

DIVERSIDADE GENÉTICA DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE
Psidium spp. E SELEÇÃO DE CLONES RESISTENTES À
FERRUGEM VIA MODELOS MISTOS

LETÍCIA DA SILVA ARAÚJO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO – 2023

DIVERSIDADE GENÉTICA DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE
Psidium spp. E SELEÇÃO DE CLONES RESISTENTES À
FERRUGEM VIA MODELOS MISTOS

LETÍCIA DA SILVA ARAÚJO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Genética e Melhoramento
de Plantas.

Orientador: Prof. Alexandre Pio Viana

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO – 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

A663

Araújo, Letícia da Silva.

DIVERSIDADE GENÉTICA DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE *Psidium* spp. E SELEÇÃO DE CLONES RESISTENTES À FERRUGEM VIA MODELOS MISTOS / Letícia da Silva Araújo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

96 f. : il.

Bibliografia: 64 - 83.

Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.
Orientador: Alexandre Pio Viana.

1. *P. cattleianum*. 2. *P. guineense*. 3. *Austropuccinia psidii*. 4. Ward. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

DIVERSIDADE GENÉTICA DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE
Psidium spp. E SELEÇÃO DE CLONES RESISTENTES À
FERRUGEM VIA MODELOS MISTOS

LETÍCIA DA SILVA ARAÚJO

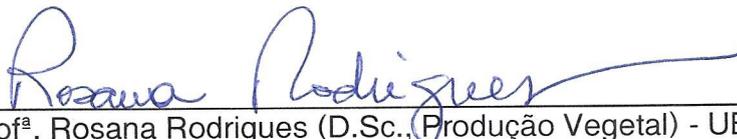
“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Genética e Melhoramento
de Plantas.”

Aprovada em 08 de maio de 2023.

Comissão Examinadora:



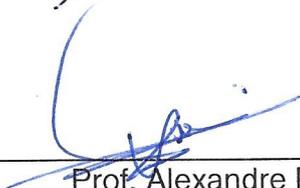
Prof. Willian Krause (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UNEMAT



Prof^a. Rosana Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF



Prof. Silvaldo Felipe da Silveira (D.Sc., Agronomia) - UENF



Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Fleury Alcanfôr de Araújo (*in memoriam*) e Neci da Silva Araújo, à minha avó Maria Brito da Silva e aos meus irmãos Flávio Silva Araújo e Luiz Carlos Silva Araújo, pelo imenso amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua bondade e misericórdia.

À minha família, por todo o incentivo e suporte.

Ao meu querido Wallace, pelo carinho, paciência, amor e incentivo em todo o tempo.

Aos meus colegas e conterrâneos Elton Ferreira, Ruth e Priscila.

Ao meu orientador, professor Alexandre Pio Viana, pela orientação, suporte e direcionamento ao longo desses quatro anos de pesquisa.

Aos professores Silvaldo Felipe da Silveira (coorientador) e Marcelo Vivas (conselheiro), por todos os ensinamentos e contribuições durante este trabalho.

À professora Rosana, por toda a colaboração nesta pesquisa, por sempre ser gentil e por toda a sabedoria transmitida durante os seis anos de pós-graduação.

Ao professor Willian Krause, por aceitar participar da banca avaliadora da tese.

À professora Luciana, por gentilmente ceder espaço em sua casa de vegetação para a implementação do experimento.

A todos os colegas de laboratório que, ao longo dos quatro anos, compartilharam momentos felizes e também aqueles não tão felizes, são eles: Andressa, Beatriz, Débora, Eileen, Flávia, Felipe, Joameson, Julie, Lucas, Lidiane, Luís, Moisés, Natan, Natália, Thaís, Rodrigo.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e, em especial, ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas.

Ao secretário do PPG José Daniel, por estar sempre solícito, atencioso e incentivador.

Aos professores do PPGMP, pelos ensinamentos ao longo destes seis anos.

Aos técnicos de campo José Manoel, Durval e Adrienny, pelo apoio na área experimental e realização das práticas de manejo.

Aos colegas Moisés Ambrósio e Rafael Almeida, pelo suporte nas análises dos dados.

Às agências de fomento científico Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento dos projetos de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa - Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colaboradores que estiveram presentes ao longo desses quatro anos de doutoramento.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivos gerais	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. CAPÍTULOS	6
3.1. DIVERSIDADE GENÉTICA EM CRUZAMENTOS	
INTERESPECÍFICOS DE <i>Psidium spp.</i> VIA ANÁLISE MULTIVARIADA	6
3.1.1 INTRODUÇÃO	6
3.1.2 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1.2.1 Aspectos gerais das espécies <i>P. guajava</i> , <i>P. guineense</i> e <i>P. cattleianum</i>	9
3.1.2.1.1 <i>Psidium guajava</i> – Usos diversos, aspectos citogenéticos e morfobotânicos.	10
3.1.2.1.2 <i>Psidium guineense</i> Swartz – Usos diversos, aspectos citogenéticos e morfobotânicos.	12
3.1.2.1.3 <i>Psidium cattleianum</i> Sabine – Usos diversos, aspectos citogenéticos e morfobotânicos.	14
3.1.2.2 Métodos de análise multivariada	16
3.1.2 MATERIAIS E MÉTODOS	17

3.1.3.1	Caracterização agrônômica dos cruzamentos interespecíficos de <i>Psidium</i> L.....	17
3.1.3.2	Diversidade genética em híbridos de <i>Psidium</i> spp. via análise multivariada	26
3.1.2.3	Diversidade genética em híbridos de <i>Psidium</i> spp. via análise de componentes principais (PCA).	27
3.1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1.4.1	Análise de dissimilaridade de cruzamentos interespecíficos de <i>Psidium</i> spp. com base em descritores de flores	28
3.1.4.2	Análise de componentes principais para as características contínuas de flores de <i>Psidium</i> spp.	31
3.1.4.3	Análise de dissimilaridade de cruzamentos interespecíficos de <i>Psidium</i> spp. com base em descritores de frutos	34
3.1.4.4	Análise de componentes principais para as características contínuas de frutos de <i>Psidium</i> spp.	37
3.1.5	CONCLUSÕES	40
3.2	SELEÇÃO DE CRUZAMENTOS INTERESPECÍFICOS DE <i>Psidium</i> spp RESISTENTES À FERRUGEM DAS MIRTÁCEAS	42
3.2.1	INTRODUÇÃO	42
3.2.2	REVISÃO DE LITERATURA	45
3.2.2.1	Histórico do programa de melhoramento genético de goiabeira da UENF	45
3.2.2.2	Ferrugem das Mirtáceas.....	47
3.2.2.3	Modelos lineares mistos no melhoramento genético de plantas perenes	48
3.2.3	MATERIAL E MÉTODOS	49
3.2.3.1	População avaliada	49
3.2.3.2	Área de estudo, delineamento e condução experimental.....	51
3.2.3.3	Inoculação	51
3.2.3.4	Análise Estatística	54
3.2.3.4.1	Resistência ao fungo e estimativas de parâmetros genéticos via REML/BLUP	54
3.2.3.4.2	Análise via modelos mistos (REML/BLUP)	55
3.2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57

3.2.4.1 Seleção individual de clones	60
3.2.5 CONCLUSÕES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

RESUMO

ARAÚJO, Letícia da Silva; D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; maio de 2023; DIVERSIDADE GENÉTICA DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE *Psidium* spp. E SELEÇÃO DE CLONES RESISTENTES À FERRUGEM VIA MODELOS MISTOS. Orientador: Prof. Alexandre Pio Viana; Conselheiros: Prof. Silvaldo Felipe da Silveira e Prof. Marcelo Vivas.

A ferrugem das mirtáceas é uma doença importante que acomete a cultura da goiabeira. Até o momento, não há cultivares resistentes à ferrugem. Objetivou-se nesse trabalho estimar a divergência genética de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* via descritores de flores e frutos e selecionar os clones resistentes à ferrugem via modelos mistos. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, estudou-se a divergência genética de plantas de hibridação interespecíficas de *P. cattleianum*, *P. guajava* e *P. guineense*. Foram avaliados oitenta e cinco clones. As plantas foram mantidas em vasos de 40L, localizados em casa de vegetação no Colégio Agrícola Antônio Sarlo, Campos dos Goytacazes – RJ. Cinco flores e frutos por clone foram avaliados. Foram avaliados dezessete descritores para flores e vinte e seis para frutos. Foi utilizado o índice de Gower e o método de agrupamento de Ward. Posteriormente, foram estimados os componentes principais. Dois grupos foram formados com base em descritores de flores e cinco grupos com base nos descritores dos frutos. Descritores de flores de *Psidium* foram menos eficientes para a quantificação da diversidade genética. Descritores de frutos foram mais promissores para a

quantificação da diversidade genética de *Psidium* spp. Os clones mais divergentes podem ser utilizados em futuras combinações. As características com maiores contribuições foram: comprimento de pétala, comprimento do estilo e largura da pétala para descritores de flores e relação comprimento/largura; espessura externa em relação ao diâmetro do centro e comprimento do pedúnculo, para descritores de frutos. O segundo capítulo objetivou selecionar plantas de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. resistentes à ferrugem via modelos mistos. O experimento teve 24 cruzamentos interespecíficos e a testemunha. O delineamento experimental consistiu em blocos ao acaso com quatro repetições e uma planta por parcela, mantidas em vaso com capacidade para 20L. A coleta dos esporos ocorreu no pomar localizado no Colégio Agrícola Antônio Sarlo, Campos dos Goytacazes – RJ. Os esporos foram aspirados por meio de uma bomba de vácuo. Foi feita a contagem dos esporos e utilizada uma suspensão com concentração de $1,8 \times 10^5$ uredíniosporos.mL⁻¹. Os dois primeiros pares de folhas foram inoculados. O ramo inoculado foi mantido em câmara úmida com umidade superior a 90% e o escuro nas 24h seguintes. Foram avaliados o período latente, o período infeccioso, contado em dias. Foi avaliada também a incidência da doença, observando na área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), por meio do número de pústulas no ramo inoculado. Foram feitas a análise de deviance, a estimação dos parâmetros genéticos, a predição dos ganhos e, por fim, os clones foram ranqueados e selecionados. Os valores das variâncias genéticas e ambientais e herdabilidade em sentido amplo variaram de médio a alto. O índice de variação indicou chances de ganhos com a seleção. As herdabilidades médias dos clones e a acurácia apresentaram valores elevados. O uso dos modelos mistos revelou a existência de variabilidade genética para resistência à ferrugem. Os clones provenientes dos cruzamentos Cv1x Cv11 e Cv8 x Cv11 foram imunes à ferrugem. Foi detectada variabilidade no cruzamento P36 x P11 com clones resistentes e suscetíveis. Os clones 11, 16, 17 e 19 desse cruzamento foram selecionados para resistência à ferrugem. Os resultados aqui obtidos indicam a seleção de cruzamentos interespecíficos imunes e resistentes à ferrugem para uso em futuras recombinações com genótipos superiores de *P. guajava*.

Palavras – chave: *P. cattleianum*; *P. guineense*; *Austropuccinia psidii*; Ward.

ABSTRACT

ARAÚJO, Leticia da Silva; D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; April, 2023; May 2023; GENETIC DIVERSITY OF INTERSPECIFIC HYBRIDS OF *Psidium* spp. AND SELECTION OF RUST-RESISTANT CLONES VIA MIXED MODELS Advisor: Prof. Alexandre Pio Viana; Advisors: Prof. Silvaldo Felipe da Silveira and Prof. Marcelo Vivas.

Myrtle rust is an important disease that affects guava plantations. So far, there are no cultivars resistant to rust. The objective of this study was to estimate the genetic divergence of interspecific crosses of *Psidium* using flower and fruit descriptors and to select rust-resistant clones using mixed models. For that, two experiments were conducted. In the first experiment, the genetic divergence of plants derived from interspecific hybridization of *P. cattleianum*, *P. guajava*, and *P. guineense* was studied. Eighty-five clones were evaluated. The plants were kept in 40L pots, located in a greenhouse at the Antonio Sarlo Agricultural College, Campos dos Goytacazes - RJ. Five flowers and fruits per clone were evaluated. Seventeen descriptors for flowers and twenty-six descriptors for fruits were evaluated. Gower's index and Ward hierarchical method were used. Additionally, principal components analysis was estimated. Two groups were formed based on flower descriptors, and five groups were formed based on fruit descriptors. Genetic variability was detected among 85 *Psidium* spp. clones. Flower descriptors of *Psidium* were less efficient in quantifying genetic diversity. Fruit descriptors were more promising for quantifying genetic diversity in interspecific crosses of *Psidium* spp. The most divergent clones can be used in future cross combinations. The

characteristics with the highest contributions to genetic diversity were petal length, style length, and petal width for flower descriptors, and the length/width ratio, external thickness in relation to the center diameter, and peduncle length for fruit descriptors. The second chapter aimed to select rust-resistant plants from interspecific crosses of *Psidium* spp. using mixed models. The experiment consisted of 24 interspecific crosses and a control. The experimental design was randomized blocks with four unbalanced replications and one plant per plot, and the plants were kept in 20L pots. The inoculum source was obtained from the orchard located at the Antonio Sarlo Agricultural College, Campos dos Goytacazes - RJ. The spores were aspirated using a vacuum pump. The spore count was conducted, and a spore suspension with a concentration of 1.8×10^5 urediniospores/mL was used. The two first pairs of young leaves were inoculated. The inoculated branch was kept in a humid chamber with humidity above 90% and in darkness for the following 24 hours. The latent and infectious periods were evaluated in days. The disease incidence was also evaluated by observing the area under the disease progress curve (AUDPC), determined by the number of pustules on the inoculated branch. Deviance analysis, genetic parameter estimation, gain prediction, and subsequent ranking and selection of clones were performed. The values of genetic and environmental variances and broad-sense heritability varied from medium to high. The variation index indicated chances of gains with selection. The average heritability of the clones and accuracy showed high values. The use of mixed models revealed the existence of genetic variability for rust resistance. Clones from the Cv1x Cv11 and Cv8 x Cv11 crosses were immune to the pathogen. Variability was detected in the P36 x P11 cross with resistant and susceptible clones. Clones 11, 16, 17, and 19 from this cross were selected for rust resistance. The results obtained herein indicate the selection of interspecific crosses that are immune and resistant to rust, to be used in future recombination with superior genotypes of *P. guajava*.

Key-words: *P. cattleianum*; *P. guineense*; *Austropuccinia psidii*; Ward.

1.INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com um grande potencial agrícola na área da fruticultura tropical. No entanto, ao longo das últimas décadas, tem perdido posições no ranking mundial de produção de frutas, atualmente ocupando o terceiro lugar, com uma produção anual de 39.758.842 toneladas (FAO, 2020). Esse número ainda está abaixo dos volumes produzidos pela China e Índia.

Dentro do setor de fruticultura brasileira, a goiabeira ganha destaque em nível nacional. No ano de 2021, o país registrou uma produção total de 552.393 toneladas de frutos colhidos. Os estados de Pernambuco, São Paulo, Bahia, Paraná, Minas Gerais, Ceará e Rio de Janeiro se destacam como os principais produtores (IBGE, 2022).

O gênero *Psidium* Linneaus, 1753 abrange aproximadamente de 60 a 100 espécies (Landrum e Kawasaki, 1997; Govaerts et al., 2008), sendo que 38 dessas espécies são endêmicas do Brasil (Proença, 2023). Entre essas espécies, destacam-se *P. guineense* Swartz e *P. cattleianum* Sabine, que são araçás amplamente distribuídos pelo país (Bezerra et al., 2006; Proença, 2023). Além disso, a espécie *P. guajava* Linneaus, 1753 é considerada a de maior importância econômica no gênero em razão da presença de variedades comerciais (Pereira et al., 2003).

Ao longo de muitos anos, essas espécies despertaram interesse dos pesquisadores no sentido de determinar e caracterizar seus compostos bioquímicos (Marques et al., 2008; Moresco et al., 2012; Ferreira et al., 2011;

Rodrigues et al., 2014; Senanayake et al., 2018; Abrão et al., 2021). No entanto, mais recentemente, devido ao avanço de pragas que impactam economicamente a cultura da goiabeira, os estudos têm sido direcionados para a busca de resistência dentro da variabilidade do gênero (Almeida et al., 2009; Miranda et al., 2012).

A goiabeira é acometida por algumas doenças que, caso não sejam controladas, podem limitar seu cultivo. A principal doença da cultura é conhecida pelo declínio da goiabeira, sendo ocasionada por uma associação entre um nematoide e um fungo (*Meloidogyne enterolobii* (Yang & Eisenback, 1983) e *Fusarium solani*) (Gomes et al., 2011). Outra doença de relevância para a cultura da goiabeira é a ferrugem das mirtáceas que tem como agente etiológico o fungo *Austropuccinia psidii* (Beenken, 2017), descrito pela primeira vez por Winter em 1884, com o nome de *Puccinia psidii*. Esse fungo está amplamente distribuído por todo o continente americano (Winter, 1884; Di Stéfano et al., 1998) e coloniza diversos gêneros de plantas da família Myrtaceae (Mendes e Urben, 1998), com potencial para extermínio de áreas de cultivo, como relatado para as culturas do eucalipto (Demuner e Alfenas, 1991) e goiabeira (Ferrari et al., 1997; Rocabado, 1998). Até o momento, a medida de controle disponível para essa doença é a aplicação de fungicidas.

As primeiras cultivares de goiabeira no Brasil, que incluem Kumagai, Ogawa, Pedro Sato, Sassaoka e Paluma, foram desenvolvidas com foco na seleção de características relacionadas à qualidade dos frutos para fins comerciais (Pereira e Nachtigal, 2003). No entanto, essas cultivares não apresentam resistência à ferrugem.

As espécies silvestres têm um grande potencial no melhoramento genético, sendo fontes de resistência a doenças. Nesse contexto, a espécie silvestre *P. cattleianum* destaca-se por apresentar resistência ao nematoide *M. enterolobii* (Carneiro et al., 2007; Almeida et al., 2009; Miranda et al., 2012), tornando-a uma candidata ideal para programas de melhoramento.

Com o objetivo de desenvolver híbridos interespecíficos resistentes ao nematoide, foram conduzidos cruzamentos entre araçás e goiabas por Gomes et al. (2016). Esses híbridos foram fenotipados quanto à sua resistência a *M. enterolobii* e ao porte de planta (Almeida, 2017) e genotipados via molecular (Santos et al., 2020). Os clones promissores foram selecionados e constituíram a

população de trabalho para caracterização quanto à resistência à ferrugem, bem como fenotipagem via descritores de flores e frutos.

