *et al.* Digital phenotyping for quantification of genetic diversity in inbred guava (*Psidium guajava*) families. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-11, Dec. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4238/gmr16019474>

KUMAR, S.; STECHER, G.; TAMURA, K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. **Molecular Biology and Evolution**, v. 33, n. 7, p. 1870-1874, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>

MANFREDI, E; PETRILLO, G; DELLEPIANE, S. A Novel Digital-Camera Characterization Method for Pigment Identification in Cultural Heritage. **In: Computational Color Imaging: 7th International Workshop, CCIW 2019, Chiba, Japan, March 27-29, 2019, Proceedings 7**. Springer International Publishing, 2019. p. 195-206. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-13940-7_15

MAGDALITA, P. M. *et al.* Morphological characters of papaya (*Carica papaya* L.) for drought tolerance. *Science Diliman*, v. 33, p. 53-69, 2021.

MONTANARO, G. *et al.* Phenotyping key fruit quality traits in olive using RGB images and back propagation neural networks. **Plant Phenomics**, v. 5, p. 0061, 2023. Disponível em: [10.34133/plantphenomics.0061](https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0061). Acesso em 31 de julho de 2024.

MIRANDA, J. C. *et al.* Assessing automatic data processing algorithms for RGB-D cameras to predict fruit size and weight in apples. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 214, p. 108302, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108302>

MOORE, P. H. Phenotypic and genetic diversity of Papaya. *In: Genetics and Genomics of Papaya*. **Springer**, New York, NY. P, 35-45, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7_3

OLIVEIRA, T. P.; ZOCCHI, S. S.; JACOMINO, A. P. Measuring color hue in ‘Sunrise Solo’ papaya using a flatbed scanner. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 39, n. 2, p. e-911, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452017911>

PONGPIYAPAIBOON, S. *et al.* Development of a digital phenotyping system using 3D model reconstruction for zoysiagrass. **The Plant Phenome Journal**, v. 6, n. 1, p. e20076, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ppj2.20076>

PULCINI, D. *et al.* Muscle pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets rich in natural carotenoids from microalgae and crustaceans. **Aquaculture**, v. 543, p. 736989, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736989>

QUINTAL, Silvana Silva Red *et al.* Genetic divergence among papaya accessions by morphoagronomic traits. 2012. Disponível em: [10.5433/1679-0359.2012v33n1p131](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p131)

RAJA, K. S. *et al.* Effect of pre-treatment and different drying methods on the physicochemical properties of *Carica papaya* L. leaf powder. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 2, p. 150-156, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.04.001>

R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rimberia, F.K., Ombwara, F.K., Mumo, N.N., Ateka, E.M. (2018). Genetic Improvement of Papaya (*Carica papaya* L.). *In: Al-Khayri, J., Jain, S., Johnson, D. (eds) Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits*. Springer, Cham. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91944-7_21

SANAEIFAR, A.; BAKHSHIPOUR, A.; DE LA GUARDIA, M. Prediction of banana quality indices from color features using support vector regression. **Talanta**, v. 148, p. 54-61, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.10.073>

SHI, M. *et al.* Flavonoids accumulation in fruit peel and expression profiling of related genes in purple (*Passiflora edulis f. edulis*) and yellow (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) passion fruits. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2240, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10112240>

SILVA, H. K da *et al.* Selection of morphoagronomic descriptors in *Physalis angulata* L. using multivariate techniques. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 289-302, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n1p289>

SOUZA, P. N. S. *et al.* Morphoagronomic diversity in *Butia capitata* progenies (Arecaceae). **Euphytica**, v. 219, n. 7, p. 81, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03203-3>

VASUGI, C. *et al.* Genetic Enhancement of Nutraceuticals in Papaya (*Carica papaya* L.). In: **Compendium of Crop Genome Designing for Nutraceuticals**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 1-32. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3627-2_39-1

WADEKAR, A. B. *et al.* Morphology, phytochemistry and pharmacological aspects of *Carica papaya*, an review. **GSC Biological and Pharmaceutical Sciences**, v. 14, n. 3, p. 234-248, 2021. Disponível em: [10.30574/gscbps.2021.14.3.0073](https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.14.3.0073)

WAN, P. *et al.* A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. **Computers and electronics in agriculture**, v. 146, p. 43-50, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.011>

WELLER, H. I.; WESTNEAT, M. W. Quantitative color profiling of digital images with *earth mover's distance* using the R package *colordistance*. **PeerJ**, v. 7, p. e6398, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.7717/peerj.6398>

WU, X. *et al.* Transcriptome, Plant Hormone, and Metabolome Analysis Reveals the Mechanism of Purple Pericarp Formation in 'Zihui' Papaya (*Carica papaya* L.). **Molecules**, v. 29, n. 7, p. 1485, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules29071485>

CARACTERIZAÇÃO DE FRUTOS, ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE POLPAS COM IMAGEM DIGITAL E RESISTÊNCIA À PINTA-PRETA EM GERMOPLASMA DE MAMOEIRO (Carica papaya L.)

RESUMO: A cultura do mamoeiro enfrenta desafios como doenças que afetam a produtividade e a qualidade dos frutos. A qualidade é determinada por atributos físicos, químicos e visuais, como a cor da polpa. Métodos alternativos, como a análise de imagens digitais, são usados para avaliar essas características de forma mais eficiente e econômica. Os objetivos deste trabalho foram: 1 - caracterizar genótipos de mamoeiro para a resistência à pinta-preta em folhas e frutos; 2 - realizar análises físicas e químicas dos frutos e; 3 - utilizar análise colorimétrica por meio de imagens digitais para caracterizar a cor da polpa em acessos de mamoeiro. Foram avaliados 110 acessos hermafroditas de mamoeiro, do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, aos 16 meses pertencentes aos grupos Solo e Formosa/Intermediário (IF). Cada acesso foi representado por cinco frutos, colhidos no estágio de maturação dois e avaliados no estágio cinco. As variáveis físicas e químicas avaliadas incluíram massa (MF), comprimento (CF) e diâmetro do fruto (DF), relação comprimento diâmetro (CF/DF), diâmetro da cavidade interna (DC), espessura da polpa (EP) e firmeza do fruto (F), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), pH e a relação SS/AT (*ratio*). A análise colorimétrica foi realizada por meio de imagens digitais, utilizando o pacote *colordistance* do *software* R. A severidade da doença pinta-preta em folhas e frutos foi realizada em condições de campo por meio de escalas diagramáticas com seis níveis para folhas (nível 1 = 0 a 3%; 2 = de 4 a 6%; 3 = 7 a 14%; 4 = 15 a 24%; 5 = 25 a 50% e 6 = acima de 50% da superfície das folhas lesionadas) e oito para frutos (1= 0,1%; 2= 0,3%; 3= 0,6%; 4= 1,2%; 5= 2,5%; 6= 5,0%; 7= 10,0% e 8= 20,0% de área lesionada na superfície externa do fruto), os frutos foram avaliados no estágio zero de maturação. Os dados resultantes das análises físicas, químicas, da cor da polpa e da severidade da doença foram submetidos a análise multivariada. As variáveis MF (976,37 g), CF (20,76 cm) e DF (9,63 cm) foram maiores para os acessos do grupo IF. As variáveis SS e *ratio* foram maiores nos frutos do grupo Solo. Foram registradas variações nas cores das polpas dos frutos para todos os parâmetros do espaço de cores *CIELab*, formando cinco grupos (G1, G2, G3, G4 e G5). O grupo G1, formado por acessos de polpa amarela, com o maior valor de L^* (77,36) e b^* (76,46). O grupo G2 reuniu frutos com polpa avermelhada e os maiores valores de a^* (49,13). A análise de agrupamento para severidade da pinta-preta formou seis grupos para folhas e sete para frutos do mamoeiro. Os acessos BGCA245, BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 e BGCA67 apresentaram menores índices de severidade da doença nas folhas e frutos. A análise dos frutos classificou os acessos com potencial para seleção com base em características físicas e químicas. A análise de cor da polpa por meio de imagens digitais, foi eficiente para discriminar os grupos, destacando frutos avermelhados do grupo G2, como preferidos pelos consumidores. A avaliação da pinta-preta identificou acessos promissores com menor severidade da doença. O BGCA120 é promissor para o melhoramento genético de mamoeiro, devido aos baixos índices de severidade da pinta-preta e às boas características dos frutos, como formato, tamanho e cor polpa avermelhada.

Palavras-chave: Banco de Germoplasma; Qualidade de fruto; *Colordistance*, Severidade

TITLE: CHARACTERIZATION OF FRUITS, PULP COLORIMETRIC ANALYSIS BY DIGITAL IMAGES, AND BLACK SPOT RESISTANCE IN PAPAYA (*Carica papaya* L.) GERMPLASM

ABSTRACT: The papaya crop faces many challenges such as disease occurrence that affect productivity and fruit quality. Quality is determined by physical, chemical and visual attributes, such as pulp color. Alternative methods, such as digital image analyzing, are used to evaluate these characteristics more efficiently and economical. The objectives of this work were: 1 - to characterize papaya genotypes for black spot resistance in leaves and fruits; 2 - to carry out physical and chemical fruit analysis and; 3 - to use colorimetric analysis by digital images to characterize the pulp color in papaya accessions. A total of 110 hermaphrodite papaya accessions from Embrapa's Active Germplasm Bank were evaluated at 16 months, belonging to the solo and Formosa/Intermediate (IF) groups. Each access was represented by five fruits, harvested at ripeness stage two and evaluated at the stage five. The physical and chemical attributes evaluated included fruit mass (MF), length (FC) and fruit diameter (DF), ratio length and diameter (FC/DF), internal cavity diameter (DC), pulp thickness (EP), fruit firmness (F), soluble solids content (SS), titratable acidity (AT), pH and the soluble solids to acidity ratio. Colorimetric analysis was carried out by digital images, using the *colordistance* package in R software. The black spot disease severity on leaves and fruits was measured under field conditions by diagrammatic scales with six levels for leaves (level 1 = 0 to 3%; 2 = 4 to 6%; 3 = 7 to 14%; 4 = 15 to 24%; 5 = 25 to 50% and 6 = above 50% of damaged leaf surface) and eight for fruit (1= 0.1%; 2= 0.3%; 3= 0.6%; 4= 1.2%; 5= 2.5%; 6= 5.0%; 7= 10.0% and 8= 20.0% of damaged area on fruit surface). The fruits was assessed at stage zero of ripeness. The data from the physical, chemical, pulp color and disease severity analyses were subjected to multivariate analysis. The MF (976,37 g), CF (20,76 cm) and DF (9,63 cm) variables were higher in IF group accessions. The SS and ratio were higher in fruits belonging to solo group. Variations in fruit pulp color were recorded for all the parameters in the *CIELab* color space, forming five groups (G1, G2, G3, G4 and G5). Group G1 was made up of yellowish pulp accessions with the highest L^* (77,36) and b^* (76,46) values. G2 group presented fruits with reddish pulp and the highest a^* values (49,13). The cluster analysis for black spot severity formed six groups for leaves and seven for fruit. The BGCA245, BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 and BGCA67 accessions showed lower levels of disease severity in leaves and fruits. Fruit analysis was able to classify the accessions with potential for selection based on physical and chemical characteristics. The pulp color analyzing by digital images was efficient in distinguishing the groups, highlighting reddish pulp fruits from group G2 as mostly preferred by consumers. The papaya black spot disease evaluation identified promising accessions with lower severities. BGCA120 is promising accession for genetic improvement of papaya, due to present low rates of black spot severity and for the good quality fruit characteristics, such as shape, size and reddish pulp color.