Para conhecer a estrutura de uma população com base em sua similaridade genética, métodos multivariados podem ser aplicados para agrupar indivíduos (Pritchard et al., 2000). Em análise multivariada, os métodos hierárquicos podem ser utilizados para identificar grupos de espécies com características semelhantes (Krebs, 2014). Uma das vantagens dos métodos hierárquicos é a capacidade de visualizar os resultados em forma de dendrograma, que é uma representação gráfica da estrutura hierárquica que permite uma interpretação visual dos agrupamentos (Earle e Hurley, 2015). No entanto, é importante destacar que a escolha do método de agrupamento e da medida de similaridade ou dissimilaridade pode influenciar os resultados obtidos. Além disso, a determinação do número ideal de clusters pode ser um desafio, requerendo uma análise adicional (Mariano Júnior, 2018). Assim, como estratégia de avaliação da diversidade genética na cultura da goiabeira, alguns trabalhos têm utilizado o método de agrupamento de Ward com base nas distâncias obtidas pelo algoritmo de Gower (1971) e número ideal de grupos quantificados via teste de pseudo F e pseudo T^2 (Campos et al., 2013; Quintal et al., 2017; Ambrósio et al., 2022).

Outro método comumente utilizado na análise multivariada é a análise de componentes principais (ACP). Segundo Jolliffe (2002), a ACP é uma técnica estatística que reduz a dimensionalidade dos dados, transformando um conjunto de variáveis correlacionadas em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas, chamadas de componentes principais. Esses componentes são ordenados de acordo com a quantidade de variação explicada em relação às variáveis originais, permitindo uma compreensão simplificada dos dados.

No contexto do melhoramento de plantas, além de quantificar a dissimilaridade populacional, a seleção de genótipos superiores depende do uso de métodos acurados para a quantificação dos parâmetros genéticos. Em espécies perenes, a perda de plantas ao longo dos anos de avaliação pode resultar em um desbalanceamento entre os tratamentos, o que pode comprometer a validade dos pressupostos de normalidade dos resíduos. Nesses casos, uma abordagem que busca fornecer maior precisão de seleção é a utilização dos

modelos lineares mistos, que permitem a comparação entre genótipos de experimentos desbalanceados (Resende, 2004).

Essa estratégia tem sido adotada no melhoramento de plantas frutíferas e florestais para selecionar genótipos superiores resistentes à ferrugem (Pereira et al., 2013; Pinto et al., 2014; Ferreira et al., 2017). A utilização de modelos lineares mistos, como o *Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction* (REML/BLUP), permite lidar de forma mais adequada com os desafios de experimentos desbalanceados, considerando a variabilidade entre os genótipos, bem como os efeitos aleatórios associados aos diferentes fatores experimentais. Isso resulta em estimativas mais precisas dos parâmetros genéticos e, conseqüentemente, em uma seleção mais eficiente de genótipos superiores.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Estimar a divergência genética de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. via descritores de flores e frutos e selecionar os clones de híbridos interespecíficos resistentes à ferrugem via modelos mistos.

2.2. Objetivos específicos

- I. Estimar a diversidade genética dos cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. em populações segregantes via análise multivariada;
- II. Avaliar a estrutura de variação em componentes principais dos cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. em populações segregantes;
- III. Verificar a resistência dos cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. à ferrugem;
- IV. Estimar os parâmetros genéticos via REML/BLUP para as características período latente, período infeccioso e área abaixo da curva de progresso da doença a partir da população segregante de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* L.;
- V. Predizer os valores genéticos para as características período latente, período infeccioso e área abaixo da curva de progresso da doença em população segregante de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* L.; e
- VI. Selecionar e indicar clones de *Psidium* L, resistentes à ferrugem para dar continuidade ao programa de melhoramento genético da goiabeira da UENF.

3. CAPÍTULOS

3.1. DIVERSIDADE GENÉTICA EM CRUZAMENTOS INTERESPECÍFICOS DE *Psidium spp.* VIA ANÁLISE MULTIVARIADA

3.1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido mundialmente pela sua imensa riqueza em biodiversidade e abriga uma considerável quantidade de espécies do gênero *Psidium*. Até o momento, já foram catalogadas 60 espécies do gênero, sendo 38 delas endêmicas no país. Entre essas espécies, está *Psidium cattleianum*, presente nos biomas da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, que pode ser encontrada em diferentes estados do Nordeste, Sudeste e Sul. Por outro lado, temos as espécies *P. guineense* e *P. guajava*, que, embora não sejam endêmicas, têm ampla distribuição, abrangendo todas as regiões do Brasil. Essas espécies são amplamente difundidas, estando presentes em diversos ecossistemas do país, contribuindo para a diversidade ecológica (Figura 1) (Proença et al., 2023).

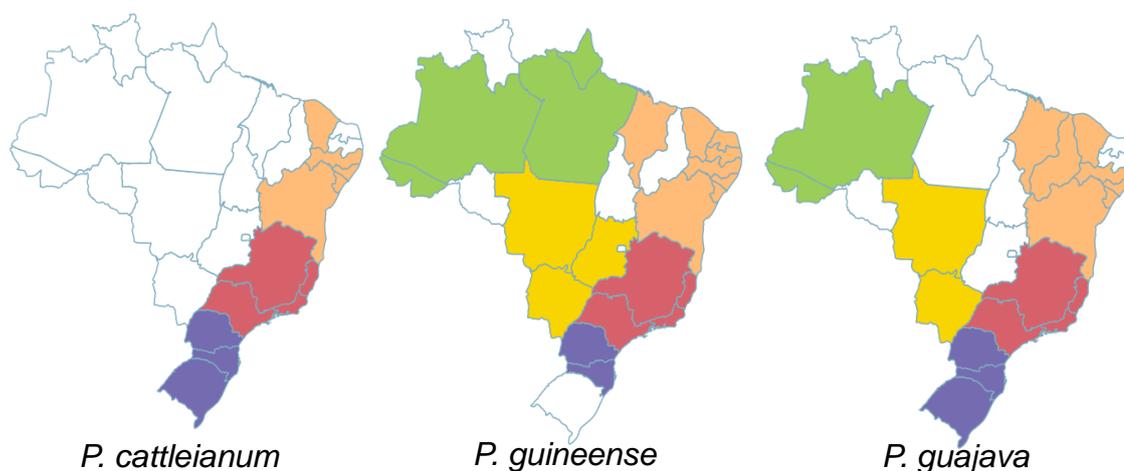


Figura 1. Mapa com a distribuição das espécies *P. cattleianum*, *P. guineense* e *P. guajava*. As cores separam as regiões brasileiras: a cor verde representa a região norte; laranja, a região nordeste; amarela, a região centro-oeste; vermelha, a região sudeste e a azul, a região sul (Fonte: Proença et al., 2023, adaptado).

Algumas espécies do gênero *Psidium* têm despertado grande interesse de estudos pelas suas potenciais características medicinais, casos da *P. cattleianum* (Faleiro et al., 2016; Sangalli et al., 2018; Barradas et al., 2023) e da *P. guineense* (Rodrigues et al., 2014; Beltrame et al., 2021). Além disso, *P. guajava* é reconhecida como a espécie de maior importância econômica, sendo cultivada comercialmente em mais de 60 países (Rajan et al., 2007).

Inicialmente, os estudos sobre as espécies silvestres de *Psidium* concentravam-se na caracterização e divergência genética relacionadas aos perfis fitoquímicos e bioativos de seus compostos (Tucker et al., 1995; Marques et al., 2008; Ho et al., 2012; Moresco et al., 2012; Pereira et al., 2018; Senanayake et al., 2018; Macaúbas-Silva et al., 2021). Mais recentemente, alguns estudos também destacam o potencial da espécie *P. cattleianum* como fonte de resistência a uma praga de grande importância econômica para a cultura da goiabeira, o nematoide *Meloidogyne enterolobii*, que é limitante para o cultivo em áreas onde ocorre (Almeida et al., 2009; Miranda et al., 2012). A presença de *M. enterolobii* foi relatada em áreas do noroeste fluminense, região de produção agrícola significativa de goiabeira, o que levou a restrições no cultivo dessa fruta nessa região (Lima et al., 2003; Souza et al., 2007). Essa situação despertou o interesse para a busca de espécies resistentes a esse nematoide.

A limitação do cultivo da goiabeira ocasionada pela presença deste nematoide na região norte e noroeste fluminense despertou a busca por fontes de resistência a essa praga. Assim, com o intuito de conhecer a variabilidade interespecífica do gênero *Psidium*, foram coletados acessos de araçazeiros na região norte e noroeste fluminense e caracterizados quanto ao florescimento, flores, frutos e sementes (Bremenkamp, 2015).

Parte desses acessos avaliados por Bremenkamp (2015) foram utilizados como material genético em cruzamentos interespecíficos entre *P. guajava*, *P. cattleianum* e *P. guineense*. Embora *P. guajava* seja uma espécie comercial, ela não apresenta resistência ao nematoide, ao passo que *P. cattleianum* apresenta essa resistência. As espécies *P. guajava* e *P. cattleianum* apresentam níveis de ploidia diferentes: *P. guajava* é diploide $2n=2x=22$ (Hirano e Nakasone, 1969) e *P. cattleianum*, poliploide $2n=3x=66$ (Tuler et al., 2019). A diferença de ploidia pode afetar a viabilidade dos cruzamentos entre essas espécies (Costa et al., 2012). Já a espécie *P. guineense* apresenta uma boa compatibilidade para cruzamento entre as espécies *P. cattleianum* e *P. guajava* (Costa et al., 2012). Assim, cruzamentos biparentais entre essas três espécies foram obtidos para avaliação de resistência ao nematoide das galhas.

Em todos os cruzamentos, a espécie *P. cattleianum* (resistente ao nematoide) estava presente, ora como genitor feminino, ora como masculino, resultando em 917 híbridos que foram caracterizados morfológicamente em relação a características de plantas, folhas, massa fresca e seca da parte aérea e raiz e volume da raiz (Almeida, 2017). Adicionalmente, foram conduzidos estudos sobre a herança da resistência ao *M. enterolobii*, uma característica determinada por múltiplos genes. Os híbridos resistentes ao nematoide foram selecionados por Gomes et al. (2016) e seguiram para continuidade do programa de melhoramento.

A compreensão da diversidade genética é fundamental para programas de melhoramento de plantas por permitir estimar a magnitude da variabilidade genética das populações e por obter informações relevantes para o uso e preservação dos recursos genéticos (Cruz et al., 2014). Em espécies frutíferas, informações referentes à fenologia como florescimento e frutificação são imprescindíveis, especialmente em experimentos envolvendo hibridação interespecífica, pois auxiliam na escolha de genótipos promissores para etapas subsequentes de um programa de melhoramento genético (Souza, 2012).

Para a caracterização de germoplasma, muitas informações são tomadas, sendo fundamental a escolha do método ideal de análise. Os métodos de análise multivariada, como agrupamento hierárquico e análise de componentes principais, têm sido utilizados com sucesso na quantificação da divergência genética. O método de agrupamento de Ward, em particular, tem se mostrado promissor (Rivero-Maldonado, 2013; Jarwar et al., 2019). Por sua vez, a análise de componentes principais (PCA) é uma técnica multivariada utilizada para entender as inter-relações entre um grande número de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões, condensando a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor sem perda mínima de informação (Hair Jr. 2009). Essa análise se mostra versátil e com potencial para ser utilizada na caracterização de germoplasma de *Psidium* spp (Mehmood et al., 2014; Kumaki et al., 2018) e de maracujazeiro (Jesus et al., 2022), para agrupar populações de *P. cattleianum* de acordo com a quantidade de óleos essenciais presente na espécie (Silvestre et al., 2022), entre outros.

Com a finalidade de dar continuidade ao programa de melhoramento genético da goiabeira da UENF, este trabalho tem como objetivo estimar a divergência genética de cruzamentos interespecíficos de *Psidium*, por meio da análise multivariada de descritores de flores e frutos.

3.1.2 REVISÃO DE LITERATURA

3.1.2.1 Aspectos gerais das espécies *P. guajava*, *P. guineense* e *P. cattleianum*

A família Myrtaceae pertence à ordem Myrtiliferae, compreendendo, aproximadamente, 140 gêneros, com 3500 espécies (Sobral et al., 2014). Essa família é encontrada em três centros de diversidade, que compreendem a Austrália, o Sudeste Asiático e as Américas (Govaerts et al., 2008), incluindo plantas com importância econômica como eucalipto e frutíferas como a goiabeira e araçás. São relatadas cerca de 65 espécies em território brasileiro (Proença et al., 2023), com destaque para as espécies *P. guajava* Linnaeus (goiaba), *P.*

cattleianum Sabine (araçá-doce, araçá-de-praia ou araçá-de-coroa) e *P. guineense* Swartz (araçá-azedo) (Pereira e Nachtigal, 2003).

3.1.2.1.1 *Psidium guajava* – Usos diversos, aspectos citogenéticos e morfobotânicos.

Psidium guajava é a espécie de maior importância econômica do gênero *Psidium* por ter atributos agrônomo para comercialização, estando presente em diversos países com diferentes cultivares (Tabela 1) (Singh, 2011).

Tabela 1. Lista de algumas cultivares populares de goiaba cultivadas em diferentes países.

País	Cultivares
Índia	'Allahabad Safeda', 'Lucknow-49' (syn. 'Sardar'), 'Banarsi Surkha', 'Apple Colour', 'Chittidar', 'Nasik', 'Dholka', 'Dharwar', 'Habshi', 'Seedless', 'Red Fleshed', 'Behat Coconut', 'Hisar Safeda'
Paquistão	'Safeda', 'Allahabad', 'Lucknow-49', 'Red Fleshed', 'Seedless', 'Karela', 'Apple Colour'
México	'Media China', 'Regional de Calvillo', 'China', 'La Labor', 'Acaponeta', 'Coyame', 'Kumagai', 'Paluma', 'Rica', 'White Ogawa', 'Red Ogawa'
Brasil	'Paluma', 'Rica', 'Pedro Sato', 'Kumagai', 'Ogawa', 'Sassaoka', 'Yamamoto', 'Século XXI', 'Cortibel'
Egito	'Bassateen El Sabahia', 'Bassateen Edfi na', 'Allahabad Safeda'
Tailândia	'Beaumont', 'Okinawa', 'Glom Sali', 'Glom Toon Klau', 'Khao Boon Soom'
Colômbia	'Puerto Rico', 'Rojo Africano', 'Extranjero', 'Trujillo'
Indonésia	'Indonesian Seedless', 'Indonesian White'
Malásia	'Kampuchea', 'Jambu Kapri', 'Hong Kong Pink', 'Jambu Biji', 'Putih', 'Maha 65', 'Bentong Seedless', 'Taiwan Pear', 'Vietnamese'
Bangladesh	'Swarupkathi', 'Mukundapuri', 'Kanchannagar', 'Kazi'
Austrália	'Allahabad Safeda', 'Lucknow-49', 'Indonesian Seedless', 'Beaumont', 'Ka Hua Kula', 'GA-11'
EUA (Hawaii)	'Beaumont', 'Ka Hua Kula', 'Hong Kong Pink', 'Indonesian Seedless'
EUA (Mainland)	'Redland', 'Supreme', 'Red Indian', 'Ruby X', 'Miami Red', 'Miami White', 'Blitch', 'Patillo', 'Webber', 'Rolfs', 'Hart', 'Detwiler', 'Turnbull'
África do Sul	'Fan Retief', 'Frank Malherbe', 'TS-G2'
Vietnã	'Xa Ly Nghe', 'Ruot Hong Da Lang', 'Xa Ly Don'

Fonte: adaptado de Sigh, (2011).

Psidium guajava é uma espécie diploide, $2n = 2x = 22$ cromossomos nas células somáticas (Hirano e Nakasone, 1969) (Figura 1a). Apresenta sistema misto de reprodução (autogamia-alogamia) (Medina, 1988).

A árvore é perene com 3 a 10 m de altura, com muitos galhos e hastes tortas, de casca clara a marrom avermelhado com sistema radicular superficial e extenso. Tem folhas opostas, simples e estípulas ausentes, pecíolo curto, de 3 a 10 mm de comprimento, com cor acinzentada a verde-amarelada (Figura 1b). A inflorescência axilar tem 1 a 3 flores (Figura 1c). O cálice é dividido em 2 ou 4 lobos, esbranquiçado, com 4 a 5 pétalas brancas, com numerosos estames, os filamentos são de cor branca, com cerca de 12 mm de comprimento. Ovário ínfero, com numerosos óvulos, estilo com cerca de 10 cm de comprimento, estigma verde, capitado (Figura 1d). O fruto é uma baga ovoide ou em forma de pera, com 4 a 12 cm de comprimento e peso de até 500 g (Figura 1e). A casca é amarela quando madura, a polpa é succulenta, de cor creme, amarela ou vermelha, macia, envolvendo numerosas sementes (Orwa et al, 2009). Apresenta suscetibilidade a alguns patógenos como ao nematoide das galhas (*M. enterolobii*) (Miranda et al., 2012) e à ferrugem das mirtáceas (*A. psidii*) (Figura 1f) (Ribeiro e Pommer, 2004).

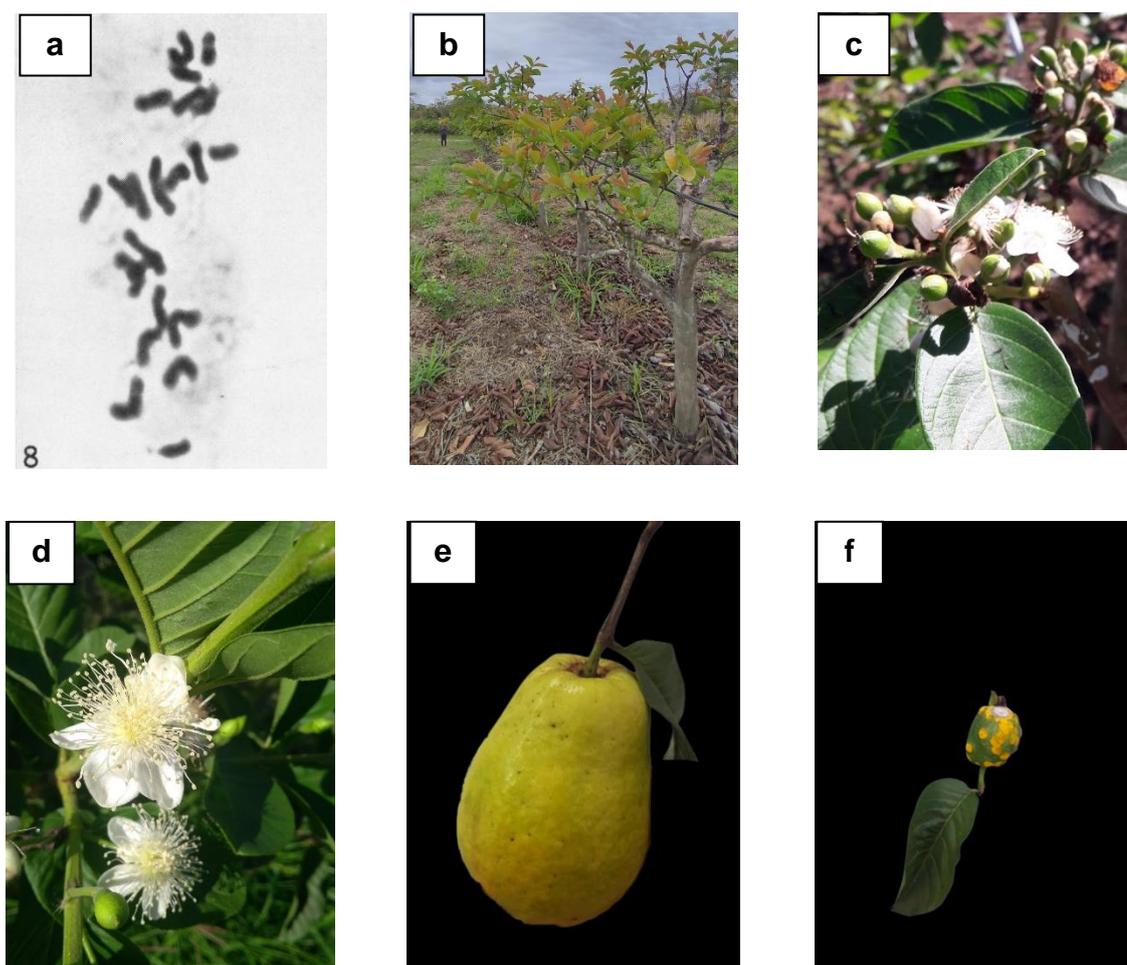


Figura 1. (a) Cromossomos de *P. guajava* com $2n= 2x= 22$ cromossomos (Fonte: Hirano e Nakasone, 1969); (b) Planta de *P. guajava* com nove anos de idade (Foto: Joameson Antunes, 2022); (c) Inflorescência de *P. guajava* com três flores por inflorescência (Foto: Letícia Araújo, 2020); (d) Flor de *P. guajava* tetrâmera, apresentando pétalas estaminoides (Foto: Joameson Antunes, 2022); (e) Fruto maduro em formato de pera com 12 cm (Foto: Letícia Araújo, 2021); (f) Fruto com pústulas de ferrugem (*A. psidii*) (Foto: Letícia Araújo, 2020).

3.1.2.1.2 *Psidium guineense* Swartz – Usos diversos, aspectos citogenéticos e morfobotânicos.

Psidium guineense, conhecida popularmente como araçá - azedo, é uma planta utilizada na medicina tradicional para o tratamento de disfunções intestinais. Rica em fenóis e taninos, essa espécie vem sendo amplamente estudada quanto à caracterização de elementos fitoquímicos com potencial para

atividade antibacteriana (Ferreira et al., 2011; Rodrigues et al., 2014; Senanayake et al., 2018 Abrão et al., 2021; Macaúbas-Silva et al., 2021).

Psidium guineense é uma espécie tetraploide, tendo $2n = 4x = 44$ cromossomos em suas células somáticas (Chakraborti et al., 2010; Tuler et al., 2019) (Figura 2a). Sua dispersão ocorre em toda a América Tropical (Bezerra et al., 2018) e no Brasil está amplamente distribuída nos diferentes biomas brasileiros (exceto nos Pampas) (Tuler et al., 2019).

A planta tem forma de arbusto, de 6m de altura (Bezerra et al., 2018), de crescimento relativamente lento (Chakraborti et al., 2005) (Figura 2b). O caule é ramificado e tem múltiplos eixos desde a base, a casca é lisa e destacável em grandes placas que, ao cair do caule, tem cor marrom creme pálido (Rojas-Rodríguez e Torres-Córdoba, 2019). As folhas são simples, opostas, de formato variável (oblongas e elípticas), com 10-15 cm de comprimento e 4-6 cm de largura, com uma face inferior enferrujada e pubescente, com nervuras proeminentes (Chakraborti et al., 2005; Rojas-Rodríguez e Torres-Córdoba, 2019) (Figura 2c). As inflorescências, na fase inicial, são cobertas por pelos marrom-avermelhados, tornando-se cinza-amarelados com o passar do tempo. Os botões florais formados medem 10-13 mm de comprimento, com pedúnculos medindo entre 5-25 mm de comprimento e 1-2 mm de espessura. As flores são encontradas em grupos únicos ou de três (Figura 2d). O cálice, no estado inicial, é fechado completamente e repartido longitudinalmente em cinco pequenas partes. As pétalas têm comprimento de 7-11 mm, esbranquiçadas, e os estames são em número de 160 a 300, medindo entre 7-10 mm de comprimento, com anteras, que medem 1-3 mm de comprimento. Os estiletos medem de 8-10 mm de comprimento e o ovário é tri, tetra ou pentalocular, com 50 a 100 óvulos por lóculo (Chakraborti et al., 2005; Bezerra et al., 2018). Os frutos são caracterizados por serem globosos para ovoide, aromáticos, pedunculados, 1,5 cm de comprimento. Apresentam-se verde claro quando imaturos (Figura 2e), de sabor ácido e amarelo esverdeado quando maduro, a polpa é cremosa e doce, com numerosas sementes de, aproximadamente, 0,3 cm (Gonzalez et al., 2005; Rojas-Rodríguez e Torres-Córdoba, 2019).

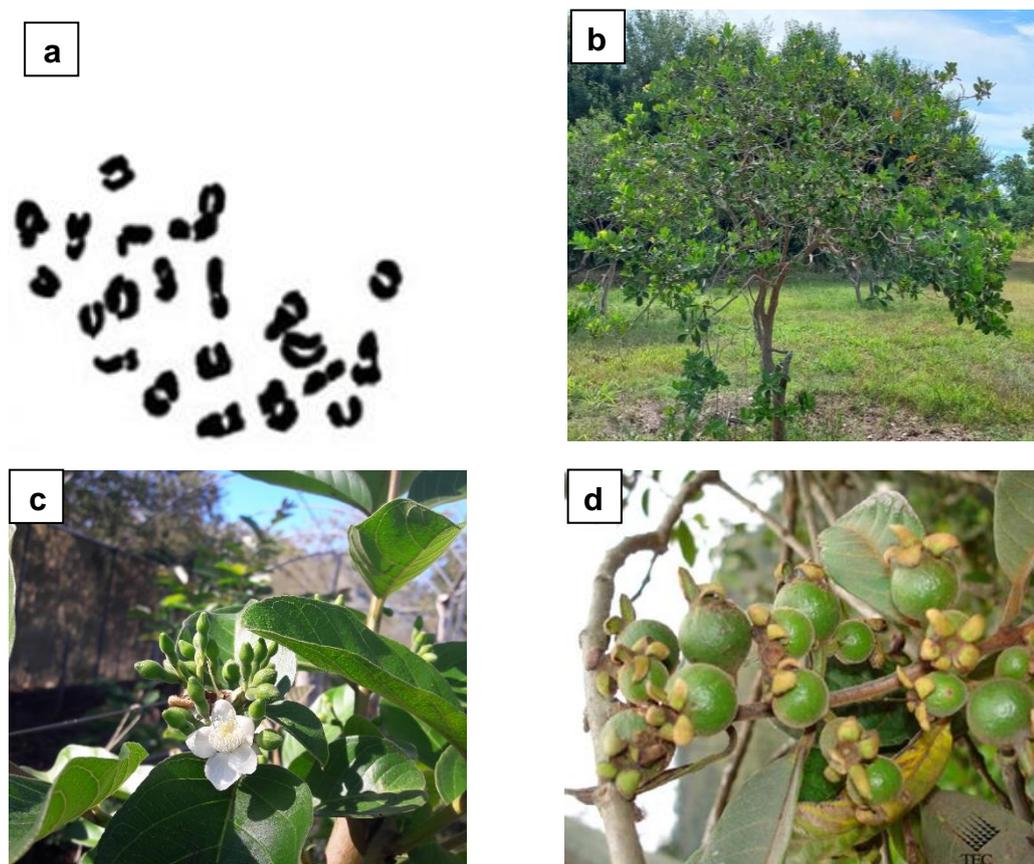


Figura 2. (a) Cromossomos de *P. guineense* com $2n= 4x= 44$ (Fonte: Chakraborti et al, 2010); (b) Planta de *P. guineense* no campo com dez anos de idade (Foto: Letícia Araújo, 2023); (c) Botões florais e flor recém-aberta (Foto: Letícia Araújo, 2021); (e) Fruto pequeno imaturo (Fonte: Rojas-Rodríguez e Torres-Córdoba, 2019).

3.1.2.1.3 *Psidium cattleianum* Sabine – Usos diversos, aspectos citogenéticos e morfobotânicos.

Essa espécie se destaca por suas propriedades medicinais e antioxidantes (Ho et al., 2012; Barradas et al., 2023), atividade antimicrobiana (Faleiro et al., 2016; Sangalli et al., 2018), óleos essenciais (Tucker et al., 1995; Marques et al., 2008) e no uso como agente de controle biológico (Patel, 2012). Tem boas perspectivas para o melhoramento da cultura da goiabeira, visto ter genes de resistência ao nematoide das galhas, uma importante praga que acomete a cultura (Miranda et al., 2012).

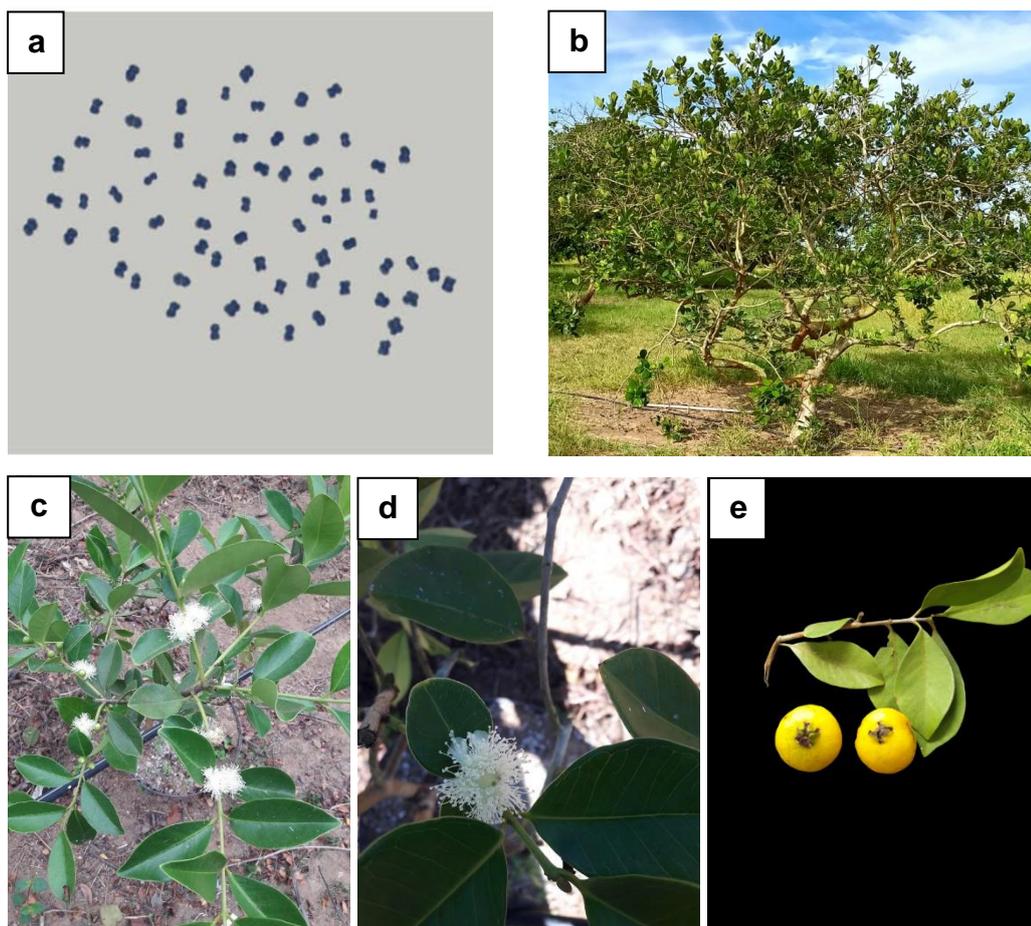


Figura 3. (a) Cromossomos de *P. cattleianum* com $2n= 3x= 66$ cromossomos (Fonte: Tuler et al, 2019); (b) Planta de *P. cattleianum* em vaso com 2 anos de idade (Foto: Letícia Araújo, 2020); (c) Inflorescência de *P. cattleianum* com flores solitárias e com compostas (Foto: Letícia Araújo, 2021); (d) Flor de *P. cattleianum* solitária (Foto: Letícia Araújo, 2021); (e) Fruto maduro de coloração da casca amarela (Foto: Letícia Araújo, 2021).

Psidium cattleianum Sabine é uma espécie poliploide com um total de $2n = 6x = 66$ (Figura 3a), ocorre nos biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (Tuler et al., 2019). A planta apresenta-se como um arbusto com ramos que variam de pendentes a espalhados, com caule na cor verde amarelada, com formato de folhas redondo, obovado ou obovolanceolado, de cor verde (Figura 3b), apresenta flores de tamanho médio a grande, que ocorrem tanto isoladamente quanto em inflorescências (Figuras 3c, d). O fruto tem comprimento médio em torno de 30,72 mm, com diâmetro em torno de 30,00 mm, com polpa na coloração creme para frutos de cor da casca amarela e de cor roxa para frutos

com cor da casca roxa (Figura 3e). O florescimento para essa espécie ocorre nos meses de agosto a outubro (Bremenkamp, 2015).

3.1.2.2 Métodos de análise multivariada

A análise multivariada consiste em um conjunto de métodos que podem ser usados quando várias medidas são feitas em cada indivíduo ou objeto em uma ou mais amostras (Rencher, 2002). A origem da análise multivariada é relatada no início do século XIX, com os escritos de Gauss, Bravais, Shols, Galton e Edgeworth e, em especial, com aplicação feita por Galton no estudo simultâneo de características (Rao, 1983). Os métodos multivariados são amplamente utilizados, e com o advento do uso computacional, essas técnicas foram mais difundidas e bem utilizadas (Cruz et al., 2012).

A escolha do método de análise multivariada deve ser feita de acordo com os objetivos da pesquisa. Em um grupo de genótipos, quando se pretende verificar como eles se relacionam quanto à sua similaridade de acordo com as variáveis avaliadas, dois métodos de análise multivariada se destacam: o primeiro tem por base um agrupamento hierárquico, o outro, uma análise de componentes principais (Cruz e Regazzi, 2001).

Para a realização de um agrupamento, é necessário que seja tomada uma medida de dissimilaridade entre os indivíduos avaliados. As distâncias euclidianas e de Mahalanobis são tomadas apenas para variáveis contínuas, sendo esta última aplicada quando há delineamento experimental (Cruz et al., 2012). A distância de Mahalanobis considera a correlação entre as características analisadas por meio da matriz de dispersão das variáveis (Amaral Júnior et al., 2010). Para a análise conjunta de variáveis contínuas e discretas, Gower (1971) sugeriu um algoritmo que estima de forma eficiente a distância entre os indivíduos quando não há perda de informação da variável. Para esse método, é feita uma padronização dos dados quantitativos e qualitativos, o que permite valores da matriz de distância compreendidos entre 0 e 1.

Para selecionar acessos que melhor representam toda coleção com mínima perda de diversidade genética, a melhor estratégia de classificação numérica é aquela que produz grupos mais compactos e bem separados, ou seja,

variabilidade mínima dentro de cada grupo e máxima entre os grupos (Crossa e Franco, 2004).

Os métodos de agrupamento têm como princípio reunir os genótipos em grupos, de tal forma que haja homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles. Os genótipos são agrupados por um processo que se repete em vários níveis, até que seja estabelecido um dendrograma (Pedro, 2020). Entre os métodos aglomerativos, Cruz et al. (2011) citam o do vizinho mais próximo (*Single Linkage Method*), o do vizinho mais distante (*Complete Linkage Method*), o da ligação média (*Average Linkage*), ponderado ou não, o do centroide, também ponderado ou não e o proposto por Ward (1963).

O método desenvolvido por Ward (1963) agrupa os indivíduos considerando a similaridade entre eles. Essa técnica reduz o número de grupos de n para $n-1$ ao passo que minimiza a perda associada ao agrupamento, sem modificar o número de grupos formados. Essa técnica pode ser empregada em conjunto com a análise de componentes principais para compreender as relações sistemáticas entre diferentes espécies do gênero *Psidium* spp., como exemplificado por Rivero-Maldonado et al. (2013). Enquanto a técnica de agrupamento de Ward permite visualizar os clusters por meio de um dendrograma gráfico, a análise de componentes principais possibilita observar a dispersão dos grupos e compreender os padrões gerados pelos agrupamentos.

3.1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.3.1 Caracterização agrônômica dos cruzamentos interespecíficos de *Psidium* L.

Local e população avaliada

O experimento foi instalado em casa de vegetação, com pé direito de 4,0 metros, localizada no Colégio Agrícola Antônio Sarlo, situado no município de Campos dos Goytacazes – RJ (latitude 21°44' S, longitude 41°19'W). Segundo Köppen e Geiger, a classificação do clima da região de Campos dos Goytacazes é tropical Aw, com 23.9 °C de temperatura média e pluviosidade média anual de 1112 mm, com verão chuvoso e inverno seco (Merkel, 2021).

As mudas foram obtidas por meio de estacas oriundas de cruzamentos interespecíficos (Quadro 1). Cada código do clone no Quadro 1 corresponde a uma estaca enraizada. Os cruzamentos P36 x P11 e CV1 x CV11 foram os que apresentaram maior número de estacas enraizadas e, conseqüentemente, maior número de clones avaliados. O plantio foi feito em janeiro de 2019, as plantas foram mantidas em vasos com capacidade para 40L, preenchidos com uma mistura de terra preta, substrato (Basaplant®) e areia, na proporção de 3:2:1, respectivamente. Os tratos culturais consistiram em poda de condução e de limpeza, também foram feitos controle de pragas via aplicação de inseticida e controle do mato via limpeza dos vasos. A adubação foi feita segundo recomendação de Natale et al. (1996), adaptada para vaso.

Foram avaliados oitenta e cinco clones (Quadro 1), sendo cinco flores de cada clone (uma planta por clone) avaliadas durante o período de pleno florescimento de cada genótipo. A avaliação ocorreu no ano de 2020, foi feita uma poda no dia 03 junho de 2020, e o florescimento ocorreu no final de julho de 2020, as caracterizações de flores foram feitas nos meses de julho, agosto e setembro de 2020.

Foram avaliadas dezessete características - oito características qualitativas e nove características quantitativas. As características presentes na Tabela 2 foram mensuradas de acordo com descritores de flor para a goiabeira, fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2018) e por Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia (2011).