Keywords: Germplasm Bank; Fruit Quality; *Colordistance*, Severity

INTRODUÇÃO

No Brasil, o mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma das culturas mais importantes da fruticultura comercial (Serafini *et al.*, 2021). Em 2023 a produção de mamão no Brasil atingiu cerca de 1.138.343 milhões de toneladas, e embora o mamoeiro seja cultivado em todas as regiões do país, os principais estados produtores estão nas regiões Nordeste (58,72%) e Sudeste (36,41%) (IBGE, 2024). Os estados da Bahia e Espírito Santo são responsáveis pela maior parte da produção nacional, com 354.525 e 352.046 toneladas, respectivamente (IBGE, 2024).

O mamoeiro se desenvolve bem em regiões de clima tropical e subtropical, onde seu ciclo de crescimento é rápido e contínuo ao longo do ano (Rodrigues *et al.*, 2021). As variedades de mamoeiro mais cultivadas pertencem basicamente a dois grupos distintos: Solo e Formosa. Os mamoeiros do grupo Solo produzem frutos menores, que pesam de 300 a 600 gramas, enquanto os frutos do grupo Formosa são maiores, pesando entre 1000 a 1300 gramas (Santana *et al.*, 2023). No entanto, existem também novas cultivares intermediárias com frutos que pesam em torno de 800 gramas (Pereira *et al.*, 2019).

A cultura do mamoeiro é seriamente afetada por fatores abióticos ou bióticos que comprometem a qualidade dos frutos e a produtividade, a exemplo de doenças viróticas como o vírus da mancha anelar do mamoeiro (PRSV), uma das mais importantes, que causam perdas significativas na cultura (Priya *et al.* 2024), e entre as fúngicas destaca-se a pinta-preta ou varíola (*Asperisporium caricae* (Speg.) Maubl.) (Pirovani *et al.*, 2021).

Os primeiros sintomas da pinta-preta são manchas úmidas nas folhas jovens, que se tornam branco-acinzentadas e presença de esporos pretos aparecem na parte inferior das folhas, causando desfolha. E nos frutos, as lesões começam como pequenas manchas pretas, mas o tecido subjacente permanece firme (Barreto *et al.*, 2011; Vawdrey *et al.*, 2008). A doença reduz a capacidade fotossintética da planta, podendo causar perdas significativas na produção, estimadas em até 30%, além de afetar o valor comercial dos frutos. Portanto, pesquisas que quantificam a doença são essenciais para auxiliar no controle e no melhoramento da cultura para resistência (Francelino *et al.*, 2023).

Neste sentido, a necessidade de desenvolver variedades de mamoeiro resistentes, produtivas e com boa qualidade de frutos, impulsionam os programas de melhoramento genético a buscarem genótipos promissores que apresentem

características agronômicas superiores (Miranda *et al.*, 2021; Vasugi *et al.*, 2024). Essas características precisam atender às preferências dos consumidores por frutos de sabor adocicado, polpa de cor laranja-avermelhada, boa espessura, textura firme e durabilidade no mercado (Budiyanthi *et al.*, 2021).

O Banco de Germoplasma de Caricaceae (BAG-mamão) da Embrapa mandioca e fruticultura, criado oficialmente em 1995 conta atualmente com 145 acessos, sendo a maioria de *Carica papaya* L., distribuídas em grupos Solo e Formosa e espécies silvestres. Assim, as caracterizações dos acessos são importantes, pois permitem identificar as potencialidades de uso atual ou potencial de cada acesso.

Os atributos físicos e químicos dos frutos são essenciais para atender às expectativas do mercado e dos consumidores, sendo a qualidades de um fruto são determinadas principalmente pelos sólidos solúveis, que influenciam a doçura, e pela firmeza, que afeta a durabilidade durante o transporte, armazenamento e comercialização (Santana *et al.*, 2021). No entanto, o que primeiro atrai o consumidor na hora da compra é o aspecto visual que exerce influência na decisão de compra, entre eles destacam cor, tamanho e forma dos frutos (Farina *et al.*, 2020).

A determinação da cor da polpa é extremamente importante e é convencionalmente realizada por meio de descritores de cores, em cujo método a percepção de cor é subjetiva e varia de pessoa para pessoa (Jesus *et al.*, 2022; Vargas-Tierras *et al.*, 2021). A determinação da coloração da polpa em frutos também é realizada por meio de equipamentos como os colorímetros de laboratório, que são eficientes, porém dispendiosos, tornando as análises onerosas (Silva Júnior *et al.*, 2018; Soto *et al.*, 2021).

A análise de imagens digitais é uma alternativa aos métodos convencionais, pois reduz a subjetividade, e é prática, rápida, eficiente e segura, sendo utilizado, inclusive, para prever o amadurecimento do mamão e classificar com base na cor da casca, volume e massa (Chacon *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2018). Além disso, a aquisição das imagens pode ser feita por câmeras digitais e *smartphones*, que são facilmente acessíveis e simples de usar, reduzindo custos (Wang *et al.*, 2024). As cores captadas nas imagens podem ser analisadas utilizando ferramentas de software de código aberto, como o *colordistance* no R, que permite obter uma grande quantidade de informações, facilitando a fenotipagem de plantas ou órgãos vegetais (Weller; Westneat, 2019).

Assim, presente trabalho teve por objetivos identificar fontes de resistência à pinta-preta em folhas e frutos em condições de campo, bem como realizar análises físicas e químicas dos frutos e empregar uma metodologia alternativa com base em imagem digital para caracterização da cor da polpa dos acessos do banco de germoplasma de mamoeiro (BAG-mamão). Essas informações serão utilizadas para ações do programa de melhoramento genético da cultura, visando ampliar a oferta de cultivares de mamoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento e material vegetal

O estudo foi conduzido no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura no município de Cruz das Almas (12° 39' 25" S, 39° 07' 27" W, 226 m), Bahia, Brasil. A região possui clima tropical quente e úmido, a precipitação média anual chega a 1170 mm, podendo variar entre 900 e 1300 mm, março a agosto são os meses em que há registros de maior precipitação (INMET, 2024).

Material Vegetal

As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de 250 ml, utilizando o substrato comercial Vivatto Pro 20 e o fertilizante de liberação lenta Osmocote Plus 5M®, fórmula NPK (Mg e S) 15-09-12 (1,3 e 6%) com micronutrientes (Fe 0,46; Mn 0,06; B 0,02; Cu 0,05; Zn 0,05 e Mo 0,02 %). Entre 30 e 40 dias após a germinação, as mudas produzidas em telado, foram aclimatadas e transplantadas para o campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

O espaçamento adotado foi de 3 metros entre linhas e 2 metros entre plantas na linha. Foram plantadas três mudas por cova. Mantendo-se uma planta hermafrodita por cova após a sexagem. Cada acesso foi representado por oito plantas após a sexagem. O método de irrigação empregado foi o localizado, por meio de microaspersão. Os tratos culturais seguiram as recomendações para a cultura, conforme descrito por Costa e Martins (2015).

Foram realizadas análises em 110 acessos de mamoeiro, pertencentes ao Banco de Germoplasma de Caricaceae (BGCA), aos dezesseis meses de idade. Foram avaliadas somente frutos de plantas hermafroditas pertencentes aos grupos Solo, Formosa e Intermediário. Os frutos intermediários foram analisados junto com os do tipo Formosa, formando o grupo IF (Formosa/Intermediário), com massa superior a 650 g, conforme indicado na Tabela 1. As colheitas e avaliações dos frutos ocorreram entre os meses de novembro de 2023 a janeiro de 2024. Os frutos foram

colhidos nos estádios 1 e 2 de maturação, correspondendo, respectivamente, até 15% e 25% da casca amarela. E avaliados no estágio 5 de maturação, que corresponde ao intervalo de 76% até 100% da superfície amarela (Brasil, 2010).

Tabela 1. Lista de acessos de mamoeiros avaliados pertencentes ao Banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia.

Número	Acesso	Grupo	Número	Acesso	Grupo
1	BGCA-002	IF	56	BGCA-121	IF
2	BGCA-003	IF	57	BGCA-123	IF
3	BGCA-004	IF	58	BGCA-128	S
4	BGCA-005	S	59	BGCA-129	IF
5	BGCA-006	S	60	BGCA-130	IF
6	BGCA-008	IF	61	BGCA-131	S
7	BGCA-011	IF	62	BGCA-132	S
8	BGCA-012	S	63	BGCA-133	S
9	BGCA-014	IF	64	BGCA-135	IF
10	BGCA-015	IF	65	BGCA-139	IF
11	BGCA-017	S	66	BGCA-142	S
12	BGCA-020	IF	67	BGCA-145	IF
13	BGCA-021	S	68	BGCA-146	IF
14	BGCA-022	IF	69	BGCA-150	IF
15	BGCA-023	IF	70	BGCA-152	IF
16	BGCA-024	IF	71	BGCA-154	IF
17	BGCA-026	IF	72	BGCA-157	IF
18	BGCA-027	IF	73	BGCA-166	IF
19	BGCA-028	S	74	BGCA-172	IF
20	BGCA-030	IF	75	BGCA-175	IF
21	BGCA-031	S	76	BGCA-176	IF
22	BGCA-033	S	77	BGCA-177	S
23	BGCA-035	S	78	BGCA-180	IF

24	BGCA-036	IF	79	BGCA-183	IF
25	BGCA-037	IF	80	BGCA-185	S
26	BGCA-038	S	81	BGCA-186	IF
27	BGCA-040	S	82	BGCA-187	IF
28	BGCA-041	IF	83	BGCA-188	IF
29	BGCA-044	S	84	BGCA-204	S
30	BGCA-046	IF	85	BGCA-207	S
31	BGCA-047	IF	86	BGCA-210	IF
32	BGCA-050	IF	87	BGCA-211	IF
33	BGCA-051	S	88	BGCA-219	IF
34	BGCA-052	S	89	BGCA-223	IF
35	BGCA-054	S	90	BGCA-232	S
36	BGCA-055	IF	91	BGCA-233	IF
37	BGCA-056	IF	92	BGCA-234	S
38	BGCA-058	S	93	BGCA-235	IF
39	BGCA-060	IF	94	BGCA-245	IF
40	BGCA-065	S	95	BGCA-246	IF
41	BGCA-066	S	96	BGCA-247	IF
42	BGCA-067	IF	97	BGCA-248	S
43	BGCA-069	IF	98	BGCA-249	S
44	BGCA-070	S	99	BGCA-250	S
45	BGCA-072	IF	100	BGCA-251	IF
46	BGCA-075	IF	101	BGCA-253	S
47	BGCA-076	S	102	BGCA-254	S
48	BGCA-077	IF	103	BGCA-255	IF
49	BGCA-078	IF	104	BGCA-256	IF
50	BGCA-087	S	105	BGCA-257	IF
51	BGCA-088	S	106	BGCA-258	IF

52	BGCA-102	S	107	BGCA-261	IF
53	BGCA-116	IF	108	BGCA-269	IF
54	BGCA-118	S	109	BGCA-271	IF
55	BGCA-120	IF	110	BGCA-272	IF

IF= Formosa/Intermediário; S= Solo.