Quadro 1. Genótipos dos cruzamentos 13.4II x P33 (*P. guajava* x *P. cattleianum*), Cv8 x Cv11 (*P. cattleianum* x *P. guineense*); P36 x P11 (*P. guineense* x *P. cattleianum*); 13.4II (*P. guajava*); 13.4II x P51 (*P. guajava* x *P. cattleianum*); Cv1 x Cv11 (*P. cattleianum* x *P. guineense*).

Genitores	Código do clone	Genitores	Código do Clone	Genitores	Código do clone	Genitores	Código do clone
13.4IIxP33	14		56		4		75
	32		57		8		79
	54		58		12		82
Cv8xCv11	2		60		13		87
	40		103		14		91
	74		228		20		95
P36xP11	1	P36xP11	237	Cv1xCv11	21	Cv1xCv11	97
	6		242		22		98
	8		246		29		102
	9		248		30		103
	10		251		33		104
	11		253		35		105
	14	254	36		114		
	16	13.4II	1		40		116
	26		2		47		122
	45		3		50		124
	47	13.4IIxP51	55		51		125
	48		60		53		127
	50		62		54		131
	51		82		57		137
	53		121		63		174
	54		-		-		-

Tabela 2. Descritores de flores utilizados para caracterizar os cruzamentos interespecíficos de *Psidium* L. com base nos descritores do MAPA (BRASIL, 2018) e de Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia (2011).

Características Qualitativas		Nível de expressão	Código
1	² Distribuição de flores	Solitário	1
		Inflorescências	2
2	¹ Presença de pétalas estaminoides	Ausente	1
		Presente	2
3	² Inserção da antera no filete	Dorsifixa	1
		Basefixa	2
4	² Formato do estigma	Capitado	1
		Massa	2
		Difuso	3
		Lobulado	4
5	² Formato do estilo	Conduplicado	1
		Fimbriado	2
		Cilíndrico	3
6	² Formato do disco ou receptáculo	Inchado (≤ 4 a ≥ 5)	1
		Estreito (<3 a <4)	2
7	² Posição das sépalas	Em linha reta	1
		Convexo	2
		Côncavo	3
8	² Presença de estípulas	Ausente	1
		Presente	2
9	^{1,2} Nº de flores por flor ou inflorescência		
10	^{1,2} Tamanho da flor		
11	² Comprimento do pedicelo	Cm	
12	² Número de pétalas		
13	¹ Somente cultivares com pétalas estaminoides: Nº de pétalas estaminoides		
14	² Comprimento da pétala	Cm	
15	² Largura da pétala	Cm	
16	² Comprimento do estilo	Cm	
17	² Número de sépalas		

¹ e ² representam os descritores recomendados pelo MAPA (BRASIL, 2018) e por Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia (2011), respectivamente.

As características 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 10 foram descritas conforme Figura 4.

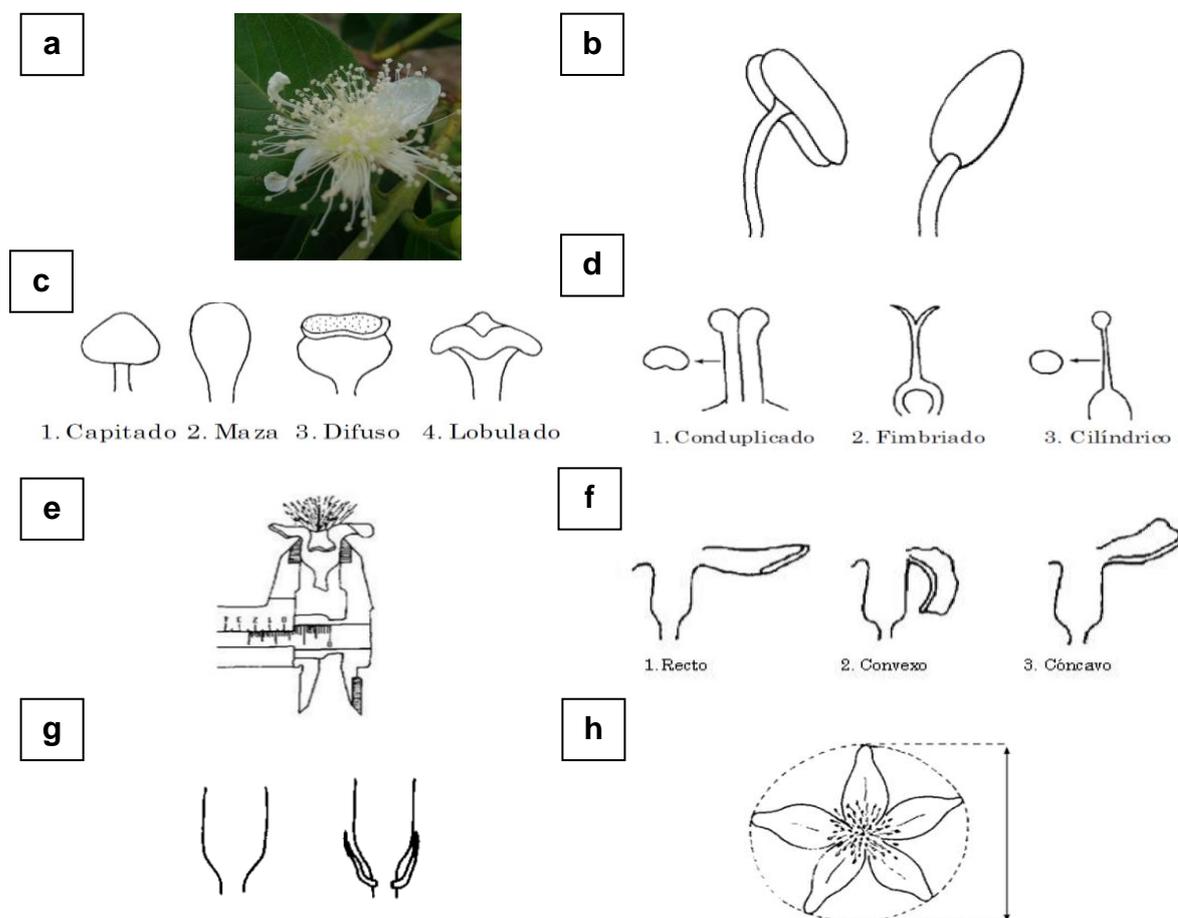


Figura 4. (a) Característica 2 – Presença de pétalas estaminoides (Foto: Letícia Araújo, 2020; (b) Característica 3 – Inserção da antera no filete (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011); (c) Característica 4 – Forma do estigma (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011); (d) Característica 5 – Formato do estilo (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011); (e) Característica 6 – Formato do disco ou receptáculo (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011); (f) Característica 7 – Posição das sépalas (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011); (g) Característica 8 – Presença de estípula (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011); (h) Característica 10 – Tamanho da flor (Fonte: Sánchez-Urdaneta e Peña-Valdivia, 2011).

Foram avaliados cinco frutos durante o período de frutificação de cada clone. Vinte e seis características foram avaliadas - oito características qualitativas, três pseudo-qualitativas e quinze características quantitativas -, conforme descritores para goiabeira fornecidos pelo MAPA (BRASIL, 2018) apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Descritores de frutos utilizados para caracterizar os cruzamentos interespecíficos de *Psidium* L. com base nos descritos do MAPA (BRASIL, 2018).

Características Qualitativas		Nível de expressão	Código
1	Textura da superfície	Lisa	1
		Rugosa	2
		Irregular	3
2	Cristas longitudinais	Ausente	1
		Presente	2
3	Sulcos longitudinais	Ausente	1
		Presente	2
4	Colar estriado ao redor da cavidade do cálice	Inconspícuo	1
		Conspícuo	2
5	Uniformidade da cor da polpa	Uniforme	1
		Mosqueada	2
6	Descoloração da polpa após o corte	Ausente	1
		Presente	2
7	Granulação da polpa externa	Ausente	1
		Presente	2
8	Oco (espaço entre a polpa externa em relação ao diâmetro do centro)	Ausente	1
		Presente	2
Características Pseudo-Qualitativas			
9	Formato da extremidade peduncular	Largamente Arredondado	1
		Arredondado	2
		Truncado	3
		Pontiagudo	4
		De pescoço	5
10	Cor da casca	Verde amarelada	1
		Clara	2
		Amarela clara	2
		Amarela escura	3
		Laranja	4
		Verde alaranjada	5
		Verde escura	6
Vermelha	7		
11	Cor da polpa	Branca	1
		Amarela clara	2
		Rosa clara	3
		Rosa	4
		Rosa escura	5
		Rosa alaranjada	6
		Laranja	7

Tabela 3 – Cont.

	Características Quantitativas	Medida	
12	Comprimento do fruto	Cm	
13	Largura do fruto	Cm	
14	Relação comprimento/largura	Cm	
15	Somente cultivares com pescoço: largura do pescoço em relação ao fruto	Estreita	3
		Média	5
		Larga	7
16	Somente cultivares com cristas longitudinais: proeminência das cristas longitudinais	Fraca	3
		Média	5
		Forte	7
17	Tamanho da sépala	Cm	
18	Diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto	Cm	
19	Comprimento do pedúnculo	Cm	
20	Espessura do endocarpo	Cm	
21	Espessura do mesocarpo	Cm	
22	Espessura da polpa externa em relação ao diâmetro do centro	Cm	
23	Somente cultivares com oco: intensidade do oco	Fraca	
		Média	
		Forte	
24	Acidez	g de ácido cítrico.100ml	
25	Doçura	°Brix	
26	Ciclo do florescimento à maturação do fruto	Dias	

As características 2, 3, 4, 5 e 8 foram descritas conforme a Figura 5.

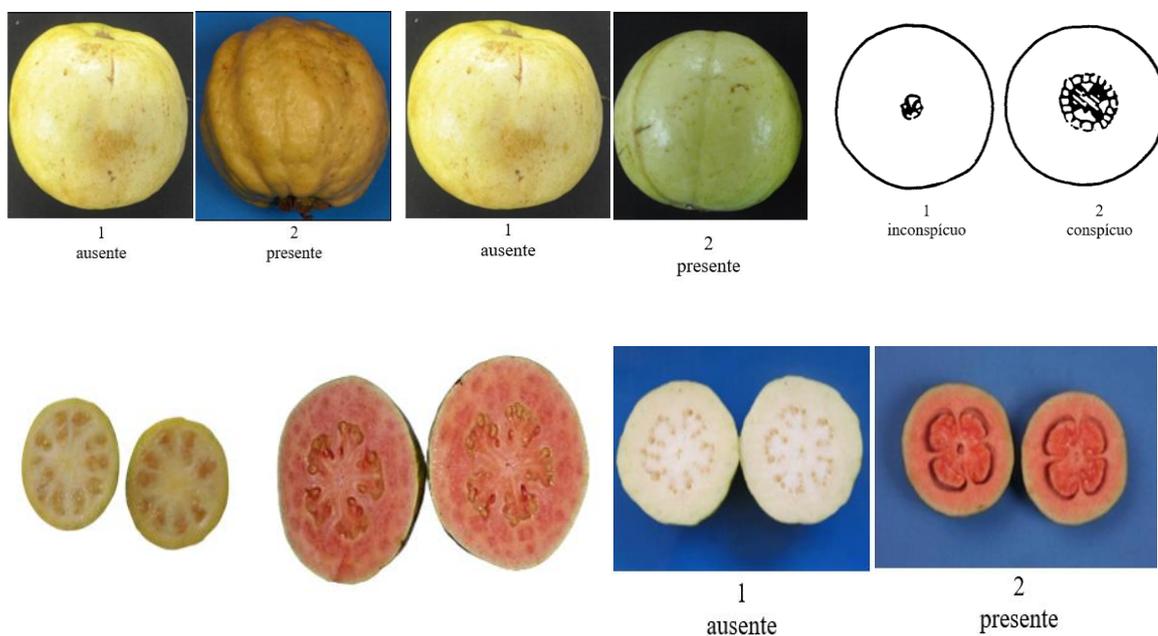


Figura 5. (a) Característica 2 – Presença de cristas longitudinais; (b) Característica 3 – Presença de sulcos longitudinais; (c) Característica 4 – Colar estriado ao redor da cavidade do cálice; (d) Característica 5 – Uniformidade da cor da polpa; (e) Característica 8 – Espaço entre a polpa externa e o centro (Fonte: Bremenkamp, 2015).

As características 9, 15, 18 e 22 foram descritas conforme a Figura 6.

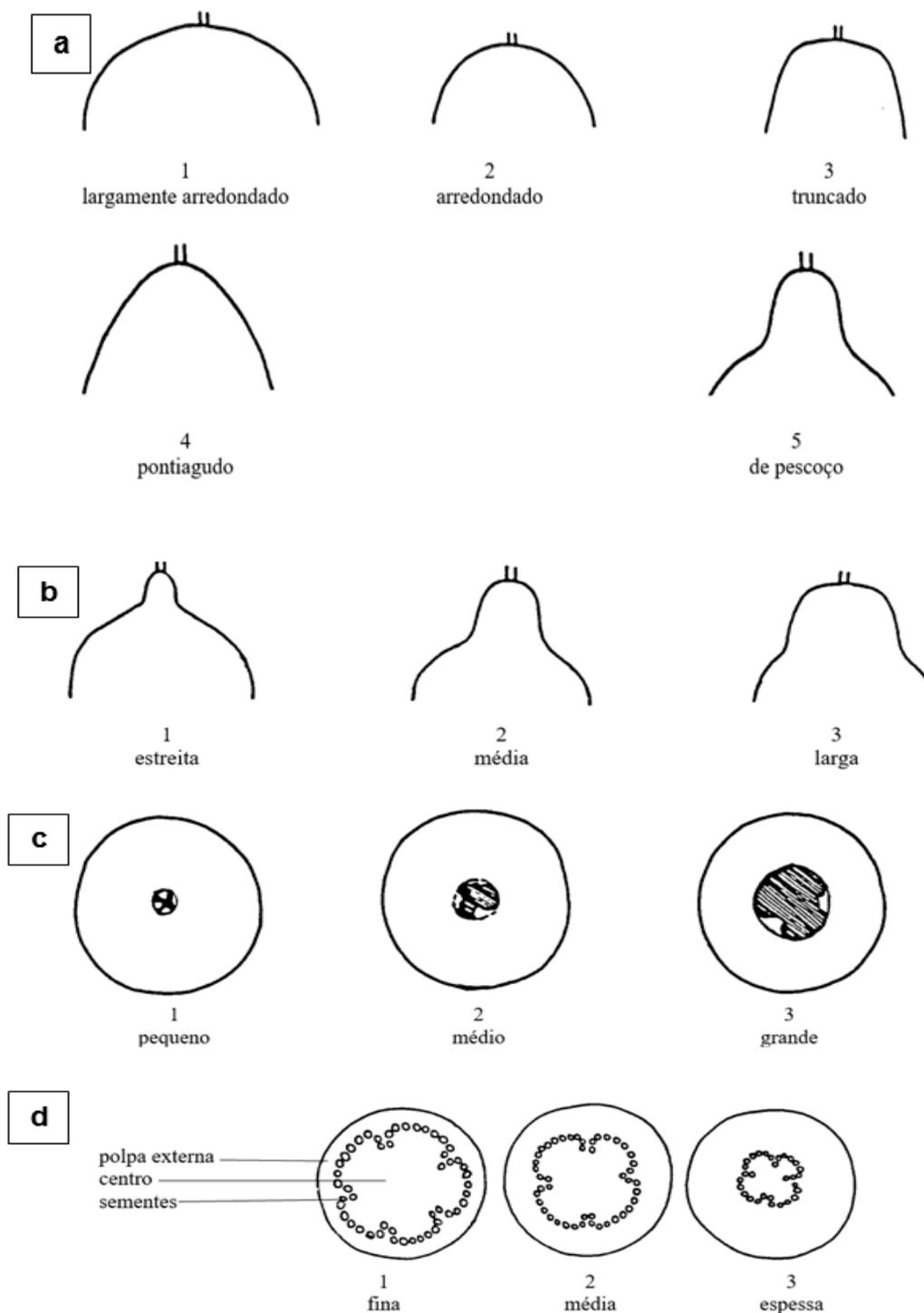


Figura 6. (a) Característica 9 – Formato na extremidade peduncular; (b) Característica 15 – Somente cultivares com pescoço: largura do pescoço em relação ao fruto; (c) Característica 18 – Diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto; (d) Característica 22 – Espessura da polpa externa em relação ao diâmetro do centro (Fonte: Bremenkamp, 2015).

3.1.3.2 Diversidade genética em híbridos de *Psidium spp.* via análise multivariada

Na análise de diversidade genética, foram empregados os métodos multivariados, utilizando variáveis quantitativas e qualitativas. Primeiramente, o índice de Gower (1971) foi utilizado para avaliar as características quantitativas e qualitativas. Foram construídas matrizes e, posteriormente dendrogramas. Inicialmente, foi construída a matriz principal, com os descritores avaliados, que foi utilizada como referência para a análise de dados. E então foi gerada a estimativa do índice de dissimilaridade, que varia de 0 a 1.

A dissimilaridade foi obtida por:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p W_{ijk} \cdot S_{ijk}}{\sum_{k=1}^p W_{ijk}}, \quad (1)$$

em que:

i e j = indivíduos a serem comparados em relação à característica k;

p = número total de características; e

S_{ij} = a contribuição da variável k para a distância total.

Quando a variável era qualitativa, S_{ijk} assumiu o valor 1 quando houve concordância positiva ou negativa para a característica k entre os indivíduos i e j, e, em caso contrário, quando a variável é quantitativa, tem-se:

$$S_{ij} = \frac{|Y_{ik} - Y_{jk}|}{R_k}, \quad (2)$$

em que:

R_k = amplitude de variação da variável k, assumindo valores 0 e 1 ou inteiros entre eles.

O valor de w_{ijk} foi um peso usado para definir as contribuições dos S_{ijk} 's individuais. Nesse aspecto, quando o valor da variável k foi ausente em um ou ambos os indivíduos, $w_{ijk} = 0$, ou, em caso contrário, igual a 1.

As matrizes de distância de Gower para caracteres quantitativos e qualitativos foram estimadas a partir das médias das características de cada um dos indivíduos. Posteriormente à análise feita pelo Índice de Gower, foi feito um procedimento de agrupamento hierárquico da mínima variância entre grupos, proposto pelo método de agrupamento de Ward (1963).

A determinação do número ideal de grupos foi definida de acordo com os critérios do pseudo F e pseudo T^2 . A representação gráfica foi obtida pelos dendrogramas confeccionados com auxílio do programa R, por meio das funções disponíveis nos pacotes “ggplot2” e “factoextra”.

3.1.2.3 Diversidade genética em híbridos de *Psidium spp.* via análise de componentes principais (PCA).

A PCA de flores foi constituída de nove características quantitativas, são elas: Número de flores por flor ou inflorescência – NFFI; Tamanho da flor - TamFlor; Comprimento do pedicelo - CPedicelo; Número de pétalas - NPet; Somente cultivares com pétalas estaminoides: Número de pétalas estaminoides - SCPENPE; Comprimento da pétala - CPétala; Largura da pétala - LPétala; Comprimento do estilo - CEstilo; e Número de sépalas - NSépala.

Para a PCA de frutos, foram utilizadas 11 características quantitativas, são elas: Espessura externa em relação ao diâmetro do centro (EPERDC); Comprimento do Pedúnculo (CompPed); Relação Comprimento/Largura do fruto (RelCompLarg); Somente cultivares com oco – intensidade do oco (SCOCO); Tamanho de Sépala (TamSepela); Somente cultivares com pescoço – largura do pescoço em relação ao fruto (SCCPLPERF); Ciclo do florescimento à maturação do fruto (CFMF); Somente cultivares com cristas longitudinais – proeminência das cristas longitudinais (SCCLPCL); Acidez; e Diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto (DCCRDF).

Para identificar as variáveis com maior contribuição para a diversidade, foram estimados os componentes principais para cada conjunto de caracteres quantitativos de cada grupo de variáveis, a partir dos valores padronizados (padronização convencional em unidades de desvio padrão). A normalidade dos

dados quantitativos foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk (1965) ao nível de significância de 5%. A significância das correlações (coeficiente de Pearson) foi testada pelo Teste t de Student ao nível de 5% de significância.

Tendo como referência os dois primeiros componentes, foram construídos gráficos *biplots* para a relação e representatividade entre as variáveis e para a dispersão dos clones estudados. As análises foram conduzidas com auxílio do programa R, por meio das funções disponíveis nos pacotes 'factoextra', 'ecodist' e 'fdm2id'.

3.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.4.1 Análise de dissimilaridade de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. com base em descritores de flores

A matriz de dissimilaridade foi gerada a partir de variáveis quantitativas e qualitativas relacionadas aos descritores de flores (Tabela 2). Dos 85 clones avaliados, utilizando a estratégia Ward e considerando uma distância de Gower delimitada em 100, foi possível distinguir a formação de dois grupos de acordo com os critérios do pseudo F e pseudo T^2 (Figura 7).

0,80 indicam bom ajuste entre as matrizes originais de distância e as resultantes da simplificação pelo método de agrupamento (Sokal e Rohlf, 1962).

O grupo I em vermelho foi constituído por 40 clones: 37 clones pertencentes aos cruzamentos [P36 (*P. guineense*) x P11 (*P. cattleianum*)], [13.4II (*P. guajava*) x P51 (*P. cattleianum*)], [13.4II (*P. guajava*) x P33 (*P. cattleianum*)] e três clones pertencentes ao parental [13.4II (*P. guajava*)]. O grupo II em preto foi constituído por 45 clones pertencentes aos cruzamentos [Cv1 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)] e [Cv8 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)].

Os clones Cv1xCv11_57 e P36xP11_47 foram os mais divergentes, tendo apresentado as maiores distâncias entre esses acessos. E os clones mais próximos alocados em grupos distintos são provenientes do cruzamento Cv1xCv11_131 e o parental 13.4II_1 (Figura 7).

Em geral, as espécies envolvidas nos cruzamentos não segregaram para cor da flor, apresentando flores brancas. A distribuição das flores ocorreu em forma solitária ou em inflorescência com duas ou mais flores, característica comum relatada para as espécies *P. friendrichsthalianum* Ndz., *P. cattleianum* Sabine e *P. guajava* (Sharma et al., 2010).

Foi detectada variabilidade para tamanho de flores, com tamanhos variando de pequeno a grande (1,7 a 4,9 cm). As flores oriundas dos cruzamentos [Cv1 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)] e [Cv8 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)], em geral, apresentaram tamanhos de pequeno (> 2 cm) a médio (≥ 2 a $\leq 3,5$ cm). Na presença de *P. guineense* ou *P. guajava* como parentais femininos nos cruzamentos, as flores apresentavam tamanhos que variavam de médio a grande. Em estudo anterior conduzido por Bremenkamp (2015) para caracterização de acessos de *P. cattleianum*, foi observado que esses acessos apresentavam flores grandes, com tamanho superior a 3,5 cm. Esses resultados demonstram a variabilidade nos cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp., especialmente quando o parental feminino é *P. cattleianum*.

Não foi observada variabilidade para formato do estilo na população de trabalho. Também foi observada pouca frequência de pétalas estaminoides na população. As pétalas estaminoides são formadas por um estame rudimentar modificado, estéril ou abortivo, que não produz pólen (Jackson, 1927). Casos de pétalas estaminoides não são muito frequentes (Costerus, 1885). Entretanto, essa

característica em algumas espécies como as orquídeas do gênero *Paphiopedilum* pode ser considerada crítica para diferenciação entre espécies (Jackson, 1927).

Das características discretas de flores, o formato do estilo foi cilíndrico para toda a população estudada. A forma do estigma e a inserção da antera no filete foram as características que discriminaram bem os dois grupos de clones, com os clones do grupo I apresentando forma de estigma capitado e inserção de antera base fixa e os do grupo II apresentando a forma de estigma lobulado e inserção de antera dorsifixa.

3.1.4.2 Análise de componentes principais para as características contínuas de flores de *Psidium* spp.

As características morfológicas da flor foram distribuídas em nove componentes, tendo os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicado 76,3% da variação total dos dados (Figura 8).

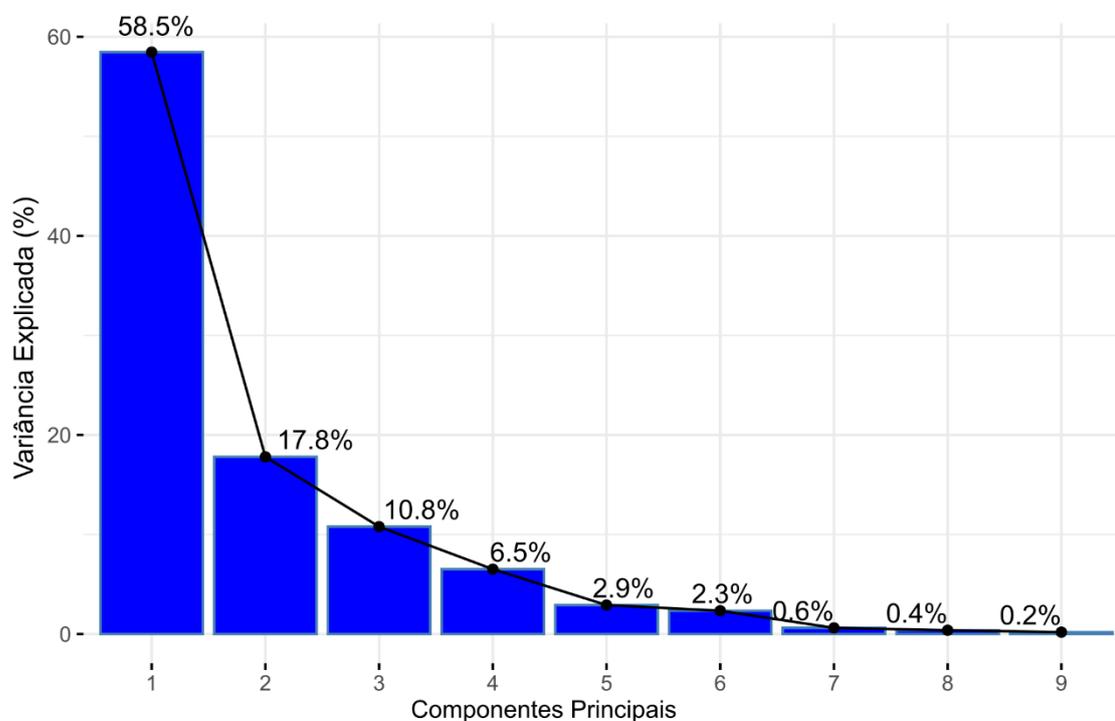


Figura 8. Proporção de variância explicada por cada componente principal para a variação de clones caracterizados por meio de descritores quantitativos de flor em gráfico de barras. Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

Os dois primeiros componentes (76,3%) foram superiores aos dois primeiros componentes (70,46%) encontrados por Kumari et al. (2018), que avaliaram a diversidade de seis espécies de *Psidium* spp., com base em descritores de folhas e frutos. Entretanto, inferiores aos resultados encontrados por Silvestre et al. (2022) quando avaliaram a composição química dos óleos essenciais em diferentes populações de *P. cattleianum*, que foi de 89,10% para os dois primeiros CP. Esses valores revelam que, em uma análise de componentes principais, o valor da variação explicada será maior quanto mais correlacionadas forem essas características.

As variáveis contínuas que mais contribuíram para a discriminação dos clones estão apresentadas na Figura 9. Tamanho da flor, comprimento da pétala, comprimento do estilo e largura da pétala apresentaram os maiores comprimentos de vetores, indicando maior potencial dessas características para discriminação dos clones (Figura 9a). Em contrapartida, a característica número de sépala foi a que apresentou o menor valor, além de estar negativamente correlacionada com as características que mais contribuíram para a discriminação dos clones. As características comprimento de pétala, comprimento de estilo, largura da pétala apresentaram os menores ângulos entre si, indicando correlação positiva dessas características na discriminação dos clones. A característica SCPENPE não apresentou boa correlação na discriminação dos clones.

Os clones provenientes dos cruzamentos [P33 (*P. guineense*) x P11 (*P. cattleianum*)], [13.4II (*P. guajava*) x P51 (*P. cattleianum*)], [13.4II (*P. guajava*) x P33 (*P. guineense*)] apresentaram os maiores valores para tamanho de flor, comprimento de pétala, comprimento de estilo e largura de pétala, conforme mostrado no segundo quadrante da PCA (Figura 9b). Em contrapartida, os clones pertencentes aos cruzamentos [Cv1 (*P. cattleianum*) X Cv11 (*P. guineense*)] e [Cv8 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)], se concentraram no primeiro e terceiro quadrante da PCA e apresentaram os menores valores para essas características.

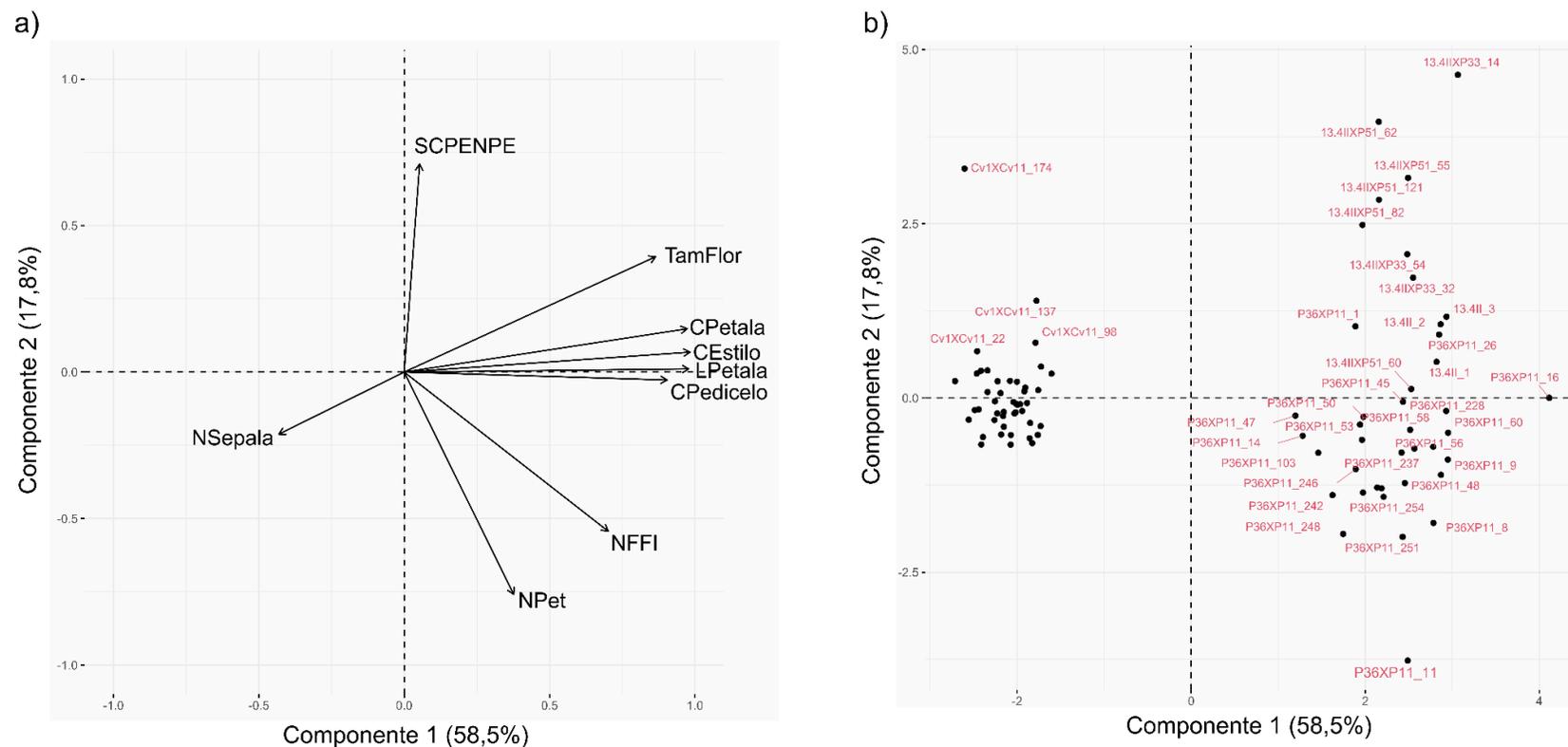


Figura 9. Análise de componentes principais (ACP) da população de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. para as nove características quantitativas, são elas: Número de flores por flor ou inflorescência – NFFI; Tamanho da flor - TamFlor; Comprimento do pedicelo - CPedicelo; Número de pétalas - NPet; Somente cultivares com pétalas estaminoides: Número de pétalas estaminoides - SCPENPE; Comprimento da pétala - CPétala; Largura da pétala - LPétala; Comprimento do estilo - CEstilo; Número de sépalas – NSépala. a) representatividade e relação entre características; b) dispersão dos clones com relação aos dois primeiros componentes principais. Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

3.1.4.3 Análise de dissimilaridade de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. com base em descritores de frutos

Com base na matriz de dissimilaridade gerada pelas variáveis discretas e contínuas relacionadas aos descritores de frutos dos 43 clones avaliados, foi possível estabelecer a discriminação dos clones oriundos de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. A divergência foi quantificada pelas matrizes de distância de Gower e os agrupamentos, estabelecidos pelo método Ward. Conforme a estratégia Ward, considerando uma distância de Gower delimitada em 50, foi possível distinguir a formação de cinco grupos de acordo com os critérios do pseudo F e pseudo T^2 , indicando diversidade genética entre os clones avaliados (Figura 10).

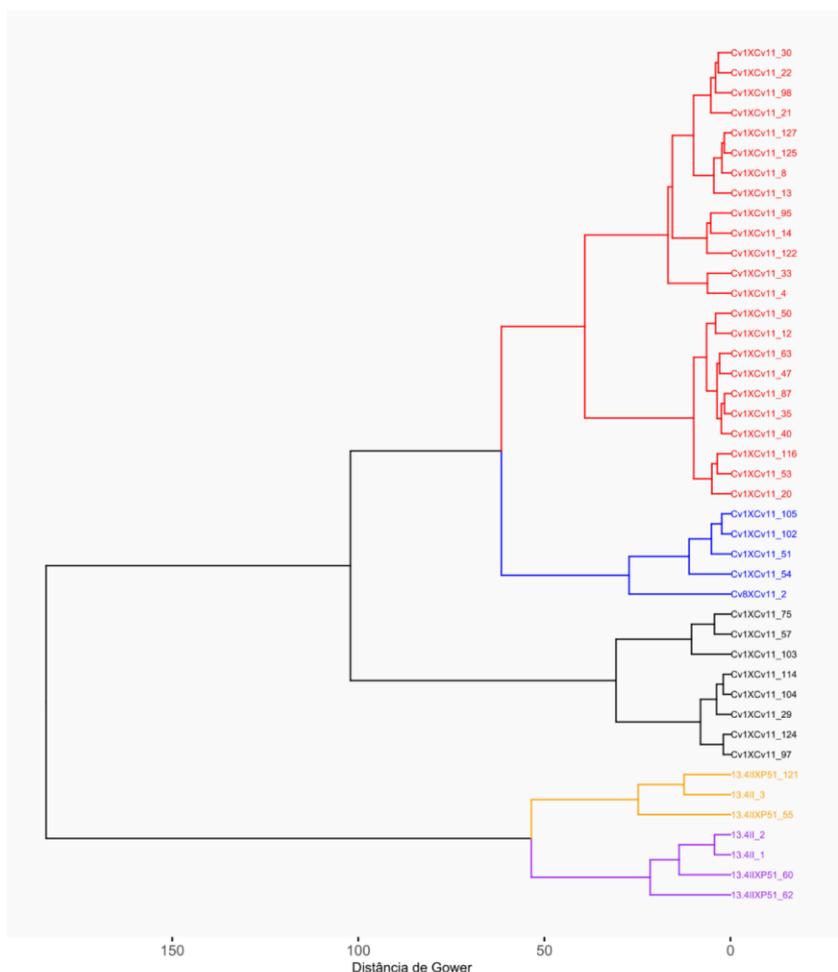


Figura 10. Dendrograma obtido entre 43 clones oriundos de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp., considerando os descritores quantitativos e qualitativos de flores de *Psidium* spp., confeccionado pelo pacote “factoextra” com base na Distância de Gower e agrupamento de Ward. Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

O coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi de 75,87%. Foi possível discriminar cinco grupos de três cruzamentos interespecíficos de *Psidium*, além de um parental. Os clones oriundos do cruzamento [13.4II (*P. guajava*) x P51 (*P. cattleianum*)] e o parental 13.4II (*P. guajava*) foram arrançados nos grupos I (lilás) e II (laranja), conforme Figura 11. No grupo III (preto), foram arrançados oito clones oriundos do cruzamento [Cv1 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)]. No grupo IV (azul), foram arrançados cinco clones dos cruzamentos [Cv1 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)] e [Cv8 (*P. cattleianum*) x Cv11 (*P. guineense*)].

O maior grupo foi composto por clones pertencentes ao cruzamento Cv1xCv11, destacado em vermelho, cruzamento entre araçás. Santos et al. (2011), quantificando a divergência genética entre acessos de araçazeiros e goiabeiras de diferentes estados brasileiros, agruparam os araçazeiros em um único grupo, enquanto os acessos de goiabeiras (*P. guajava*) foram agrupados em outros cinco grupos. Esses autores sugerem que as goiabeiras divergem dos araçás em razão da intensa seleção artificial das goiabeiras para características relacionadas à qualidade dos frutos.