Avaliação física e química

A análise física e química foi conduzida no laboratório de pós-colheita da Embrapa Mandioca e Fruticultura, na qual cinco frutos por acesso foram avaliados. As características físicas avaliadas incluíram: massa do fruto (MF), em gramas, determinada com o auxílio de uma balança digital 20Kg Urano US20/2-POP-S; comprimento (CF) e diâmetro do fruto (DF), em centímetros, ambos medidos com o auxílio de um paquímetro; relação comprimento/diâmetro (RCD) e firmeza do fruto (F) determinada em kgf cm^{-2} , perfurando os frutos em um único ponto na região equatorial com um penetrômetro analógico equipado com uma ponteira de 8 mm de diâmetro. A escolha de perfurar em um único ponto foi devido à limitação na quantidade de frutos disponíveis para avaliação. O diâmetro da cavidade interna do fruto (DC) e a espessura da polpa (EP), ambos determinados em centímetros, obtidos por meio de imagens digitais dos frutos abertos, com o auxílio do *software* ImageJ (<https://imagej.net/ij/>).

Para a avaliação química, a polpa dos frutos foi triturada para obter uma mistura homogênea. As características avaliadas incluíram o potencial hidrogeniônico (pH), medido através da leitura da polpa em um pHmetro; a acidez titulável (AT), expressa em % de ácido cítrico, obtida por titulação com NaOH 0,1N; o teor de sólidos solúveis (SS) em °Brix, obtido com um refratômetro digital e o *ratio*, dado pela razão entre SS/AT. Cada fruto dentro do mesmo acesso foi avaliado individualmente.

Análise colorimétrica

A metodologia adotada para a análise de cor da polpa dos frutos envolveu um conjunto de etapas. Antes das análises físicas e químicas os frutos foram cortados transversalmente, e uma seção central do fruto foi extraída e fotografada. As fotografias foram capturadas utilizando uma câmera digital Canon SX30IS, em um ambiente padronizado, com o auxílio de um estúdio portátil com iluminação anelar LED. Para assegurar a fidelidade das cores, um *colorchecker* de dimensões 64 x 108 milímetros, que contém 24 cores distintas foi utilizado durante a captura das imagens.

A distância focal entre a seção central do fruto e a câmera foi mantida em 22 cm

As imagens identificadas com o nome dos acessos e a repetição (exemplo: BGCA120R1), foram salvas em uma pasta e posteriormente, um fragmento específico de cada imagem que melhor representasse a cor da polpa foi selecionado e recortado. O critério de escolha do fragmento baseou-se na uniformidade, selecionando áreas onde não havia variação de cor e que fossem representativas da cor da polpa do fruto. Este fragmento, cujas dimensões da polpa eram conhecidas (2 × 2 cm), foi então salvo no formato *JPEG* nomeado com o número da foto correspondente aos acessos e analisado por meio do *software* estatístico R, utilizando o pacote *colordistance* (Weller; Westneat, 2019). O pacote *colordistance* extrai dados quantitativos sobre as características de cores das imagens.

A seleção de pixels das imagens foi feita aleatoriamente. Esses pixels foram transformados em pontos dentro de um espaço tridimensional, para gerar um histograma de cores multidimensionais. Foram definidos antecipadamente 8 compartimentos de cores do histograma, onde cada um dos eixos do espaço de cores vermelho, verde e azul (RGB) foi dividido em duas partes (2 partes de cores, 3 canais, $2^3 = 8$ compartimentos).

Uma Matriz de Distância de Cores (CDM) foi gerada a partir do conjunto de histogramas. A CDM é uma matriz quadrada onde cada elemento $[i, j]$ representa a distância de cor entre a imagem i e a imagem j . O cálculo desta matriz depende dos histogramas de cores fornecidos da análise de cada imagem. Para o cálculo de distância utiliza-se o método *Earth Mover's Distance* (EMD) ou distância da escavadeira. Calcula-se a EMD entre os histogramas de cores das imagens para quantificar a similaridade ou dissimilaridade entre as imagens. Um EMD menor indica que os histogramas são mais semelhantes, ou seja, as imagens são mais parecidas em termos de suas distribuições de cores.

Avaliação da doença pinta-preta

Foi realizada em condições de campo (infecção natural) a determinação da severidade da doença conhecida como pinta-preta ou varíola, causada pelo fungo *Asperisporium caricae* (Speg.) Maubl, em folhas e frutos dos acessos de mamoeiro. Esta coleta ocorreu durante quatro meses, de novembro de 2023 a fevereiro de 2024, sendo feitas quatro avaliações, sempre no início do mês. Foram avaliadas plantas hermafroditas de 110 acessos, cada um representado por oito plantas aos dezesseis meses de idade.

A severidade da pinta-preta nas folhas foi avaliada por meio da escala diagramática adotada por Dianese *et al.*, (2007), com 6 níveis, onde o nível 1 = 0 a 3%; 2 = de 4 a 6%; 3 = 7 a 14%; 4 = 15 a 24%; 5 = 25 a 50% e 6 = acima de 50% da superfície das folhas lesionadas. Adicionalmente, os dados referentes à severidade da pinta-preta nos frutos foram obtidos com estes ainda verdes, no estágio 0 de maturação, com base na escala diagramática proposta por Vivas *et al.*, (2010), com oito níveis, considerando 1= 0,1%; 2= 0,3%; 3= 0,6%; 4= 1,2%; 5= 2,5%; 6= 5,0%; 7= 10,0% e 8= 20,0% de área lesionada na superfície externa do fruto.

Análise estatística

Os dados resultantes das análises física e química, da cor da polpa e da severidade da doença foram analisados utilizando técnicas de estatística multivariada.

Para a caracterização física e química, os dados foram normalizados pelo $z = \frac{(x-\mu)}{\sigma}$ em que x : valor atual, μ : média e σ : desvio padrão e posteriormente foi utilizado a distância Euclidiana e o método de ligação completa. Os agrupamentos foram estabelecidos visualmente nos pontos de alteração significativa nas ramificações dos *clusters*. O dendrograma e o mapa de calor (*heatmap*) foram construídos utilizando o pacote *circlize* (Gu *et al.*, 2014). Os gráficos *boxplots* foram gerados utilizando o pacote *ggpubr* (Kassambara, 2018) após determinar o número de grupos mais adequado para representar a diversidade de germoplasma. Ambos os pacotes utilizados integram a biblioteca do software R versão 4.4.0 (R Core Team 2024).

A análise da cor da polpa dos frutos foi realizada por meio de imagens digitais, empregando o pacote *colordistance* (Weller; Westneat, 2019) no software R versão 4.4.0 (R Core Team 2024). Os valores de cor RGB predominantes nas polpas dos frutos foram transformados em espaços de cor CIE (*Commission Internationale l'Eclairage*) $L^*a^*b^*$, onde L^* (luminosidade), a^* (cromaticidade verde-vermelha) e b^* (cromaticidade azul-amarela). Os valores de L^* , a^* , b^* foram submetidos à análise de *cluster* por meio da distância euclidiana e método de ligação completa. A matriz de cores obtida foi utilizada para fazer o dendrograma utilizando o software MEGA (*Molecular Evolutionary Genetics Analysis*), versão 7.0 (Kumar; Stecher; Tamura, 2016).

A partir da análise da severidade da pinta-preta em folhas e frutos, foi gerada uma matriz de distância genética com base na distância euclidiana. Os acessos foram

agrupados utilizando o método UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). A validação dos agrupamentos foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (cc) (Sokal; Rohlf, 1962). Os dados referentes ao índice percentual da doença (ID%) em folhas e frutos foram determinados utilizando a fórmula proposta por McKinney (1923), conforme descrito a seguir:

$$\text{Índice da doença: } ID (\%) = \frac{\sum (GS \times L)}{(TNL \times HGS)} \times 100$$

Em que: GS = grau da escala determinada para cada folha ou fruto; L = número de folhas ou frutos com cada grau de sintomas; TNL = número total de folhas ou frutos avaliados e HGS = grau máximo de infecção.

RESULTADOS

Caracterização física e química dos frutos

A análise de diversidade utilizando o método de ligação completa e a distância euclidiana para 110 acessos de mamoeiro, evidenciou ampla variabilidade fenotípica para as variáveis: massa do fruto (MF), comprimento do fruto (CF), diâmetro do fruto (DF), relação comprimento e diâmetro (RCD), firmeza do fruto (F), diâmetro da cavidade interna do fruto (DC), espessura da polpa (EP), potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT), teor de sólidos solúveis (SS) e razão SS/AT (Figura 1).

Como esperado, as variáveis relacionadas ao tamanho e massa dos frutos foram maiores para os acessos Formosa/Intermediários (Figura 1). Os valores de MF para este grupo variaram de 647,80 g a 1878 g, com média de 976,37 g. O CF e o DF tiveram médias de 20,76 cm e 9,63 cm, respectivamente. Já os frutos do grupo Solo, que possuem um tamanho menor, tiveram pesos variando de 280,80 g a 623,41 g, com média em torno de 465,79g. O comprimento do fruto apresentou média igual a 15,61 cm e para o DF a média foi 7,57 cm.

A espessura da polpa (EP) variou de 1,14 cm a 3,32 cm entre os acessos. O diâmetro da cavidade interna (DC) variou de 2,13 cm a 6,79 cm. As médias para EP foram maiores para Formosa/Intermediários (3,32 cm) e para DC os frutos do Grupo Solo tiveram as menores médias (4,30 cm) (Figura 1).

GRUPOS: SOLO E FORMOSA/
INTERMEDIÁRIOS

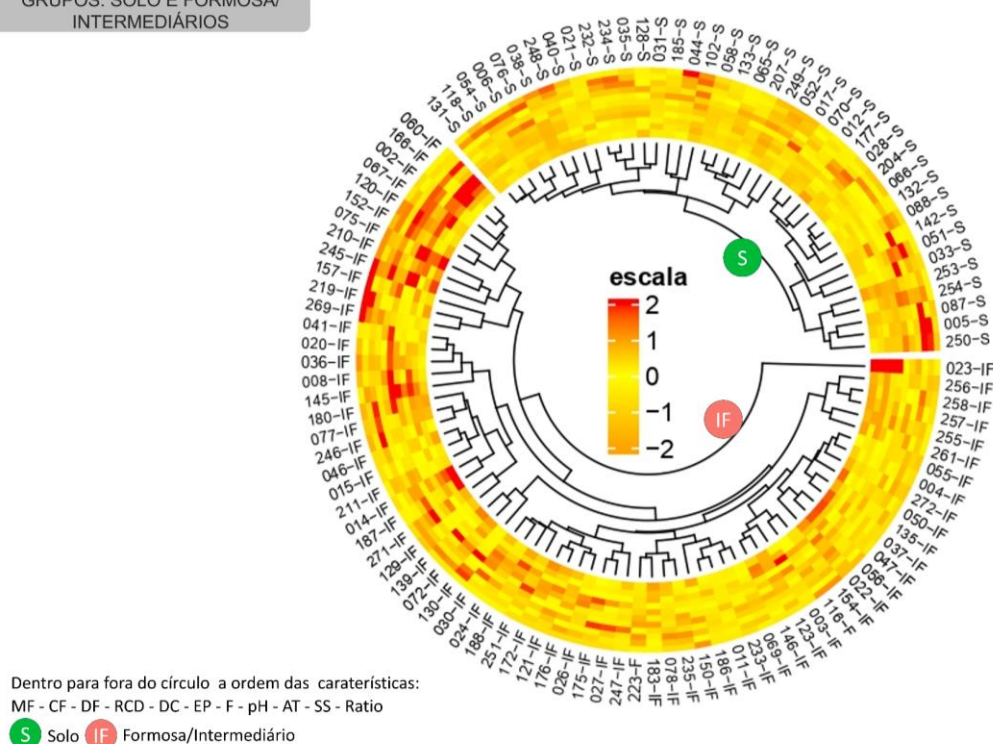


Figura 1. Mapa de calor e análise de agrupamento com base na distância euclidiana e método de ligação completo de 110 acessos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma de Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura. As características consideradas para o agrupamento foram massa do fruto (MF); comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); relação entre comprimento e diâmetro (RCD); diâmetro da cavidade interna do fruto (DC); espessura da polpa (EP); firmeza do fruto (F); potencial hidrogeniônico (pH); acidez titulável (AT); sólidos solúveis (SS) e ratio, razão entre SS/AT. IF: Formosa/intermediários; S: Solo.