Os clones oriundos dos cruzamentos [P33 (*P. guineense*) x P11 (*P. cattleianum*)] e [13.4II (*P. guajava*) x P33 (*P. guineense*)] não apresentaram frutos; as flores desses cruzamentos se desenvolviam, porém era observado seu abortamento, e nenhum fruto era fecundado. Comportamento similar foi relatado por Chakraborti et al. (2005) em estudo com 50 populações de *P. guineense* na Índia, em que apenas 32% das plantas produziram frutos, porém com um alto valor de coeficiente de variação, o que indicou inconsistências e alto nível de variabilidade para o pegamento dos frutos.

Os clones com características de frutos mais divergentes pertencem aos cruzamentos 13.4II x P51_62 e Cv1 x Cv11_30, que apresentaram as maiores distancias entre esses acessos. O comprimento dos frutos variou de pequenos para acessos dos cruzamentos Cv1xCv11 e Cv8xCv11 (predominantemente araçás), com tamanho variando de 2,37 a 3,96 cm, até grandes para os acessos 13.4II (*P. guajava*), com frutos de tamanho de até 9,64 cm, e 13.4IIxP51 com frutos variando de 6,90 a 9,48 cm. Santos et al. (2008), avaliando uma população de 119 acessos de goiabeira e 40 acessos de araçazeiro identificados em 35 ecorregiões brasileiras, observaram que os frutos de araçazeiro foram classificados como pequenos, enquanto os frutos de goiabeira apresentaram tamanho de médio a grande. Bremenkamp (2015), avaliando acessos de *P.*

cattleianum, verificou frutos variando de 2,58 a 4,02 cm, valores próximos aos encontrado nos cruzamentos entre araçás aqui relatados.

Os valores para relação comprimento/largura variaram de 0,87 a 1,26. Essa relação indica o formato do fruto, sendo que quanto mais próximo de 1, mais redondo é o fruto (Campos et al., 2013). Na população em estudo, foi observada alta variabilidade para essa característica, com frutos achatados, redondos e alongados. Campos et al. (2013), avaliando uma população de *P. guajava*, observaram frutos variando de redondo (0,99) a alongado (1,40).

Em relação ao formato na extremidade peduncular (característica 18, tabela 3), a predominância foi de frutos com extremidade peduncular largamente arredondada > truncada > arredondada > em forma de pescoço. Esse descritor distinguiu bem os acessos oriundos de cruzamentos predominantemente de araçás com cruzamentos de *P. guajava* x *P. cattleianum*. De modo similar a trabalhos anteriores, em clones originários de araçás, a predominância é de formato na extremidade peduncular do fruto largamente arredondado e arredondado (Santos et al., 2008; Bremenkamp, 2015). Frutos com formato de pescoço foram menos comuns nessa população, apresentando apenas três acessos com essa característica. Em espécies de *Psidium*, a predominância de frutos com formato na extremidade peduncular em forma de pescoço não é comum, fato relatado, respectivamente, por Campos et al. (2013) e Ambrósio et al. (2022), ao avaliarem populações de *Psidium*, sendo que apenas 7.98 e 1.6% dos clones apresentaram essa característica.

Quanto à cor da polpa dos frutos, os acessos oriundos de cruzamentos entre araçás apresentaram cor intermediária entre a cor branca e a amarela clara. De modo similar ao descrito por Santos et al. (2008) e Bremenkamp (2015), os frutos oriundos de cruzamentos de *P. guajava* apresentaram polpa com coloração rosa e rosa alaranjada. Ambrósio et al. (2022) também observaram segregação para cor da polpa em famílias endogâmicas de *P. guajava*, com predominância da cor rosa escuro.

Em relação às características químicas do fruto, no presente estudo, os valores de acidez variaram de 0,10 a 0,53 de g de ácido cítrico.100ml⁻¹ da amostra utilizada na titulação. A acidez é uma característica importante para a qualidade dos frutos, pois frutos com acidez muito alta podem ter menor aceitação para consumo in natura (Chitarra e Chitarra, 2005). Quanto ao teor de acidez, em frutos maduros de goiaba, a acidez pode variar de 0,24 a 1,79 ml de ácido cítrico/100g polpa⁻¹ (Gerhardt et al., 1997).

A característica de sólidos solúveis totais (SST) quantifica a quantidade de açúcares presente na fruta. O presente trabalho quantificou valores de SST variando de 9,36 a 16,4° Brix em frutos maduros. Valores variando de 8 a 12° Brix são considerados ótimos (Pereira, 1995). Para polpa de goiabeira, segundo os padrões de identidade e qualidade estabelecidos pelo MAPA (BRASIL, 2000), a concentração mínima de sólidos solúveis deve ser de 7° Brix.

Para o ciclo do florescimento à maturação do fruto, é relatado que da fecundação da flor ao ponto normal de colheita do fruto há, em média, 130 dias (Fumis e Sampaio, 2011). Os clones avaliados nesse trabalho apresentaram ciclo do florescimento à maturação do fruto variando de 101 a 143 dias, valores menores que os encontrados por Serrano et al. (2008), que avaliaram a fenologia da cultivar Paluma (*P. guajava*) sob diferentes sistemas de cultivos, épocas e intensidade de poda, e observaram ciclo variando de 112 a 161 dias.

3.1.4.4 Análise de componentes principais para as características contínuas de frutos de *Psidium* spp.

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicaram 72,6% da variação total dos dados de frutos de cruzamentos de *Psidium* spp. (Figura 11).

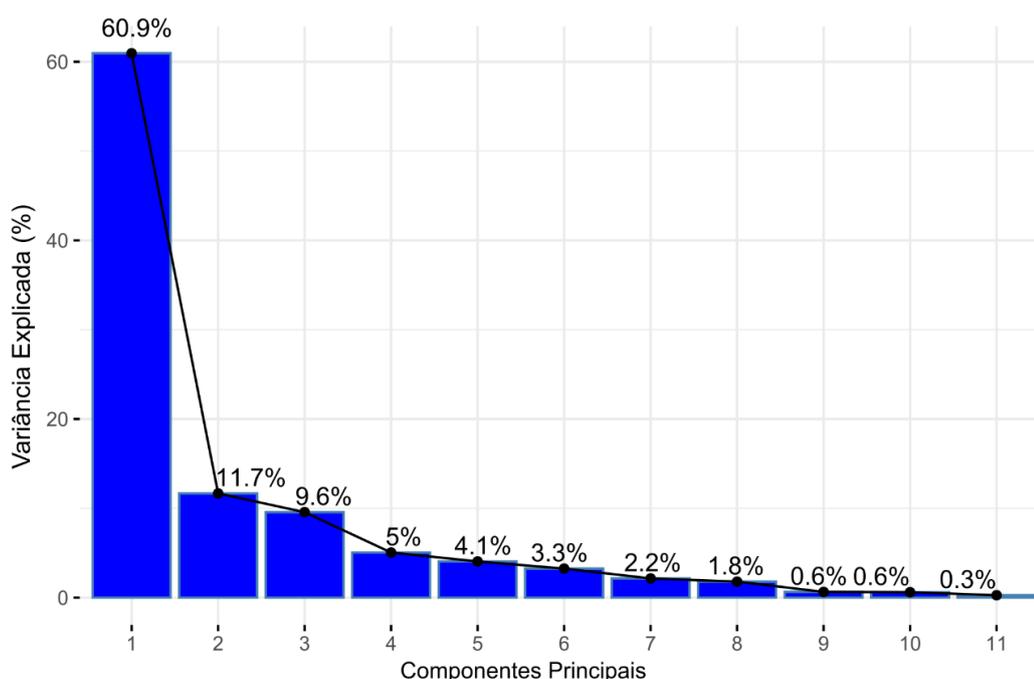


Figura 11. Proporção de variância explicada por cada componente principal para a variação de frutos em gráfico de barras.

Nessa situação, o uso de um gráfico bidimensional foi satisfatório para apresentar a maior parte da variação encontrada. Em situações em que os dois primeiros componentes não explicam de forma suficiente a maior parte da variação, o uso de gráfico tridimensional com os três primeiros componentes principais pode ser recomendado, como descrito por Santos et al. (2011), que utilizaram um modelo de dispersão tridimensional para avaliar características morfológicas e bioquímicas de frutos de araçazeiro e goiabeira, tendo 69% da variação acumulada sido distribuída nos três componentes principais. Quando utilizado apenas um tipo de característica (morfológica) de frutos, os resultados desse trabalho apresentaram concordância com os resultados obtidos por Kumari et al. (2018), tendo os dois PCA explicado 70,46% da variação total dos dados.

Na PCA, as variáveis com maior peso dos autovalores que explicaram a maior parte da variação entre os cruzamentos de *Psidium* foram relação comprimento/largura do fruto, espessura externa em relação ao diâmetro da cavidade do centro e comprimento do pedúnculo, estando essas variáveis positivamente correlacionadas. Essas variáveis indicam maior potencial para discriminar os clones (Figura 12a).

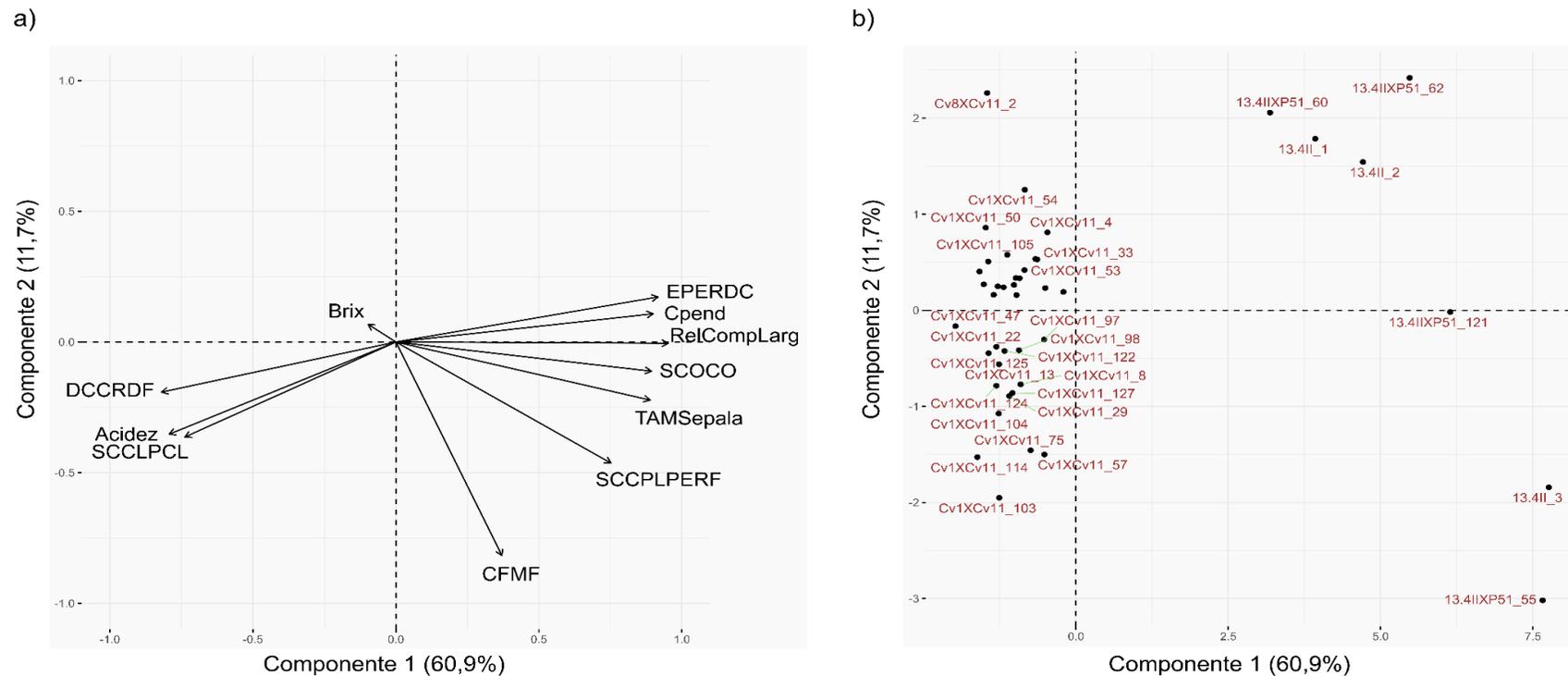


Figura 12. Análise de componentes principais da população de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. para onze características quantitativas, são elas: Espessura externa em relação ao diâmetro do centro - EPERDC; Comprimento do Pedúnculo - CompPed; Relação Comprimento/Largura do fruto - RelCompLarg; Somente cultivares com oco: intensidade do oco - SCOCO; Tamanho de Sépala - TamSépala; Somente cultivares com pescoço: largura do pescoço em relação ao fruto - SCCPLPERF; Ciclo do florescimento à maturação do fruto - CFMF; Somente cultivares com cristas longitudinais: proeminência das cristas longitudinais - SCCLPCL; Acidez; Diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto – DCCRDF. a) representatividade e relação entre características; b) dispersão dos clones com relação aos dois primeiros componentes principais. Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

Em contrapartida, as características dos frutos que apresentaram pouca variação entre os clones foram °Brix, somente cultivares com cristas longitudinais, proeminência das cristas longitudinais e diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto, não evidenciando relevância dessas características para discriminação na população. Esse resultado diverge dos resultados encontrados por Ambrósio et al. (2022) quando a população predominante é de clones de *P. guajava*, cujo diâmetro da cavidade do cálice apresentou relevância na escolha dos genótipos.

As características Brix e Somente cultivares com pescoço, largura do pescoço em relação ao fruto, apresentaram correlação negativa, ou seja, os clones que apresentaram maiores valores para o Brix também apresentaram menores valores para SCCPLPRF. De modo semelhante, a característica espessura externa em relação ao diâmetro do centro apresentou correlação negativa com a característica diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto.

Os clones oriundos dos cruzamentos (Cv1xCv11) apresentaram cristas longitudinais, maiores valores de acidez e diâmetro da cavidade do cálice em relação ao diâmetro do fruto, enquanto os clones oriundos do cruzamento 13.4II x P51 apresentaram formato da extremidade peduncular em forma de pescoço. O indivíduo do cruzamento cv8xcv11 apresentou o maior valor para Brix, seguido dos cruzamentos cv1xcv11. Os resultados aqui observados indicam o potencial da PCA na discriminação dos cruzamentos de *Psidium* spp. para características contínuas, resultado semelhante aos trabalhos de Santos et al. (2011), Kumari et al. (2018) e Silvestre et al. (2022).

3.1.5 CONCLUSÕES

Existe variabilidade genética entre 85 clones provenientes de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp.

Descritores de flores de *Psidium* são menos eficientes para a quantificação da diversidade genética do que descritores de frutos, pois diferentes

espécies de *Psidium* spp. apresentam muitas características em comum para flores.

Descritores de frutos são mais promissores para a quantificação da diversidade genética de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp.

Os clones mais divergentes podem ser utilizados em futuras combinações de cruzamentos para obtenção de uma cultivar comercial.

As características com maiores contribuições na diversidade genética foram: comprimento de pétala, comprimento do estilo e largura da pétala para descritores de flores e relação comprimento/largura; espessura externa em relação ao diâmetro do centro e comprimento do pedúnculo, para descritores de frutos. Essas características devem ser utilizadas para a quantificação de diversidade em futuras populações segregantes.

3.2 SELEÇÃO DE CRUZAMENTOS INTERESPECÍFICOS DE *Psidium spp* RESISTENTES À FERRUGEM DAS MIRTÁCEAS

3.2.1 INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* Linnaeus, 1753) pertence ao grupo das frutíferas nativas de relevância econômica no Brasil (Rozane et al., 2003). Conhecida por seu poder medicinal (Nasser et al., 2018) e por suas características nutricionais (Uzzaman et al., 2018), a goiaba é rica em óleo essencial, fenóis, taninos, fibras alimentares, minerais, vitaminas A e C, superando em quatro vezes os níveis de vitamina C em laranjas (Irshad et al., 2020). Em 2020, o Brasil ocupou a 6ª posição no ranking mundial de produção de goiaba *in natura*, atrás da Índia, Indonésia, México, China e Paquistão (Tridge 2022). Em 2021, a região nordeste do Brasil alcançou o primeiro lugar na quantidade de goiabas produzidas, 281.364 toneladas, seguida pela região sudeste com 221.015 toneladas de frutas (IBGE 2022). O sudeste brasileiro já foi considerado o principal centro produtor de goiaba, mas perdas causadas por complexos de doenças inviabilizaram a produção em diversas regiões.

Estima-se que as doenças de plantas custem à economia global mais de 220 bilhões de dólares por ano (FAO 2021). Para a cultura da goiabeira, duas doenças se destacam pelos danos causados: o declínio da goiabeira, gerado pela interação entre o fitonematoide *Meloidogyne enterolobii* Yang & Eisenback (1983)

e o fungo *Fusarium solani* (Gomes et al., 2014), e a ferrugem das mirtáceas, causada pelo fungo *Austropuccinia psidii* Beenken, 2017.

Nativo da América do Sul, o fungo *A. psidii* foi descrito pela primeira vez como *Puccinia psidii* Winter, 1884, e recentemente reclassificado como *A. psidii* (Beenken 2017). Encontra-se amplamente distribuído por todo o continente americano (Winter 1884; Spegazzini 1889; Maclachlan 1938; Di Stéfano et al., 1998), nas ilhas do Pacífico (Uchida et al., 2006), na Ásia (McTaggart et al., 2016) e na Austrália (Carnegie et al., 2010; Carnegie et al., 2015). O fungo é descrito colonizando diferentes gêneros de plantas da família Myrtaceae, especialmente *Eucalyptus* spp., *Psidium* spp. e *Eugenia* spp. (Mendes e Urban, 1998), com grande potencial de extermínio de áreas de cultivo, como já relatado para a cultura do eucalipto em 1986 (Demuner e Alfenas, 1991).

Austropuccinia psidii é um fungo que pertence à classe dos fungos biotróficos (Bedendo, 1995), com alta especificidade para hospedeiros da família Myrtaceae, infectando cerca de 70 espécies em vários gêneros (Farr e Rossman, 2010), com variabilidade genética dentro e entre populações (Graça et al., 2011). Tem quatro fases do ciclo de vida bem definidas (écio, urédia, telia e basídio) (Figueiredo et al., 1989; Ferreira 1989). O fungo penetra fixando-se na superfície da planta por meio do apressório. A penetração em geral é direta, através da cutícula, e o fungo coloniza o mesófilo ou parênquima, emitindo haustórios no interior das células hospedeiras, das quais retira nutrientes. Na goiabeira, a infecção prevalece em tecidos verdes e tenros, tais como folhas jovens de mudas e brotos, botões, flores e frutos jovens de árvores adultas (Ferreira, 1989).