As características relacionadas à qualidade química dos frutos, como o teor de sólidos solúveis e *ratio* foram maiores nos acessos dos frutos do grupo Solo, com destaque para BGCA05, BGCA131 e as cultivares BS2000 (BGCA250) e Aliança (BGCA248) que apresentaram valores de °Brix de 15,78; 14,0; 15,26 e 13,98, respectivamente (Figura 1). Embora alguns acessos do grupo Formosa/Intermediários também apresentaram valores semelhantes para sólidos solúveis, porém em menor número, considerando a quantidade de genótipos dentro do grupo.

Ao analisar a diversidade fenotípica separadamente dos acessos dos grupos Solo e Formosa/Intermediários de forma isolada, de acordo com as análises de agrupamento, houve a formação de quatro grupos para os acessos do grupo Solo (Figura 2.a) e seis grupos para os acessos do grupo Formosa/Intermediários (Figura 3.a).

Os dendrogramas representam os agrupamentos formados, ou seja, as

relações de similaridade entre os acessos e o mapa de calor (*heatmap*), por sua vez, representa as variáveis avaliadas transformadas. Tons de cor laranja indicam valores menores para as características, enquanto vermelha está ligada a valores maiores (Figura 1, 2a, 3a). Os atributos físicos e químicos foram apresentados individualmente por meio de gráficos *boxplots*, nos quais as caixas representam os grupos identificados nas análises de agrupamento considerando os grupos Solo e Formosa/Intermediário de forma isolada (Figuras 2b e 3b).

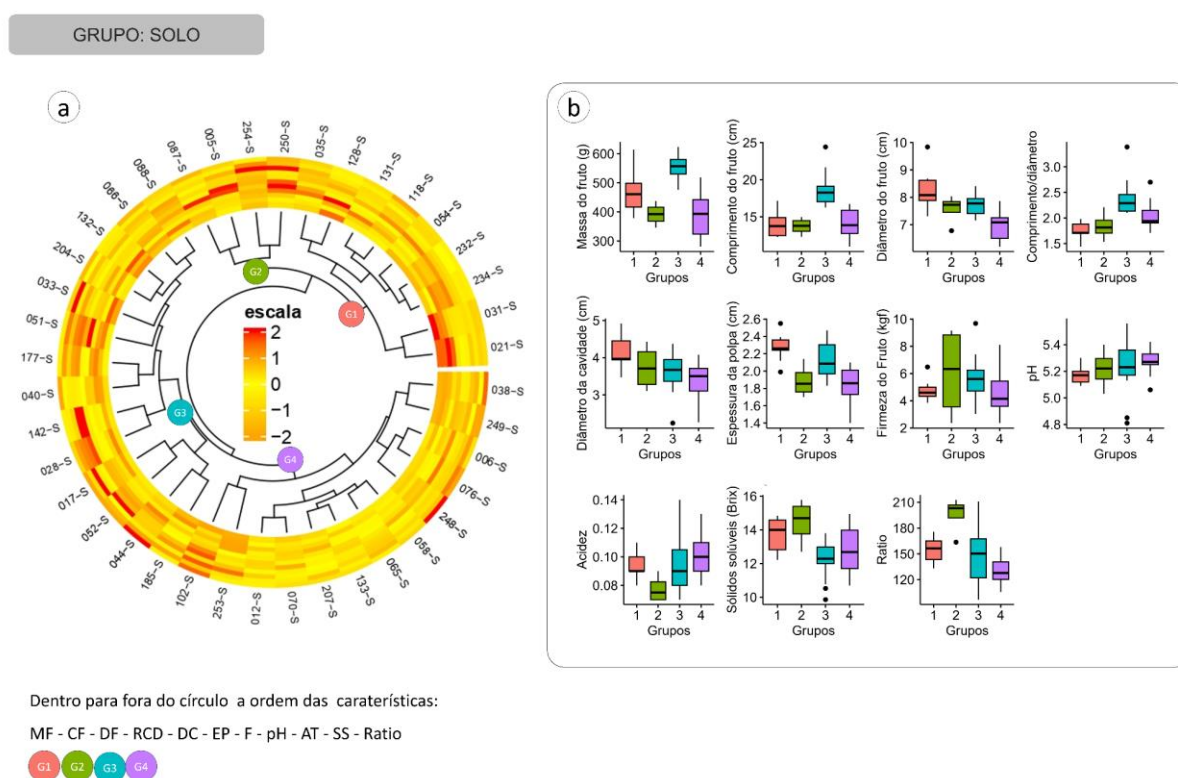


Figura 2. (a) mapa de calor e análise de agrupamento com base na distância euclidiana usando o método de ligação completa para 40 acessos de mamoeiro do grupo Solo do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. (b) *Boxplots* para as variáveis estudadas com os grupos determinados pela análise de agrupamento. Seguindo a ordem: massa do fruto (MF); comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); relação comprimento e diâmetro (RCD); diâmetro da cavidade interna (DC); espessura da polpa (EP); firmeza do fruto (F); potencial hidrogeniônico (pH); acidez titulável (AT); sólidos solúveis (SS) e ratio, razão SS/AT. Nos *boxplots*, as linhas em negrito indicam a mediana dos dados, as caixas representam os quartis (Q1 e Q3) ou 50% dos dados, enquanto os segmentos além das caixas (bigodes) mostram os valores máximos e mínimos (excluindo os outlier (●)).

Em relação ao Grupo Solo, o G1 reuniu nove acessos (Figura 2a), e se caracterizou por apresentar os maiores valores médios para diâmetro do fruto (DF) 8,20 cm, diâmetro da cavidade interna (DC) 4,12 cm e espessura da polpa (EP) 2,28 cm (Figura 2b). O grupo G2, formado por quatro acessos (Figura 2a), se destacou por

apresentar frutos menores e doces, ao apresentar baixos valores médios de peso (MF) 391,83 g e comprimento (CF) 13,71 cm, bem como altos valores de sólidos solúveis totais (SS) 14,47 °Brix e baixos de acidez titulável (AT) 0,08 g 100 g⁻¹ (Figura 2b), a exemplo da cultivar BS2000. Por outro lado, o grupo G3 se caracterizou por reunir os frutos com maior peso 552,99 g (Figura 2b). Neste grupo foram reunidos 14 acessos (Figura 2a), nos quais se observou os maiores valores para massa, comprimento e relação comprimento/ diâmetro do fruto entre os acessos do Grupo Solo, assim como foi observado o menor valor médio de SS.

No G4 foram agrupados 13 acessos, incluindo as cultivares Aliança e THB (Figura 2a). As características principais deste agrupamento foram frutos de menor DF, 6,97 cm e pouco firmes, 4,79 kgf cm⁻². Foram verificadas também médias reduzidas para a relação SS/AT de 129,69 (Figura 2b).

Em relação aos acessos do grupo Formosa/intermediário, o grupo G1 foi formado apenas pelo BGCA023 (Figura 3a) e destacou-se por apresentar frutos grandes e pesados, haja vista os altos valores médios para massa do fruto (MF) 1878,00 g, comprimento do fruto (CF), 27,38 cm e diâmetro do fruto (DF), 22,10 cm. Consequentemente, a espessura da polpa (EP) e o diâmetro da cavidade interna (DC) também foram os mais elevados entre todos os acessos avaliados, com 3,24 e 6,79 cm, respectivamente (Figura 3b). O G2 foi composto por cinco acessos (Figura 3a) e foi o que apresentou os maiores valores médios para sólidos solúveis totais (SS). Apesar disso, também foi o que apresentou as maiores médias para acidez titulável (AT) e portanto, um menor valor médio de 104,87 para SS/AT (Figura 3b).

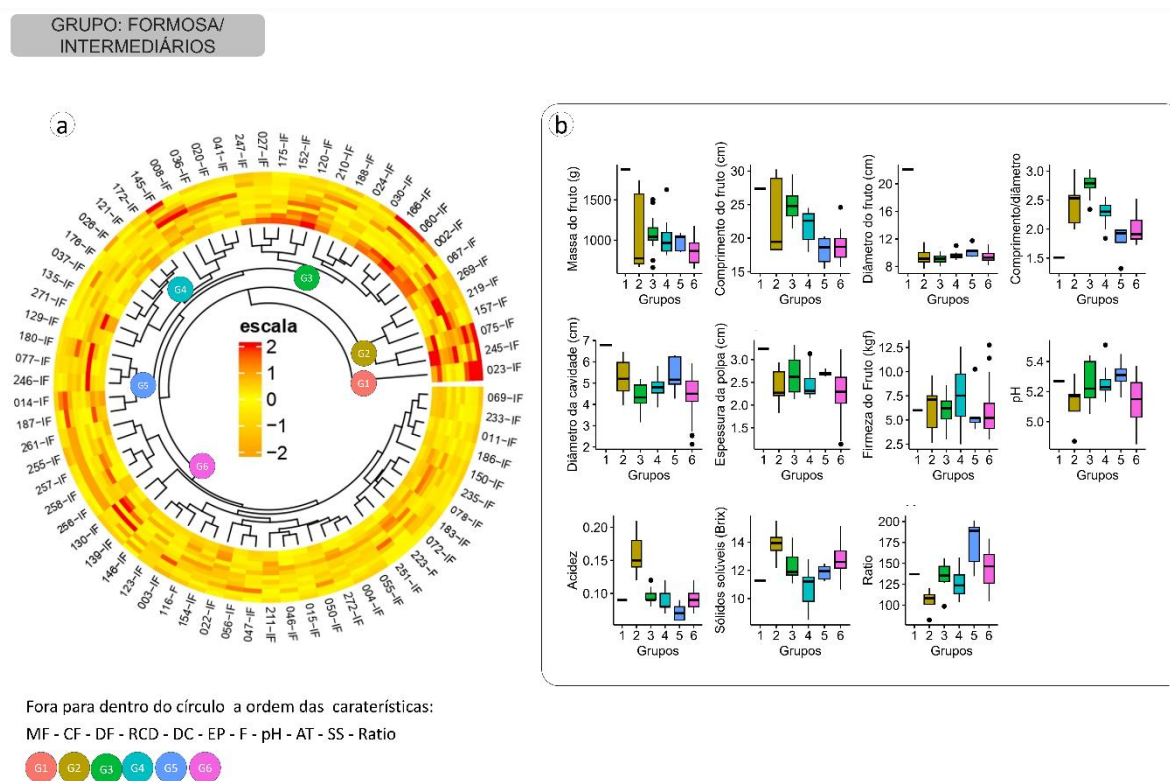


Figura 3. (a) mapa de calor e análise de agrupamento de 29 acessos de mamoeiro do grupo Formosa e 41 acessos do grupo Intermediários do Banco Ativo de Germoplasma de Mamoeiro da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Considerou-se para o agrupamento distância euclidiana e o método de ligação completa para as 11 características avaliadas (b) *Boxplots* para as 11 características avaliadas nos frutos considerando os grupos identificados por meio das análises de agrupamento: massa do fruto (MF); comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); relação comprimento e diâmetro (RCD); diâmetro da cavidade interna do fruto (DC); espessura da polpa (EP); firmeza do fruto (F); potencial hidrogeniônico (pH); acidez titulável (AT); sólidos solúveis (SS); e ratio, razão SS/AT. Nos *boxplots*, as linhas em negrito indicam a mediana dos dados, as caixas representam os quartis (Q1 e Q3) ou 50% dos dados, enquanto os segmentos além das caixas (bigodes) mostram os valores máximos e mínimos (excluindo os outlier (●)).

O grupo G3 foi composto por 13 acessos (Figura 3a), caracterizados pela maior relação (2,76) entre comprimento e diâmetro do fruto (CF/DF) verificada entre todos os acessos avaliados, ou seja, a maioria foi formado por frutos compridos (24,90 cm) e menos espessos (9,11 cm). Outra característica notável foi em relação ao diâmetro da cavidade interna (DC), na qual foram observados os menores valores médios entre os grupos do tipo Formosa/Intermediários (Figura 3b).

Assim como o G3, o grupo G4 foi formado por 13 acessos, incluindo BGCA041 que corresponde ao genótipo JS12 (Figura 3a). Neste agrupamento foram verificados frutos com baixo teor de sólidos solúveis (SS) 10,81 °Brix, porém com maior valor médio para firmeza do fruto (F), 7,53 kgf cm⁻², o que não foi observado no grupo G5,

composto por cinco acessos e que teve como característica a presença de frutos pouca firmeza $5,90 \text{ kgf cm}^{-2}$ (Figura 3b). Além disso, foi verificado em G5 uma alta relação entre SS/AT de 173,88, evidenciado pelos baixos valores de acidez dos frutos ($0,07 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), o menor entre os grupos (Figura 3b).

Por fim, o grupo G6 foi o maior, formado por 33 acessos (Figura 3a). Este agrupamento reuniu frutos menos pesados (868,44 g). Se destacaram também por uma elevada relação SS/AT com 144,74 (Figura 3b).

Análise da cor da polpa via imagem digital

Os pixels das imagens foram tratados como coordenadas no espaço de cores RGB (vermelho, verde e azul), em que as dispersões de todos os pixels das imagens são extraídas, excluindo os *backgrounds* (Figura 4a). Posteriormente foram representados na forma de histograma (Figura 4b), contendo a quantidade de pixels das imagens que se enquadraram em cada um dos oito compartimentos pré-definidos do histograma, com os intervalos de cores em código hexadecimal representados no eixo x (abscissas) e a porcentagem de cada cor presente na amostra no eixo y (ordenadas). É notável que houve para a maioria das imagens analisadas, uma certa uniformidade de cor dentro dos acessos (barra empilhada) e uma alta variação de cor entre os acessos (Figura 4c-d).

Em relação aos parâmetros colorimétricos, foi registrada variações nas cores das polpas dos frutos para L^* (luminosidade), a^* (coordenada vermelho-verde) e b^* (coordenada amarelo-azul), do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ (Figura 4e). De maneira geral, houve separação de dois grandes grupos, um com coloração mais amarelada (G1) e outros com cor laranja ao avermelhado (G2 a G5) (Figura 4d). De dentro para fora do mapa de calor (*heatmap*) é possível observar variações nas coordenadas L^* , a^* e b^* , onde o verde mais escuro representa valores mais baixos e o vermelho valores mais altos. Na extremidade do círculo estão representados, na forma de cor, os valores médios de L^* , a^* e b^* de cada acesso, juntamente com imagem de frutos cortados transversalmente e seu respectivo código hexadecimal, de forma a representar a cor correspondente a cada grupo formado.

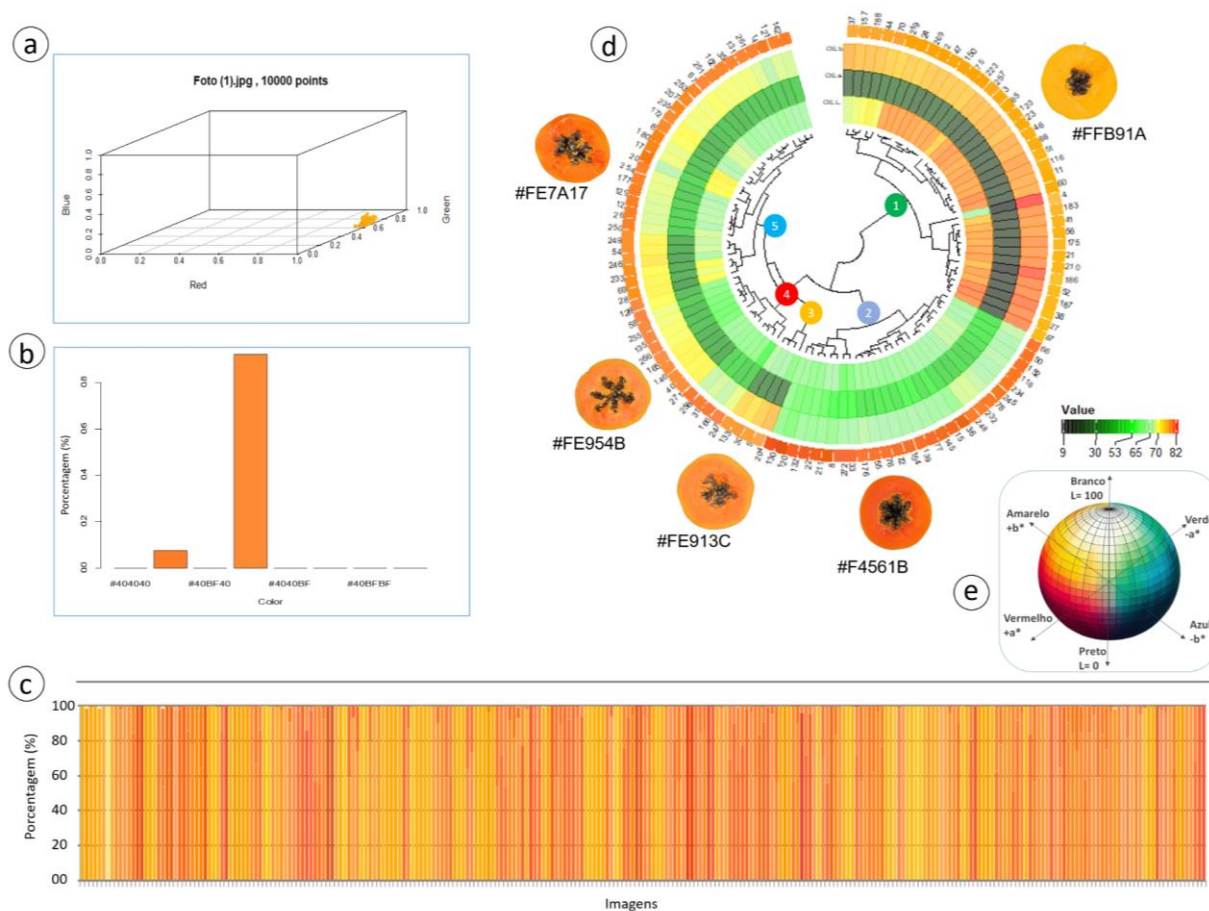


Figura84. Classificação de cores para os 110 genótipos de *Carica papaya* L. (a) Representação tridimensional de todos os pixels presentes no fragmento da polpa (2×2 cm) do fruto, no espaço de cores RGB. (b) Histograma da distribuição de cores pixels atribuídos em cada um dos oito compartimentos para imagens da polpa do fruto. (c) Gráfico empilhado da extração de cores das imagens de polpa analisadas de cada acesso, sendo a barra fracionada em função da quantidade de cores distintas presentes na imagem. (d) Mapa de calor (*heatmap*) da análise de agrupamento baseado no valor médio de L^* , a^* e b^* (CIE Lab) das imagens da polpa com base na distância euclidiana e ligação completa, ao lado, imagem da polpa de um fruto cortado transversalmente, e seu código hexadecimal, representando o grupo formado. A cor da polpa detectada para cada acesso está destacada por retângulo colorido externo ao *heatmap*. (e) Representação do espaço de cores CIE Lab gerada por mecanismos de inteligência artificial: Bing Image Creator.

Para o parâmetro luminosidade (L^*), os maiores valores variaram entre 55,81 e 81,98 (BGCA004), com média de 70,53. Os maiores valores de L^* foram encontrados em frutos de polpa amarela. Os valores da coordenada a^* (cromaticidade verde-vermelho), variou de 8,96 a 57,90. E nos valores médios do parâmetro b^* , (cromaticidade azul-amarelo), foi verificada uma ordem decrescente para os grupos G1(76,46), G5 (65,54), G3 (62,66), G2 (61,75) e G4 (57,15), com maiores valores observados em acessos de polpa amarela (Figura 4d).

O grupo G1 apresentou as maiores médias para os parâmetros L^*

(luminosidade da polpa) e b^* , com 77,36 e 76,46 respectivamente. Por outro lado, o componente a^* (cromaticidade vermelho-verde), foi o que apresentou a menor média (17,90), indicando que para este grupo, as cores da polpa dos frutos são amareladas. Dentro do grupo G1, os acessos que apresentaram os menores valores de a^* e maiores valores de L^* foram BGCA004, com valores de 8,96 e 81,98, respectivamente, e BGCA186, com valores de 9,55 e 81,50, respectivamente.

O parâmetro a^* , que varia do verde ao vermelho foi maior nos frutos dos acessos do G2 (49,13), como já esperado em frutos de polpa mais avermelhada. O G3 apresentou o segundo maior valor da coordenada L^* (74,26) e segundo menor para a^* (26,33). O G4 e G5 apresentaram valores bem próximos para a coordenada a^* , respectivamente, 38,80 e 38,26. A coordenada b^* que vai do azul ao amarelo foi menor (57,15) no G4 (Figura 4d).

Severidade da doença pinta-preta (*Asperisporium caricae*) em folhas e frutos de mamoeiro

A análise de agrupamento com base na distância euclidiana e método UPGMA indicou a formação de seis e sete grupos para severidade de doença nas folhas e frutos do mamoeiro, respectivamente (Figura 5a-b). O coeficiente de correlação cofenética para folhas e frutos foi de 0,72 e 0,73, respectivamente (Figura 5a-b). O índice de doença (ID%) variou de 21,4% a 66,7% para folhas e 3,6% a 96,2% para frutos (Figura 5 c-d).

Para a severidade nas folhas, os acessos do grupo G5 (BGCA245, BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 e BGCA67) obtiveram os menores índices da doença, enquanto os acessos do grupo G4 demonstraram ser altamente suscetíveis com os maiores ID% de severidade observados (56,8 a 66,7%). As cultivares Aliança (BGCA248), THB (BGCA249) e BS2000 (BGCA250) foram alocadas no G4 (Figura 5a). Os grupos G1, G2, G3 e G6, equivalentes a 77,27% dos acessos avaliados, obtiveram valores intermediários para severidade da doença nas folhas. E embora em baixa porcentagem (5,4%) dos acessos tiveram menor índice da doença nas folhas. (Figura 5a,c).