As condições ambientais ideais para a proliferação do fungo são temperaturas na faixa de 18 a 25°C, períodos prolongados de molhamento foliar, principalmente em dias mais curtos, e umidade relativa do ar superior a 90% por dias consecutivos (Ruiz et al., 1989). Essas condições são compatíveis com as encontradas nas regiões norte e noroeste do Rio de Janeiro durante a estação chuvosa, tornando a ferrugem a principal doença fúngica em Campos dos Goytacazes - RJ (Silveira et al., 1997). A ausência de controle leva a perdas na produção, pois, uma vez que os frutos são acometidos pelo fungo, as lesões os tornam indisponíveis para comercialização.

O método de controle mais utilizado ainda é a aplicação de fungicidas, considerando que a principal cultivar do Brasil (cv. Paluma) não apresenta

resistência à ferrugem (Pereira e Nachtigal, 2009). Esse fato torna o cultivo mais caro além de ser ambientalmente nocivo pela possibilidade de contaminação do solo e dos lençóis freáticos pelo acúmulo de agrotóxicos por anos de aplicação na lavoura (Komárek et al., 2010). O desenvolvimento de cultivares com alta produtividade e resistência às principais doenças da goiabeira é um objetivo que pode ser alcançado por cruzamentos interespecíficos envolvendo *P. guajava* e espécies silvestres do gênero.

Visando à introdução de genes de resistência ao nematoide *M. enterolobii*, Gomes et al. (2016) obtiveram uma população segregante de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. Os mesmos autores estudaram a herança da resistência ao complexo da doença (*M. enterolobii* e *F. solani*), que resultou na obtenção de híbridos imunes, suscetíveis e resistentes. Os clones obtidos dessa população que apresentaram resistência ao nematoide foram caracterizados morfológicamente e em nível molecular (Santos et al., 2020) e constituíram a população de trabalho para avaliação da resistência à ferrugem, causada por *A. psidii*.

A resistência é uma característica quantitativa com limiar que embora apresente duas classes fenotípicas bem definidas (ausência ou presença) é uma característica quantitativa por ser determinada por múltiplos fatores genéticos e ambientais (Pierce, 2016). Para a avaliação de clones resistentes, é conveniente utilizar caracteres de fácil mensuração e alta herdabilidade. Em condições de inoculação artificial, é possível determinar o período latente (PL), que é definido como o tempo decorrido entre a inoculação do patógeno no hospedeiro e o aparecimento dos primeiros sintomas da doença (Gasparotto et al., 2016), que está relacionada à virulência do patógeno e indica o sucesso da inoculação do fungo (Ferreira et al., 2017). O período infeccioso (PI) é quando uma lesão permanece esporulando (Gasparotto et al., 2016) e está diretamente relacionado à agressividade do patógeno. Ambas as características são fáceis de medir e altamente herdáveis (Ferreira et al., 2017). Também é comum o uso de escalas de severidade ou incidência do patógeno para quantificar a doença. Para a ferrugem, usar escalas de severidade pode levar a imprecisões. Alguns autores sugerem estimar a frequência de infecção por contagem de pústulas por área foliar em razão de ser objetiva, precisa e reprodutível (Bade e Carmona 2011; Gallego-Sánchez et al., 2020).

Em espécies perenes, é comum a perda de plantas ao longo dos anos de avaliação. Isso implica um desbalanceamento entre os tratamentos, fazendo com que não atendam aos pressupostos de normalidade dos resíduos. Nessas condições, visando a proporcionar maior precisão de seleção, modelos lineares mistos (REML/BLUP) permitem a comparação entre clones de experimentos desbalanceados (Resende 2004). Esses modelos têm sido bem aceitos em experimentos com progênies frutíferas e florestais para avaliar a resistência à ferrugem (Pereira et al., 2013; Pinto et al., 2014; Ferreira et al., 2017).

Este estudo teve como objetivo selecionar plantas individuais de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. resistentes à ferrugem das mirtáceas (*A. psidii*), via modelos mistos (REML/BLUP).

3.2.2 REVISÃO DE LITERATURA

3.2.2.1 Histórico do programa de melhoramento genético de goiabeira da UENF

O programa de melhoramento genético de goiabeira da UENF teve início em 2007 com o estudo de diversidade genética via marcadores moleculares em 20 acessos de *P. guajava* coletados da região norte e noroeste fluminense para composição da população inicial de melhoramento (Pessanha et al., 2011).

Seguindo essa linha de pesquisa, foi quantificada a diversidade genética por meio de descritores morfoagronômicos de frutos de cruzamentos biparentais de 138 acessos de *P. guajava*, utilizando a estratégia Ward-MLM, e feito um estudo da formação de grupos heteróticos desses 138 acessos de *P. guajava* por meio de redes neurais artificiais (Campos et al., 2013; Campos et al., 2016). Foi feita também uma seleção via modelos mistos das famílias mais promissoras de cruzamentos biparentais para características agronômicas (Quintal et al., 2017).

Inicialmente o programa estava centrado em detectar genótipos superiores no que tange à característica de qualidade de frutos. Porém, como o entrave para a produção na região estava relacionado a um complexo de doença conhecida por declínio da goiabeira, que é uma associação entre um nematoide e um fungo (*Meloidogyne enterolobii* e *Fusarium solani*) (Gomes et al., 2011), uma

linha de pesquisa foi direcionada para captação de espécies e/ou acessos resistentes ao nematoide.

Assim, foram identificadas espécies de *Psidium* resistentes ao nematoide (Miranda et al., 2012). Entre essas espécies, foram desenvolvidos estudos de divergência genética para características morfoagronômicas da planta, florescimento, flor, frutos e sementes (Bremenkamp, 2015). Alguns desses acessos compuseram o material genético utilizado em cruzamentos interespecíficos entre *P. guajava*, *P. cattleianum* e *P. guineense*. Novecentos e dezessete híbridos foram obtidos e caracterizados morfologicamente quanto às características da folha, massa fresca e seca da parte aérea e raiz e volume de raiz (Almeida, 2017). Além disso, foram desenvolvidos estudos relacionados à herança de resistência a *M. enterolobii*, que trata de uma herança poligênica. Foram selecionados os melhores híbridos via REML/BLUP, a partir dos menores valores para o fator de reprodução do nematoide (Gomes et al., 2016). Também foram determinados os híbridos mais promissores via marcadores moleculares SSR (Santos et al., 2020).

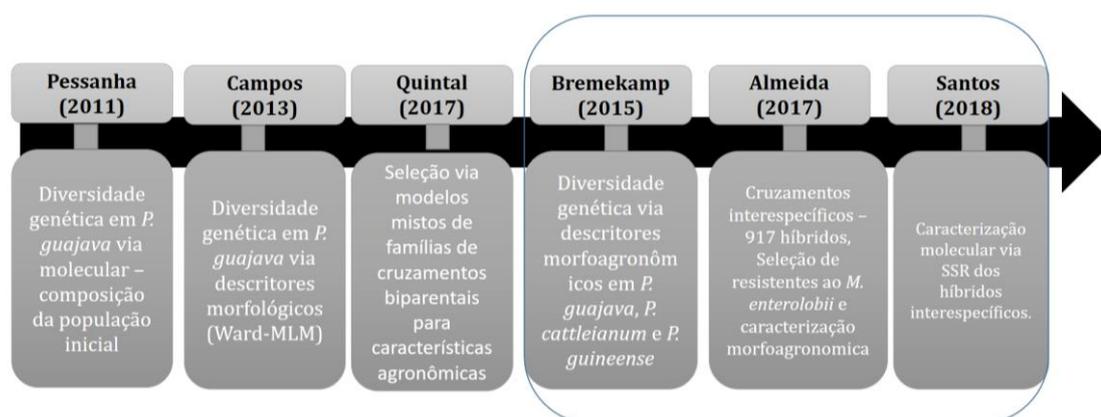


Figura 1. Linha do tempo apresentando os primeiros trabalhos do programa de melhoramento de goiabeira até a obtenção dos híbridos interespecíficos resistente ao *M. enterolobii*.

Para a continuidade na linha de pesquisa de resistência à doença, em 2019 foi desenvolvida uma proposta para avaliar a resistência à ferrugem das mirtáceas nos cruzamentos já anteriormente testados para resistência ao nematoide.

3.2.2.2 Ferrugem das Mirtáceas

Austropuccinia psidii Beenken, 2017, comumente conhecida como ferrugem das mirtáceas, é um fungo parasita obrigatório que pertence à divisão Basidiomycota, ordem Uredinales, com alta especificidade, tendo *forma specialis* e raças fisiológicas (Amorim et al., 2011). Apresenta pleomorfismo ao longo do seu ciclo, com cinco estádios bem definidos (écio, urédia, telia e basídio) (Figueiredo et al., 1989; Ferreira 1989), cada um com uma forma característica de esporos (Day, 1974).

Nativo da América do Sul, o fungo foi descrito pela primeira vez como *Puccinia psidii* Winter, 1884, e reclassificado como *A. psidii* (Beenken, 2017). Sua dispersão ocorre por todo o continente americano (Winter 1884; Spegazzini 1889; Maclachlan 1938; Di Stéfano et al., 1998), nas ilhas do Pacífico (Uchida et al., 2006), na Ásia (McTaggart et al., 2016) e na Austrália (Carnegie et al., 2010; Carnegie et al., 2015). No Brasil, foi descrito pela primeira vez colonizando folhas de goiaba nativa (*P. guajava*) em 1884 e ganhou notoriedade quando foi encontrado infectando vários outros membros da família Myrtaceae, uma característica incomum para a maioria dos fungos da ferrugem (Roux et al., 2013). O fungo é descrito colonizando diferentes gêneros de plantas da família Myrtaceae, especialmente *Eucalyptus* spp., *Psidium* spp. e *Eugenia* spp. (Mendes e Urben 1998) e com grande potencial de extermínio de áreas de cultivo, como relatado para a cultura do eucalipto em 1986 (Demuner e Alfenas, 1991).

O vento é o principal agente de disseminação (Piccinim e Pascholati, 1997). As condições ambientais ideais para iniciar o processo de infecção por *A. psidii* são temperaturas amenas (média de 18 a 20°C, que foram consideradas temperaturas ótimas), baixa intensidade luminosa, baixa velocidade do vento, alta umidade relativa e molhamento foliar (Zauza et al., 2015). A penetração pode ocorrer por aberturas naturais, estômatos (Gibson, 1904), ou de forma direta por meio da cutícula (Hunt, 1968). Os uredósporos em contato com a superfície verde da planta emitem um tubo germinativo que forma um apressório para a fixação na superfície, a partir dele um *peg* de infecção penetra entre as células epidérmicas para estabelecer um micélio intercelular com haustórios que retiram os nutrientes do interior das células dos tecidos tenros das folhas jovens, frutos, flores e brotos do hospedeiro (Hunt, 1968).

Os sintomas podem ser observados cinco dias após a inoculação (Roux et al., 2015). Caracterizam-se pelo surgimento de pequenas pontuações amareladas, pulverulentas e que podem ser perfeitamente observadas nos tecidos jovens de folhas, ramos, botões florais ou frutos (Piccinin e Pascholati, 1997). Com o desenvolvimento da doença, as lesões evoluem até coalescerem, ocupando grandes porções do tecido vegetal (Silveira, 1951; Piccinin e Pascholati, 1997). Nas folhas, as lesões são circulares e de coloração marrom ou palha. Nos botões florais e frutos, os danos em geral são mais severos, as lesões mostram-se necróticas, de coloração negra (Piccinin e Pascholati, 1997).

Uma relação linear foi verificada para perdas na produção de goiabeira quando botões e frutos apresentaram ferrugem (Martins et al., 2014). Também há relatos de perdas em torno de 80 a 100% na produção, inviabilizando a comercialização de frutos de goiabeira com a presença do fungo na ausência de controle (Ferrari et al., 1997; Rocabado, 1998). Assim, a ferrugem das mirtáceas é considerada uma das principais doenças da goiabeira (Piccin e Pascholati, 1997).

A melhor estratégia de controle seria o uso de variedades resistentes. Porém, até o momento, não há relato de variedades com níveis satisfatórios de resistência. De acordo com Piccinin e Pascholati (1997), uma variedade conhecida como “Guanabara” foi registrada como resistente para ferrugem, não tendo apresentado comportamento variável no campo em relação a essa característica. Dessa forma, o método de controle que vem sendo mais empregado para minimizar os danos causados pela doença é a aplicação periódica de fungicidas (Martins et al., 2014) e o manejo da poda de condução (Piccinin e Pascholati, 1997).

3.2.2.3 Modelos lineares mistos no melhoramento genético de plantas perenes

Os primeiros trabalhos sobre os modelos lineares mistos foram aplicados para o melhoramento animal (seleção de touros) por Henderson em 1973. No intuito de contornar problemas das metodologias disponíveis para seleção de touros, Henderson desenvolveu um modelo que considerava os efeitos fixos desconhecidos, grande número desigual de dados, que não tivesse viés na seleção. Já em 1971, Patterson e Thompson propuseram um método de recuperação de informações entre blocos para situações de delineamentos com

blocos desbalanceados. Mais adiante, esses métodos foram testados e aplicados no melhoramento de espécies perenes (Resende et al., 1993; Farias Neto e Resende, 2001; Atroch et al., 2004; Garcia e Nogueira, 2005).

Em espécies perenes, a modelagem mista via Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Não Viesada (REML/BLUP) mostrou-se uma ferramenta útil. Isso porque na experimentação de campo é comum o desbalanceamento de dados por perdas de plantas e parcelas, desiguais quantidades de sementes e mudas disponíveis, diferentes números de repetições por experimento e diferentes delineamentos experimentais, além da não avaliação de todas as combinações genótipo-ambiente, entre outros fatores (Viana e Resende, 2014).

Assim, os modelos lineares mistos (REML/BLUP) promovem simultaneamente a estimação dos componentes de variância e a predição de valores genéticos no melhoramento genético de plantas perenes (Resende, 2000). Esses modelos têm como vantagem permitir a comparação entre clones oriundos de experimentos desbalanceados, com relação de parentesco e com dados que não atendam os pressupostos de normalidade (Resende, 2004).

Essa metodologia vem sendo utilizada na predição de ganhos genéticos em genótipos de cafeeiro e de eucalipto, resistentes à ferrugem (Pereira et al, 2013; Ferreira et al, 2017), em estudos em espécies de *Psidium* spp. na seleção de genótipos mais produtivos (Quintal et al., 2017; Santos et al., 2011; Ambrósio et al., 2021), e também na avaliação de resistência a doenças (Gomes et al., 2016; Santos et al., 2018).

3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.3.1 População avaliada

A população avaliada tem como origem cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. previamente obtidos por Gomes et al. (2016) e testados quanto à resistência ao nematoide das galhas *M. enterolobii*. Apenas os genótipos que

apresentaram resistência ao nematoide foram selecionados para posterior avaliação da resistência à ferrugem (Tabela 1).

Tabela 1. População de genótipos resistentes a nematoides (*M. enterolobii*) de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp., número de famílias, genitores, código do clone que compõem a população de trabalho para avaliação da resistência à ferrugem.

Família	Genitores ^{1,2}	Código do clone
1	<i>P. guajava</i> (13.4II) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P33) ²	21
2	<i>P. guajava</i> (13.4II) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P33) ²	15
3	<i>P. cattleianum</i> (CV8) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	22
4	<i>P. cattleianum</i> (CV8) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	23
5	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	3
6	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	13
7	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	16
8	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	18
9	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	6
10	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	19
11	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	17
12	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	9
13	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	8
14	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	4
15	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	11
16	<i>P. guineense</i> (P36) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P11) ²	5
17	<i>P. guajava</i> (13.4II) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P51) ²	12
18	<i>P. guajava</i> (13.4II) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P51) ²	24
19	<i>P. guajava</i> (13.4II) ¹ x <i>P. cattleianum</i> (P51) ²	25
20	<i>P. cattleianum</i> (CV1) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	14
21	<i>P. cattleianum</i> (CV1) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	10
22	<i>P. cattleianum</i> (CV1) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	2
23	<i>P. cattleianum</i> (CV1) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	26
24	<i>P. cattleianum</i> (CV1) ² x <i>P. guineense</i> (CV11) ¹	7
25	<i>P. guajava</i> (cv. Paluma controle positivo)	1
26	<i>P. guajava</i> (cv. Paluma controle negativo)	20

¹ e ² representam os genótipos suscetíveis e resistentes a *M. enterolobii*, respectivamente (Miranda et al., 2012).

3.2.3.2 Área de estudo, delineamento e condução experimental

O experimento foi conduzido em telado protegido por sombrite de malha 70% nas laterais e 50% na cobertura, com pé direito de 3,0 metros, localizado na área experimental da UENF, situado no município de Campos dos Goytacazes – RJ (latitude 21°44' S, longitude 41°19'W). Segundo Köppen e Geiger, a classificação do clima da região de Campos dos Goytacazes é tropical Aw, com 23.9 °C de temperatura média e pluviosidade média anual de 1112 mm, com verão chuvoso e inverno seco (Merkel, 2021).

O experimento teve 24 cruzamentos interespecíficos e a testemunha (*P. guajava* = Cultivar Paluma), inoculada e não inoculada. O delineamento experimental consistiu em blocos ao acaso com quatro repetições desbalanceadas e uma planta por parcela. O plantio foi feito em março de 2020. As plantas foram mantidas em vaso com capacidade para 20L, preenchido com uma mistura de terra preta, substrato (Basaplant®) e areia, na proporção de 3:2:1, respectivamente. Os tratos culturais consistiram em poda de condução e de limpeza, também foram feitos o controle de pragas via aplicação de inseticida e o controle do mato via limpeza dos vasos. A adubação foi feita segundo recomendação de Natale et al. (1996), adaptado para vaso. Também foi feita uma poda 50 dias antes da inoculação, no intuito de padronizar as folhas jovens para a inoculação artificial.

3.2.3.3 Inoculação

Foi feita inoculação artificial do fungo *Austropuccinia psidii* em setembro de 2020. A avaliação ocorreu no período de setembro a outubro de 2020.

Os dados meteorológicos de acordo com INMET (2020) para o período de avaliação são apresentados na Figura 1.