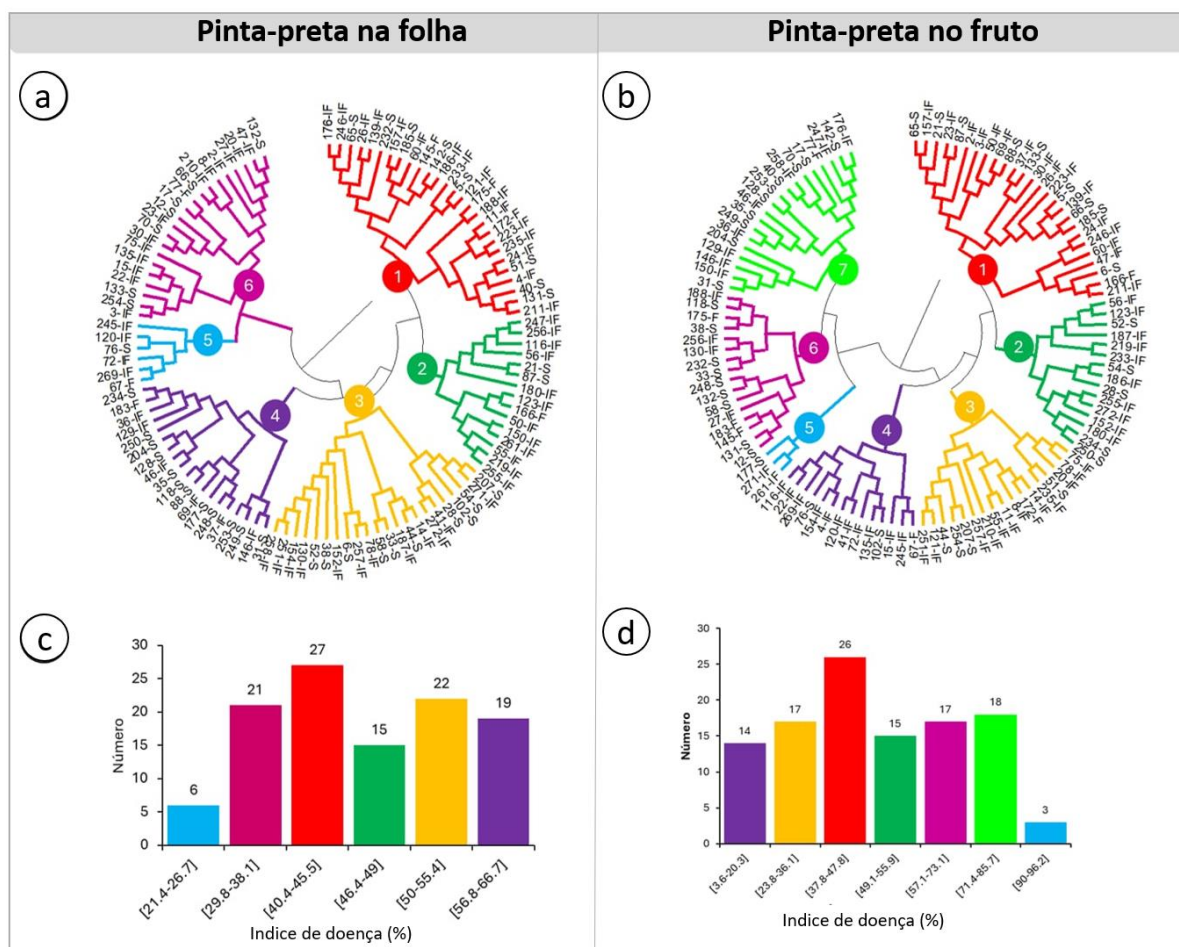


Figura 5. Severidade da doença pinta-preta (*Asperisporium caricae*) em folhas e frutos de mamoeiro do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, avaliada em campo. A-B) Dendrogramas com base no índice de severidade dos sintomas nas folhas (a) e frutos (b) utilizando distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA. C-D) distribuição do número de acessos em cada grupo dos dendrogramas em função da severidade dos sintomas nas folhas (c) e nos frutos (d). S: Solo; IF: Formosa/Intermediário. A cor da barra representa um grupo de acordo com o dendrograma.

Para a severidade nos frutos destaque para os acessos do grupo G4 que obtiveram os menores índices de doença variando de 3,6 a 20,3% (Figura 5b, d). Em contrapartida, os acessos do grupo G5 (BGCA177, BGCA261 e BGCA271) se mostraram altamente suscetíveis à doença, com 90 a 96,2% de severidade. Os grupos G1 e G3 obtiveram valores de ID% de 23,8 a 47,8% (Figura 5b, d). As cultivares do Grupo Solo, BS2000 (BGCA250), Aliança (BGCA248) e THB (BGCA249) foram agrupadas no G2, G6 e G7, respectivamente.

DISCUSSÃO

Os frutos do mamoeiro são divididos em dois Grupos distintos: Grupo Solo, com frutos de 300 a 600 g, e o Grupo Formosa, com frutos de 1000 a 1300 g. Além

dos padrões de frutos já estabelecidos, também têm sido desenvolvidas variedades intermediárias, com peso médio de aproximadamente 800 g (Santana *et al.*, 2023).

Neste estudo, considerou-se o grupo IF (Formosa/Intermediário) formado por frutos com massa acima de 650 g. Entre os acessos avaliados do grupo IF, o grupo G3 se sobressaiu em relação a massa do fruto (MF), pois a maioria dos frutos apresentaram peso padrão do Grupo Formosa, com peso médio de 1.080,68 g, muito próximo ao peso médio (1.146,27g) do híbrido comercial Tainung01 encontrado por Viana *et al.* (2015). O G3 também apresentou comprimento (24,90 cm) e diâmetro (9,11 cm) do fruto mais desejável para o padrão Formosa, com frutos de formato piriforme alongado e pontiagudo, muito parecidos com o formato do híbrido comercial Calimosa (Feltrin Sementes, 2024) (Figura 3a, b). Esses acessos possuem genes para o formato de fruto, o que os tornam possíveis genitores de híbridos.

Os frutos do grupo G1 e a maioria dos frutos do grupo G2 apresentaram massa do fruto (MF) superior a 1300 g, o que pode representar um desafio para o processo de embalagem visando a comercialização. Em contraste, o grupo G6 revelou-se promissor para a produção de frutos de tamanho intermediário (Figura 3b). Essa informação é relevante, considerando que programas de melhoramento genético do mamoeiro, como o da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF estão desenvolvendo frutos de tamanho intermediário (700 a 1000 g) para diversificar cultivos e atender às novas demandas dos consumidores (Miranda *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2019).

Entre os frutos do Grupo Solo, o G3 reuniu frutos de tamanho maior, com média em torno de 552,99 g e o G4 abrigou frutos com características semelhantes às cultivares comerciais Aliança e THB, que também foram alocados neste grupo com peso médio de 386,23 g (Figura 2b).

As características relacionadas ao tamanho do fruto, como comprimento (CF), diâmetro (DF) e a relação entre elas, são de extrema importância, pois os frutos precisam ter tamanho adequado para embalagem e precisam atender os padrões de cada grupo (Solo e Formosa/Intermediários) para serem comercializados no mercado interno e externo. Além disso, os frutos hermafroditas podem apresentar formatos variados, como arredondados e alongados. No entanto, os consumidores têm preferência por frutos piriformes (Ávila-Hernández *et al.*, 2023; Miranda *et al.*, 2021). Portanto, as ações dentro do melhoramento, para formato de fruto, devem ser norteadas visando atender todas essas demandas.

Conforme esperado, os frutos do grupo Formosa/Intermediários apresentaram os maiores valores de espessura de polpa (EP) quando comparados com os do Grupo Solo (Figura 1). Onde o G3 destacou-se por possuir maior EP (2,67 cm) e menor diâmetro da cavidade (DC 4,40 cm) em comparação aos demais grupos, exceto o G1, que apresentou a maior EP, mas também o maior DC observado (Figura 3b). Essa situação no G1 não é ideal, pois os frutos preferíveis são aqueles com maior EP e menor DC, características que aumentam a resistência a danos durante o transporte, especialmente em trajetos longos, além disso são frutos mais desejados tanto para o consumo quanto para a comercialização, devido ao maior aproveitamento da polpa (Miranda *et al.*, 2021; Nascimento *et al.*, 2018).

Os frutos de mamoeiro considerados de melhor qualidade são aqueles que, em média, apresentam os melhores resultados para firmeza do fruto, teor de sólidos solúveis e espessura da polpa (Santana *et al.*, 2023). Os acessos do G4 (Formosa/Intermediário) demonstraram possuir genes para a firmeza do fruto. Em relação às médias dos dois grandes Grupos Formosa/Intermediário ($6,25 \text{ kgf cm}^{-2}$) e Solo ($5,23 \text{ kgf cm}^{-2}$) foram superiores às médias encontradas por Carvalho *et al.* (2020) para a cultivar Tainung01 ($3,67 \text{ kgf cm}^{-2}$), do Grupo Formosa e Golden ($3,66 \text{ kgf cm}^{-2}$), do Grupo Solo. A firmeza do fruto é um atributo de qualidade do mamoeiro, pois está diretamente ligada ao tempo de prateleira e à comercialização. Frutos menos firmes são vulneráveis a danos durante o transporte e possuem menor durabilidade (Silva *et al.*, 2017).

Os frutos do Grupo Solo apresentaram os maiores valores de sólidos solúveis (SS) em comparação aos do grupo Formosa/Intermediários. Em especial, os frutos do G2, no qual o BGCA05 se destacou com altos valores médios de SS ($15,78^\circ \text{ Brix}$) e baixos de acidez titulável (AT) ($0,08 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), resultando em um *ratio* elevado (201,36), muito próximo ao *ratio* da cultivar BS2000 presente no mesmo grupo (212,84) (Figura 2b). O teor de sólidos solúveis (SS) é um atributo importante para o melhoramento do mamoeiro, pois o sabor do mamão depende do equilíbrio entre SS e AT, sendo mais aceitos os frutos mais doces e menos ácidos, embora essas características possam variar conforme a variedade, o clima, o solo e as práticas agrícolas (Queiroz *et al.*, 2024).

Embora o BGCA05 tenha apresentado um valor elevado de SS, ele exibiu baixos valores de firmeza do fruto ($2,36 \text{ kgf cm}^{-2}$). Diferente da cultivar BS2000, que apresentou SS de $15,26^\circ \text{ Brix}$ e firmeza de $8,72 \text{ kgf cm}^{-2}$ (Figura 2b). O amolecimento

do fruto está relacionado com a doçura, que por sua vez se relaciona com o teor de sólidos solúveis (Chung *et al.*, 2023). No entanto, baixos valores de firmeza também podem estar relacionados com o grau de maturação, o genótipo, e o manuseio.

De modo geral, entre os frutos do grupo Formosa/Intermediários, o G3 destacou-se por apresentar frutos mais similares quanto ao CF, DF, MF, EP e DC. E para os frutos do grupo Solo, o G2 agrupou acessos com média satisfatória para SS, com destaque para o BGCA05. Acessos desses grupos demonstram potencial para serem utilizados em programas de melhoramento, principalmente de serem utilizados no desenvolvimento de cultivares ou de populações segregantes visando geração de linhagens que serão utilizadas na geração de novos híbridos. No entanto, vale ressaltar que o cruzamento de indivíduos geneticamente similares pode restringir o ganho genético obtido através da seleção. Por outro lado, cruzamentos entre pais geneticamente distantes tendem a produzir descendentes com maior vigor híbrido (Pires *et al.*, 2022).

Por isso, identificar grupos com diferentes características físicas ou químicas é essencial para o melhoramento genético. Este estudo destaca grupos Formosa/Intermediário com características distintas. Por exemplo, o grupo G1 apresentou massa do fruto (MF) acima de 1300 g (1878,00 g), enquanto o grupo G6 teve MF abaixo de 1000 g (868,44 g). Além disso, o grupo G5 apresentou baixa acidez (0,07 g 100 g⁻¹) e o grupo G2 alto teor de sólidos solúveis (13,88 ° Brix) (Figura 3b).

Além dos cruzamentos intragrupo, os cruzamentos intergrupo entre Solo e Formosa/Intermediários também são viáveis e podem aumentar a heterose devido à maior divergência genética entre os progenitores (Cardoso *et al.*, 2014). Exemplo disso é o híbrido UENF/CALIMAN 01, desenvolvido no Brasil através do cruzamento de progenitores dos grupos Solo e Formosa (Luz *et al.*, 2018; Moraes *et al.*, 2007). Portanto, esta pesquisa fornece uma base morfológica e agrônômica robusta para o melhoramento genético.

Além disso, o agrupamento dos acessos em Solo, Formosa e Intermediários, conforme realizado por Santana *et al.*, (2023), permitiu identificar alguns genótipos que apresentam segregação. Um exemplo é o BGCA041, que corresponde ao genótipo JS12, um dos parentais de UENF/Caliman01. No presente estudo, na separação por grupos, esse genótipo foi classificado como intermediário, em vez de ser alocado como Formosa, conforme sua classificação (Pereira *et al.*, 2018), apresentando uma média de peso de frutos entre 800 e 900 g.

Entretanto, essa característica já foi observada em outros estudos, como os de Pirovani *et al.* (2021; 2022) e Rodrigues *et al.* (2023). Esses autores, ao realizarem avaliações moleculares com diversos genótipos de mamoeiro, esperavam que as linhagens apresentassem uma fixação alélica igual a 1,00; no entanto, estudos de caracterização molecular indicam um nível de fixação alélica abaixo do esperado para a linhagem JS-12, evidenciando a existência de variabilidade. Diante disso, são recomendadas pesquisas relacionadas à purificação dessas linhagens, além de outros ajustes que devem ser incorporados ao programa de melhoramento de mamoeiro da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

A cor é um fator crucial na aceitação dos consumidores e na escolha do fruto no momento da compra. As 532 imagens de 110 acessos de mamoeiro, analisadas pelo método *Earth Mover's Distance* (EMD) e pacote *colordistance* (Weller e Westneat, 2019), foram divididas em cinco grupos distintos quanto à coloração da polpa. As polpas foram comparadas no espaço de cores *CIELab* e os parâmetros L^* , a^* e b^* diferiram conforme os grupos observados, sabendo que as cores são determinadas pela combinação dos parâmetros L^* , a^* e b^* .

O grupo G1 reuniu frutos de polpa amarela, que não são bem aceitos pelos consumidores, pois eles preferem polpas de mamão laranja-avermelhadas ou vermelho-alaranjadas. Essa coloração foi observada nos frutos do grupo G2, especialmente no subgrupo que vai do BGCA08 ao BGCA130. Frutos dos grupos G3, G4 e G5 também apresentaram essa coloração, embora em menor intensidade que o G2, mas ainda assim dentro do padrão aceito pelos consumidores (Figura 4d). Santana, Matsuura e Cardoso (2004), por meio de uma análise sensorial em frutos de mamoeiro, confirmaram a preferência dos consumidores pela coloração mais avermelhada da polpa, ressaltando que essa característica deve ser considerada em programas de melhoramento genético. Nesse quesito, o grupo G2 foi o que mais se destacou.

No entanto, de um modo geral, observou-se que os frutos de polpa amarela (G1) apresentaram maiores valores de b^* e L^* , enquanto os frutos de polpa vermelha-alaranjada (G2) exibiram maiores valores de a^* e menores de L^* , e frutos com cores alaranjadas (G3, G4 e G5) apresentaram valores intermediários para a^* e L^* (Figura 4d). Esses resultados obtidos por análise de imagens digitais corroboram os achados de Chan-Leã *et al.* (2017), que utilizaram um colorímetro portátil.

As imagens digitais utilizando o espaço de cores *CIELab* já são utilizadas em

estudos colorimétricos em mamoeiro, como demonstrado nas pesquisas de Caéz-Ramírez *et al.* (2017) e Chacon *et al.* (2022). Essa técnica se mostra mais econômica que o colorímetro portátil, além de ser tão eficiente quanto. O espaço de cores *CIE Lab* é preferido para análises colorimétricas devido à sua consistência na comparação de cores, considerando atributos como a luminosidade (L^*), que pode influenciar a identificação precisa da cor na imagem (Caéz-Ramírez *et al.*, 2017). Além disso, é uniforme em termos de percepção e independente de dispositivos, refletindo com precisão as diferenças de cor percebidas pelo olho humano (Weller e Westneat, 2019).

O método do histograma das cores presentes nas imagens implementado no pacote *colordistance* (Weller e Westneat, 2019), representa uma abordagem inovadora na caracterização de acessos de mamoeiro, demonstrando eficiência na quantificação da cor da polpa. Além disso, através dessa separação de todas as cores de uma imagem analisada e sua distribuição em um histograma de frequência é possível usar a distância EMD (*Earth Mover's Distance*) para comparar as imagens analisadas dos acessos. Aqui, foram comparadas simultaneamente 532 imagens de polpas quanto à quantidade e distribuição de cor, sendo o resultado uma média das imagens analisadas por acesso.

Este estudo, em sua fase inicial, demonstrou que dados colorimétricos do espaço de cores *CIE Lab*, derivados da análise de imagens digitais RGB são confiáveis para traçar o perfil colorimétrico da polpa do mamoeiro. E foi o primeiro estudo a utilizar imagens juntamente com o pacote *colordistance* para caracterizar a polpa de frutos de mamoeiro. O uso do pacote *colordistance* permitiu a exploração de todas as cores presentes na imagem evitando os problemas relacionados às variações de cores entre pixels. Além disso, elimina a subjetividade e se torna uma alternativa às análises colorimétricas tradicionais.

De fato, o uso desta estratégia permitiu separar as diferenças sutis na coloração da polpa de 110 acessos de mamoeiro que dificilmente métodos de escala de notas para cor conseguiriam. Além disso, é simples, rápido, de baixo custo e quantifica a cor de forma idêntica a imagem analisada (Figura 4a, b, c, d) destacando sua eficiência. Outro ponto importante é que com a cor adquirida no espaço *CIE Lab*, é possível obter os códigos correspondentes no sistema hexadecimal, que permite identificar a cor de maneira fidedigna, pois os códigos refletem a cor do objeto analisado.

Dada a elevada complexidade dos processos em análises convencionais para quantificar o teor de carotenoides totais em frutos de mamoeiro, é essencial buscar métodos mais eficientes e menos onerosos para esta finalidade (Carvalho *et al.*, 2022; Schweiggert *et al.*, 2011). Um exemplo promissor é o uso de sistemas de visão computacional para predizer o índice de maturidade de tangerinas, desenvolvido a partir de imagens digitais (Hadimani; Mittal, 2019). Eles utilizaram técnicas estatísticas, como modelos de regressão linear e mínimos quadrados parciais para predição da maturação dos frutos com alta precisão.

Dessa forma, os próximos passos deste estudo incluirão a determinação dos teores de ácido ascórbico e de carotenoides presentes nas amostras de polpa dos frutos de mamão analisadas. Buscar-se-á estabelecer correlações entre os dados colorimétricos da polpa e o teor dos de carotenoides e ácido ascórbico visando desenvolver modelos preditivos, para estimar ou até mesmo quantificar o teor de carotenóides em frutos de mamoeiro com base em imagens digitais.

A elaboração de modelos de predição requer uma série de cuidados para garantir a precisão e a utilidade dos resultados. Entre os cuidados necessários com as imagens está um sistema de aquisição de imagens equipado com uma boa iluminação, *colorchecker*, para calibrar e corrigir as cores, além de câmeras digitais configuradas, pacotes de *softwares* de processamento ou análise de imagens (Mendonza *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2024).

Além de serem utilizadas na elaboração do modelo de preditivos, as imagens juntamente com dados colorimétricos, poderão ser incluídas no banco de dados online Alelo Vegetal da Embrapa onde os dados de todos os bancos de Germoplasma da Embrapa estão cadastrados (<https://alelo.cenargen.embrapa.br/>).

Neste estudo, ao quantificar a severidade da doença pinta-preta em folhas e frutos de mamoeiro, foram formados seis grupos para as folhas e sete para os frutos, com base na percentagem do índice da doença (Figura 5a-d). Todos os acessos que apresentaram os índices mais baixos de severidade nas folhas (G5) também estavam incluídos entre os acessos com menores índices de severidade nos frutos (G4). No entanto, o inverso não se observou. O menor índice de severidade nas folhas (21,43%) foi observado no acesso BGCA245 (Formosa/intermediário). Nos frutos, o menor índice de severidade (3,57%) foi encontrado tanto no acesso BGCA245 quanto no BGCA67 (Grupo Formosa) (Figura 5).

Com exceção do BGCA177, os acessos com maiores índices de severidade de

pinta-preta nas folhas (G4), não estavam no grupo dos acessos com maiores índices de severidade da doença nos frutos (G5). A exemplo do BGCA261 com índice de severidade de 48,33% e 90%, respectivamente, para folhas (G2) e frutos (G5). As cultivares BS2000, THB e Aliança apresentaram o mesmo índice de severidade nas folhas, mas nos frutos os índices foram diferentes para os frutos. Destas, a cultivar THB foi a mais suscetível nos frutos (77,55%). Assim, diferentes índices de severidade podem ser encontrados tanto em folhas quanto em frutos, conforme também observado por Dianese *et al.* (2007).

O ideal seria identificar acessos resistentes à doença. No entanto, como todos os acessos avaliados apresentaram algum grau de severidade, mas com índices diferentes nas folhas e frutos, é essencial priorizar genótipos com menor severidade de doenças nos frutos para atender às exigências do mercado por frutos de alta qualidade. Isso também ajuda a reduzir custos com fungicidas que podem levar à resistência de patógenos (Moraes *et al.*, 2021). Contudo, é importante considerar que a doença pode diminuir a área fotossinteticamente ativa das folhas, causando perdas significativas na produção (Vivas *et al.*, 2016). Portanto, a escolha deve equilibrar a severidade da doença tanto nos frutos quanto nas folhas para garantir plantas produtivas e frutos com qualidade comercial.

Fatores ambientais, como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, influenciam a severidade e a incidência de doenças, especialmente as fúngicas, que estão entre os principais desafios fitossanitários da cultura do mamoeiro (Moreira *et al.*, 2020). As condições climáticas da região de Cruz das Almas, durante o período de avaliação da severidade da doença neste estudo, com temperatura média em torno de 27°C e precipitação elevada (INMET, 2024), especialmente entre janeiro e fevereiro de 2024, pode ter contribuído para os índices de doença superiores a 50% nas folhas e 70% nos frutos. Mesmo as condições sendo favoráveis à doença, acessos como BGCA245, BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 e BGCA67 destacaram-se positivamente, pois apresentaram menores índices de severidade da doença nas folhas e frutos.

Recomenda-se continuar o estudo em casa de vegetação com inoculação controlada da doença, pois no campo a distribuição pode ser irregular e causar falsos positivos. O foco deve ser nos acessos que mostraram algum grau de resistência para uma avaliação mais precisa. O BGCA120 se destacou, pois, além de apresentar baixos índices da doença em folhas e frutos, possui frutos de tamanho comercial e cor

da polpa avermelhada que é preferida dos consumidores.

CONCLUSÕES

Os frutos avaliados na análise física e química demonstraram potencial para seleção de grupos com características promissoras relacionadas ao peso do fruto que atendam aos padrões dos tipos Formosa/Intermediário e Solo. Isso permite o direcionamento para o desenvolvimento de híbridos e até mesmo de populações segregantes.

Os parâmetros físicos e químicos que são utilizados como indicador de qualidade de frutos em mamão como a firmeza do fruto, sólidos solúveis e espessura da polpa apresentaram ampla diversidade, abrindo novas possibilidades para utilização no melhoramento da cultura, especialmente entre acessos do grupo G3 para Formosa/intermediário e do G2 para Solo.

A EMD no espaço de cores CIELab agrupou as polpas dos 110 acessos em grupos distintos de cores, de forma eficiente, econômica e eliminando a subjetividade, sendo uma alternativa eficaz para a análise colorimétrica. No grupo G2 a G5, foram reunidos os frutos de coloração avermelhada, que são os mais aceitos pelos consumidores e, portanto, são fontes potenciais para serem utilizadas no melhoramento da cultura.

Em relação à avaliação da doença pinta-preta, os acessos BGCA120, BGCA76, BGCA72, BGCA269 e BGCA67 se destacaram por apresentar os menores índices de severidade da doença tanto nas folhas quanto nos frutos para as condições de clima da cidade de Cruz das Almas, BA no período avaliado. Esses acessos demonstram ser promissores para serem utilizados em estudos de resistência à pinta-preta, com destaque para o acesso BGCA120 que apresentou também boas características relacionadas ao formato, tamanho de fruto e polpa e cor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA-HERNÁNDEZ, J. G. *et al.* Review **Sex Determination in Papaya: Current Status and perspectives**. Plant Science, p. 111814, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2023.111814>

BARRETO, L. F. *et al.* Avaliação de fungicidas no controle de *Asperisporium caricae* na cultura do mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 399-403, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500051>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 4, de 22 de janeiro de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jan. 2010. Seção 1, p. 8.

BUDIYANTI, T. *et al.* Genetic variability of single, double and three-way cross hybrids in papaya (*Carica papaya*). **International Journal of Conservation Science**. v. 12, n. 3, p. 1179-1188, jul.-set. 2021. Disponível em: https://ijcs.ro/public/IJCS-21-88_Budiyanti.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

CÁEZ RAMÍREZ, G. *et al.* Digital image analysis and fractal metrics as potential tools to monitor colour changes in fresh-cut papaya (*Carica papaya* L.). **International journal of food properties**, v. 20, n. sup1, p. S177-S189, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1293090>

CARDOSO, D. L. *et al.* Heterosis in papaya: inter and intragroup analysis. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 610-619, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-279/13>

CARVALHO, E. M. L. *et al.* Características físico-químicas e sensoriais de frutos de híbridos e linhagens elites de mamoeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 121-130, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n1p121>

CARVALHO, R. R. B. *et al.* Image-based phenotyping of cassava roots for diversity studies and carotenoids prediction. **PLoS One**, v. 17, n. 1, p. e0263326, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263326>

CHACON, W. D. C. *et al.* Image analysis applied to control postharvest maturity of papayas (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 11, p. e16999, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16999>

CHAN-LEÓN, A. C. *et al.* The high content of β -carotene present in orange-pulp fruits of *Carica papaya* L. is not correlated with a high expression of the CpLCY- β 2 gene. **Food Research International**, v. 100, p. 45-56, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.017>

CHUNG, S. W. *et al.* Spatial and compositional variations in fruit characteristics of papaya (*Carica papaya* cv. Tainung No. 2) during ripening. **Plants**, v. 12, n. 7, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/7/1465>. Acesso em: 10 ago. 2024.

COSTA, A.; MARTINS, D. S. A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção. 2015. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/924>

DIANESE, A. C. *et al.* Reação de genótipos de mamoeiro à varíola e à podridão-do-pé. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 419-423, 2007. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582007000500008>

FARINA, V. *et al.* Physicochemical, nutraceutical and sensory traits of six papaya (*Carica papaya* L.) cultivars grown in greenhouse conditions in the Mediterranean

climate. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 501, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040501>

FELTRIN SEMENTES. Mamão Calimosa. Disponível em: <<https://www.sementesfeltrin.com.br/produtos/mam-o-calimosa/432>>. Acesso em: 24 set. 2024.

FRANCELINO, H. O. *et al.* Diagrammatic scale for the quantification of black spot severity in papaya leaves. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, p. e60970, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.60970>

GU, Z. *et al.* "Circlize" implements and enhances circular visualization in R. 2014. Disponível em: [10.1093/bioinformatics/btu393](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu393)

HADIMANI, L.; MITTAL, N. Development of a computer vision system to estimate the colour indices of Kinnow mandarins. **Journal of food science and technology**, v. 56, p. 2305-2311, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03641-9>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Produção agrícola municipal -PAM: 2019. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Normais Climatológicas (1961-1990). 2024.

JESUS, O. N. *et al.* Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 110573, Jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110573>

KASSAMBARA, A. ggpubr: 'ggplot2' based publication ready plots. R package version, p. 2, 2018.

KUMAR, S.; STECHER, G.; TAMURA, K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. **Molecular Biology and Evolution**, v. 33, n. 7, p. 1870-1874, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>

LUZ, L. N. *et al.* Sensory acceptance and qualitative analysis of fruits in papaya hybrids. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 04, p. 3693-3703, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170111>

MCKINNEY, H. H. A new system of grading plant diseases. *J. Agric. Res*, v. 26, n. 2, p. 195-218, 1923.

MENDOZA, F. A.; KELLY, James D.; CICHY, K. A. Automated prediction of sensory scores for color and appearance in canned black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) using machine vision. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 1, p. 83-99, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1136939>

MIRANDA, D. P. *et al.* Topcross hybrids in papaya (*Carica papaya* L.): evaluation of

the potential for increasing fruit quality in new cultivars. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 11, p. 1473-1486, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1905799>

MORAES, R. *et al.* Selection for papaya resistance to multiple diseases in a base population of recurrent selection. **Euphytica**, v. 217, n. 10, p. 188, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02919-4>

MORAIS, P. L. D. *et al.* Pós-colheita de mamão híbrido UENF/Caliman 01 cultivado no Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 666-670, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300046>

MOREIRA, T. R. *et al.* Thermal favorability for the *Oidium caricae* and *Asperisporium caricae* in areas of edaphoclimatic aptitude for the *Carica papaya*. **Journal of Thermal Biology**, v. 92, p. 102648, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102648>

NASCIMENTO, A. L. *et al.* Evaluation of new papaya hybrids. 2018. Disponível em: [10.5897/AJAR2018.13165](https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13165)

PEREIRA, L. F. S. *et al.* Predicting the ripening of papaya fruit with digital imaging and random forests. **Computers and electronics in agriculture**, v. 145, p. 76-82, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.029>

PEREIRA, M. G. *et al.* 'UC14': a new papaya cultivar with intermediate fruit size. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 2, p. 226-229, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n2c31>

PIRES, C. J. *et al.* Genetic diversity in accessions of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) determined from agro-morphological descriptors and SSR markers for use in breeding programs in Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, p. 973-986, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01272-8>.

PIROVANI, A. A. V. *et al.* Is there a possibility to improve a developed hybrid? A current demand on papaya (*Carica papaya* L.). **Euphytica**, v. 218, p. 1-16, 2022. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-022-03014-y>

PIROVANI, A. A. V. *et al.* MOLECULAR CHARACTERIZATION OF ELITE LINES OF PAPAYA (*Carica papaya* L.) VIA SSR MARKERS. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 3, p. 49-56, 2021.

PIROVANI, A. A. V. *et al.* New source of alleles for resistance to black spot and phoma spot in papaya (*Carica papaya* L.). **Euphytica**, v. 217, n. 6, p. 132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02863-3>

PRIYA, U. *et al.* Molecular Detection of Papaya ringspot virus and Associated Complexities in Papaya and Cucurbits. **Applied Fruit Science**, p. 1-7, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01055-2>

QUEIROZ, R. F. *et al.* Relationships Between Physical–Chemical Parameters and Physiological Maturation Stages of Formosa Papaya Growing in a Tropical Semiarid

Climate. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40011-024-01654-9>.

R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

RODRIGUES, A. S. *et al.* Intra-genotypic variability in elite parent lines of papaya. **ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS**, v. 95, p. 1-11, 2023.

RODRIGUES, J. P. *et al.* Current technologies to control fungal diseases in postharvest papaya (*Carica papaya* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102128, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102128>

SANTANA, J. G. S. *et al.* Exploring genetic diversity in inbred papaya lines for fruit quality in advanced stage of improvement. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 13431, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40613-8>

SANTANA, J. G. S. *et al.* Genotype analysis by trait is a practical and efficient approach on discrimination of inbred lines and identification of papaya (*Carica papaya* L.) ideotypes for fruit quality. **Euphytica**, v. 217, n. 129, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-021-02850-8>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SANTANA, L. R. R.; MATSUURA, F. C.; CARDOSO, R. L. Genótipos melhorados de mamão (*Carica papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. **Food Science and Technology**, v. 24, p. 217-222, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000200010>

SCHWEIGGERT, R. M. *et al.* Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1373-1380, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.029>

SERAFINI, S. *et al.* Aspectos e peculiaridades da produção comercial de mamão (*Carica papaya* Linnaeus) no Brasil: estratégias para o futuro da cultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20551>

SILVA JÚNIOR, E. V. *et al.* Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. **Lwt**, v. 97, p. 317-322, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.017>

SILVA, C. A. *et al.* Genetic diversity among papaya accessions. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 23, p. 2041-2048, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12387>

SOKAL, R. R., & ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, p. 33-40, 1962.

SOTO, M. *et al.* Selection of optimal ripening stage of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and vacuum frying conditions for chips making. **CyTA-Journal of Food**, v. 19, n. 1, p. 273-286, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1893823>

VARGAS-TIERRAS, Y. B. *et al.* Comparison of fruit quality traits of papaya (*Carica papaya* L.) genotypes from Shushufindi and La Joya de los Sachas, Ecuador. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 22, n. 1, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1930

VASUGI, C. *et al.* Melhoramento genético de nutracêuticos em mamão (*Carica papaya* L.). **In:** KOLE, C. (ed.). Compêndio de design de genoma de culturas para nutracêuticos. Cingapura: Springer, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3627-2_39-1. Acesso em: 10 ago. 2024.

VAWDREY, L. L.; GRICE, K. R. WESTERHUIS, D. Field and laboratory evaluations of fungicides for the control of brown spot (*Corynespora cassiicola*) and black spot (*Asperisporium caricae*) of papaya in far north Queensland, Australia. *Australasian Plant Pathology*, v. 37, n. 6, p. 552-558, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AP08055>

VIANA, E. S. *et al.* Avaliação físico-química e sensorial de genótipos melhorados de frutos de mamão. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535008>

VIVAS, M. *et al.* Escala diagramática para avaliação da severidade da pinta-preta em frutos de mamoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 36, p. 161-163, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052010000200010>

VIVAS, M. *et al.* Heterosis and genetic diversity for selection of papaya hybrids for resistance to black spot and phoma spot. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, p. 380-389, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0109-1>

WANG, Z. *et al.* Phenotyping the Anthocyanin Content of Various Organs in Purple Corn Using a Digital Camera. **Agriculture**, v. 14, n. 5, p. 744, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14050744>

WELLER, H. I.; WESTNEAT, M. W. Quantitative color profiling of digital images with *earth mover's distance* using the R package *colordistance*. **PeerJ**, v. 7, p. e6398, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.7717/peerj.6398>

YANG, H. *et al.* Mass and volume estimation of diverse kimchi cabbage forms using RGB-D vision and machine learning. **Postharvest Biology and Technology**, v. 218, p. 113130, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113130>