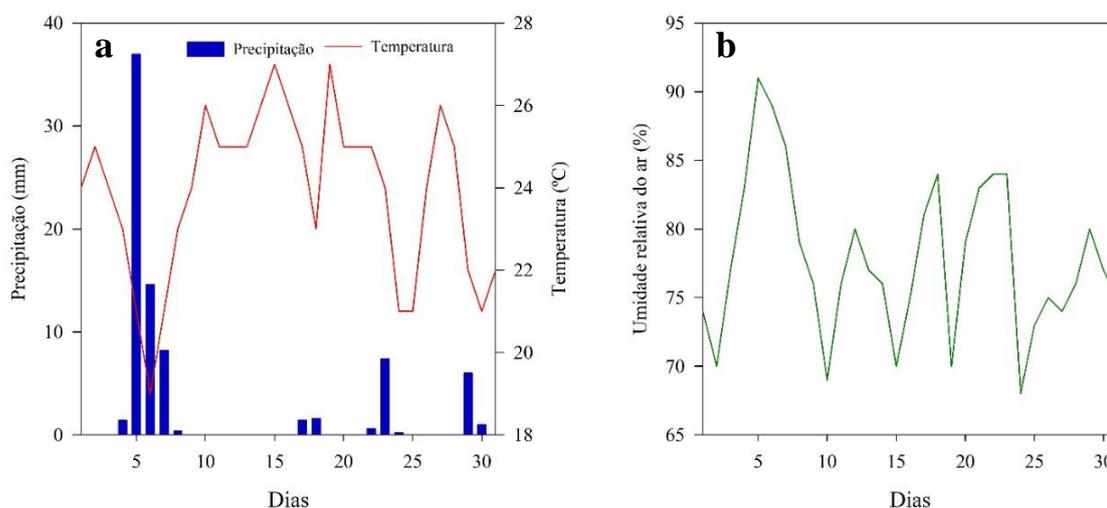


Figura 1. Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura (°C) (a) e umidade relativa do ar (%) (b) para o período de avaliação, 18 de setembro de 2020 a 18 de outubro de 2020, município de Campos dos Goytacazes – RJ (fonte: INMET, 2020).

Para garantir o sucesso na infecção via inoculação artificial da ferrugem, é necessário que o ambiente apresente umidade superior a 90% por, no mínimo, oito horas seguidas e temperaturas amenas variando entre 18°C e 25°C (Ruiz, 1989). Tais condições foram observadas nos dias que se sucederam à inoculação (dia 5) (Figura 1).

A fonte de inóculo foi obtida no pomar localizado no Colégio Agrícola Antônio Sarlo, Campos dos Goytacazes – RJ. Essas plantas são oriundas de uma população de irmãos completos de *P. guajava* com idade de oito anos, pertencentes ao programa de melhoramento genético de goiabeira da UENF. No dia anterior à inoculação, no período vespertino, folhas, flores e frutos que apresentavam pústulas de ferrugem foram coletados, armazenados em sacos de papel e, em seguida, acondicionados em geladeira (Figura 2a).

Os esporos foram aspirados com o auxílio de uma bomba de vácuo nas pústulas de ferrugem de folhas, botões florais, flores e frutos de goiabeiras adultas (Figura 2b). Foi feita a contagem dos esporos com auxílio de um microscópio estereoscópio e uma câmara de Neubauer (Figura 2c). Foi utilizada uma suspensão de esporos com concentração de $1,8 \times 10^5$ urediniosporos.mL⁻¹, diluídos em água destilada esterilizada com Tween 80 a 0,05% (Figura 2d). Os

dois primeiros pares de folhas jovens do ramo mais jovem da planta foram inoculados com o auxílio de um borrifador (Figura 2e). Nas plantas que apresentavam botões florais, estes órgãos também foram inoculados. Após a inoculação, o ramo inoculado foi recoberto com um saco plástico de cor preta com um chumaço de algodão embebido em água destilada e esterilizada para manter a umidade superior a 90% e o escuro nas 24h seguintes à inoculação (Figura 2f).

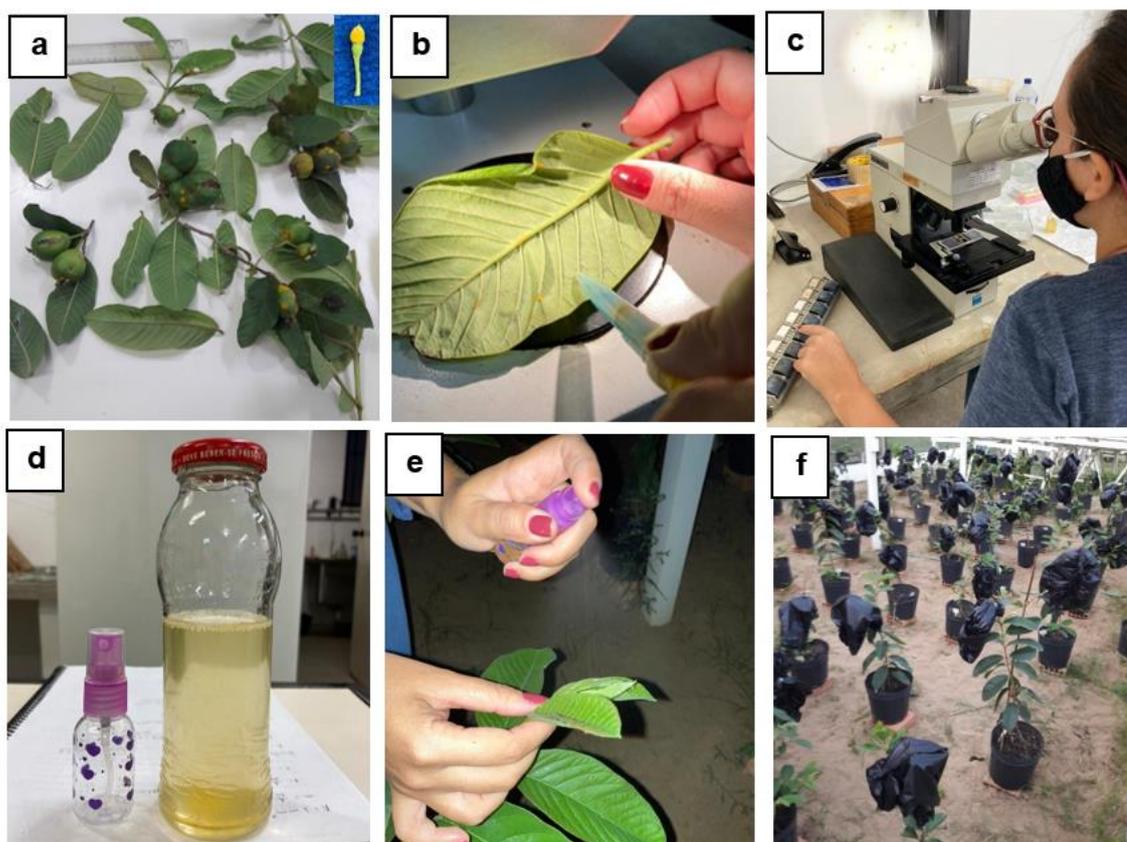


Figura 2. Etapas da inoculação, fonte de inóculo (a), coleta de esporos por sucção em bomba de vácuo (b), contagem de esporos em microscópio estereoscópio e câmera de Neubauer (c), solução de suspensão de urediniósporos calibrada na concentração de trabalho (d), inoculação dos dois primeiros pares de folhas (e), ramo avaliado em câmera úmida, 24 horas após inoculação (f).

As plantas permaneceram em estufa protegida por tela de sombreamento. Segundo dados coletados pelo INMET (2020), a temperatura média mensal foi de 24°C e umidade relativa superior a 75% no período noturno. Essas condições são descritas como adequadas para a proliferação do fungo (Ruiz et al., 1991). Como

controle suscetível, foram utilizadas plantas da cultivar Paluma, que foram inoculadas da mesma forma e mantidas em câmara úmida (controle positivo). Quatro plantas da mesma cultivar foram inoculadas somente com água como controle negativo.

Foi avaliado o período latente, que corresponde à contagem do dia da inoculação até o aparecimento dos primeiros sinais (pústulas) do patógeno, contado em dias. O período infeccioso foi delimitado com um pincel um quadrado ao redor de uma pústula e contado o período em que ela permaneceu esporulando, contado em dias. Também foi avaliada a incidência da doença pela área abaixo da curva do seu progresso (AACPD), para tanto, houve a contagem do número de lesões (pústulas) nas dez folhas do ramo avaliado. As avaliações foram iniciadas cinco dias após a inoculação e continuaram por até um mês.

3.2.3.4 Análise Estatística

3.2.3.4.1 Resistência ao fungo e estimativas de parâmetros genéticos via REML/BLUP

Para a estimativa dos componentes de variância relacionados à doença, foram avaliados o período latente, o período infeccioso e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).

A AACPD (Campbell e Madden 1990) foi calculada com base na fórmula:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} (T_{i+1} - T_i)$$

Em que Y_i = proporção da doença na i -ésima observação;

T_i = tempo em dias da i -ésima observação; e

n = número de observações.

3.2.3.4.2 Análise via modelos mistos (REML/BLUP)

Os valores genotípicos para cada caráter analisado foram estimados pelo software Selegen - REML/BLUP (Resende 2016), a partir do procedimento da Máxima Verossimilhança Restrita (*Restricted Maximum Likelihood* - REML), proposto por Patterson e Thompson (1971), empregando o modelo linear misto para avaliação de clones não aparentados, em blocos ao acaso e uma planta por parcela, conforme o modelo estatístico (Modelo 20 do Selegen):

$$y = Xr + Zg + e,$$

Em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios) e e é o vetor de resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A significância estatística dos efeitos foi obtida pelo método de Análise de *Deviance* ao nível de 1% de probabilidade. Para sua composição, foram seguidos os seguintes passos, conforme Resende (2007): i) obtenção do ponto de máximo do logaritmo da função de verossimilhança residual (Log L) para os modelos com ou sem efeitos a serem testados; ii) cálculo da *Deviance* para modelos com e sem o efeito a ser testado; iii) obtenção da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio* - LR) por meio das diferenças entre as *Deviances* para modelos com e sem o efeito a ser testado; e iv) Teste, via LRT (do inglês, *Likelihood Ratio Test*), da significância da diferença usando o teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade (GL=1)

Conforme o modelo descrito em Viana e Resende (2014), a análise de deviance foi obtida a partir da fórmula:

$$D = -2\ln(L)$$

$$\ln(L) = \frac{1}{2\ln|X'V - 1X|} - \frac{1}{2\ln|V|} - \frac{1}{2} \frac{1}{(y - Xm)'V} - 1(y - Xm)$$

Em que $\ln(L)$ é o ponto máximo da função de logarítmica de máxima verossimilhança restrita (REML), y é o vetor da variável analisada, m é o vetor dos efeitos das observações, assumido fixo, X é a matriz de incidência dos efeitos fixos e V é a matriz de variância-covariância de y . O teste estatístico LRT (teste de razão de máxima verossimilhança) para testar a significância dos efeitos foi obtido da seguinte fórmula:

$$-2 \ln \left(\frac{L_{se}}{L_{fm}} \right)$$

LRT:

Em que, L_{se} é o ponto máximo da função de máxima verossimilhança para o modelo reduzido (sem os efeitos) e L_{fm} é o ponto máximo da função de máxima verossimilhança para o modelo completo e comparado pelo teste de Qui-quadrado (X^2) com graus de liberdades a 1 e 5%, respectivamente.

Os seguintes componentes de variâncias e parâmetros genéticos foram estimados:

σ_g^2 : Variância genotípica.

$$\sigma_g^2 = V_A + V_D + V_I$$

σ_e^2 : Variância ambiental.

σ_f^2 : Variância fenotípica individual.

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$$

$h_g^2 = h_2$: Herdabilidade individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais.

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2}$$

h_{mc}^2 : Herdabilidade da média de genótipo (clone).

$$h_{mc}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r} + \frac{\sigma_d^2}{nr}}$$

Acclon: acurácia da seleção de genótipos.

$$\hat{r}_{aa} = \sqrt{h_{mc}^2}$$

CVg%: coeficiente de variação genotípica.

$$CVg (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}}$$

CVe%: coeficiente de variação residual.

$$CVe (\%) = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{X}}$$

CVr = CVg/CVe = coeficiente de variação relativa.

$$\tilde{b} = \frac{CVg}{CVe}$$

Para verificar se houve incremento no ganho genético, foram utilizadas as estratégias de seleção via procedimento REML/BLUP em que os clones foram ranqueados de acordo com os valores genotípicos encontrados para cada característica, para a característica AACPD, o ranqueamento foi inverso (menor para o maior), tendo os dez melhores clones sido selecionados para cada característica.

3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada significância para efeito genótipo pela análise de *Deviance* a 1% de probabilidade para todas as características avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de *Deviance* para características de período latente (dias), período infeccioso (dias), AACPD de 24 clones de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp e testemunhas, para resistência à ferrugem das mirtáceas *A. psidii*.

Efeito	Características					
	Período latente		Período infeccioso		AACPD	
	Deviance	LRT(X ²)	Deviance	LRT(X ²)	Deviance	LRT(X ²)
Genótipo ⁽¹⁾	391,58	11,45**	436,14	18,4**	797,02	9,25**
Modelo completo	380,13	-	417,74	-	787,77	-

⁽¹⁾Análise de *Deviance* do modelo ajustado sem o efeito de genótipos, ⁽²⁾ teste da razão de verossimilhança (LRT), com um grau de liberdade, ^{ns}Não significativo e ^{**}significativo a 1% de probabilidade pelo teste de X^2 (1% = 6,63; 5% = 3,84)

Verificou-se variabilidade genética entre os diferentes clones obtidos de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. para as características relacionadas à resistência genética à ferrugem, o que sugere a possibilidade de seleção de clones resistentes à doença. Pinto et al. (2014), utilizando modelos mistos (MM) para avaliar a variabilidade genética em progênies de *E. dunnii* Maiden para resistência à ferrugem (*A. psidii*), verificaram variabilidade genética com indivíduos imunes à doença, o que evidencia o potencial dos MM para seleção e melhoramento da espécie.

A variância fenotípica é a soma dos efeitos de todas as fontes de variação genética e ambiental que contribuem para a expressão do fenótipo. No presente trabalho, para a variância fenotípica total das características avaliadas, houve contribuição de 40,93% da variância genética σ_g^2 para o período latente (PL), 48,02% para o período infeccioso (PI) e 33,89% para AACPD (Tabela 3). De modo semelhante, as características período latente, período infeccioso e AACPD apresentaram valores elevados para o componente de variância ambiental σ_e^2 , respectivamente, 28,85; 43,88 e 5702,32 (Tabela 3). Esses resultados inferem que essas características são fortemente influenciáveis pelas condições ambientais. Caracteres quantitativos são em geral controlados por vários genes e fortemente influenciados pelo ambiente (Falconer, 1993), sendo, assim, necessária uma maior homogeneização das condições ambientais.

Tabela 3. Componentes de variância e parâmetros genéticos para as características período latente, período infeccioso, AACPD de 24 clones de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. e duas testemunhas para resistência à ferrugem das mirtáceas *A. psidii*.

Componentes de variância	Características		
	Período latente	Período infeccioso	AACPD
σ_g^2	20,00	40,55	2923,23
σ_e^2	28,85	43,88	5702,32
σ_f^2	48,86	84,43	8625,56
CVe %	73,01	80,64	140,93
CVg %	60,79	77,53	100,91
CVr = CVg/CVe	0,83	0,96	0,71
\tilde{h}_g^2	0,40	0,48	0,33
\tilde{h}_{mc}^2	0,73	0,78	0,67
Acclon	0,85	0,88	0,81
Média geral	7,35	8,21	53,57

Estimativas das variâncias genéticas σ_g^2 , variância ambiental σ_e^2 , coeficiente de variância fenotípica σ_f^2 , coeficiente de variação experimental CVe %, coeficiente de variação genética CVg %, índice de variação (IV = CVg/CVe), herdabilidade individual de sentido amplo (\tilde{h}_g^2), herdabilidade da média de clones (\tilde{h}_{mc}^2) e média geral do experimento.

O coeficiente de variação relativa ($CVr = CVg/CVe$) indica as chances de ganhos com a seleção com base na magnitude do seu valor (Vencovsky, 1987), sendo favorável quanto mais próximo ou superior a 1,0. Os elevados valores de CVe contribuíram para valores menores de CVr nas três características mensuradas, embora seja possível observar que, para a característica PI, a relação de CVr foi mais próxima de 1,0, o que é favorável para ser utilizada na seleção indireta de clones resistentes.

A herdabilidade individual no sentido amplo (\hat{h}_G^2) é uma relação que capta os efeitos genotípicos totais, sendo adequada para plantas de propagação vegetativa, pois toda a variação genética é transmitida à descendência. No presente estudo, os valores de herdabilidades individuais no sentido amplo (\hat{h}_G^2) apresentaram-se com magnitude média, segundo a classificação de Resende (2002), em que a herdabilidade é considerada de média magnitude no intervalo de 0,15 a 0,50. Ferreira et al. (2017), avaliando clones de eucalipto para resistência à ferrugem, também observaram valores medianos para herdabilidade no sentido amplo de 0,25 e 0,45 para as características de período infeccioso e período latente, respectivamente.

A herdabilidade média de clones (\hat{h}_{mc}^2) apresentou elevados valores segundo a classificação supracitada, e isto se deve ao fato de a herdabilidade média apresentar maior nível de precisão, tendo em vista a mitigação do erro experimental pelo incremento do número de repetições. Nesse estudo, foram obtidos valores de \hat{h}_{mc}^2 de 0,67; 0,73 e de 0,78 para as características AACPD, período latente e período infeccioso, respectivamente. Valores altos de herdabilidade individual e na média dos clones possibilitam a seleção de clones oriundos de cruzamentos interespecíficos resistentes a *A. psidii* (Ferreira et al., 2017).

É comum que características relacionadas à resistência sejam reguladas por genes de maior efeito, ou seja, com herança do tipo poligênica/oligogênica. Alguns estudos relacionados ao patossistema da ferrugem na cultura do eucalipto sugerem herança do tipo monogênica (Junghans et al., 2004; Teixeira et al., 2009) ou oligogênica (Mamani et al., 2010).

A acurácia é a correlação entre os valores genéticos preditos e os verdadeiros e indica quão bem a estimativa apurada representa o verdadeiro valor genético. A acurácia para as três características avaliadas apresentou valores de

alta magnitude, acima de 0,80 (Tabela 3). Isso indica alta confiabilidade dos valores genotípicos preditos (Resende e Alves, 2022).

3.2.4.1 Seleção individual de clones

Para os 24 clones oriundos de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. e as testemunhas, o ranqueamento foi feito segundo os ganhos genéticos preditos e as novas médias estimadas de dez clones para cada característica. O ranqueamento foi feito de acordo com os menores ganhos genéticos e menores médias preditas para as três características (PL, PI e AACPD), visto que a relação de resistência à doença para as características se corresponde inversamente (Tabela 4).

Para as três características avaliadas foi possível observar clones imunes, resistentes e suscetíveis. Todos os clones oriundos dos cruzamentos [*P. cattleianum* (CV1) x *P. guineense* (CV11)] e [*P. cattleianum* (CV8) x *P. guineense* (CV11)] não apresentaram sinais do patógeno, ou seja, foram imunes. Os clones oriundos desses cruzamentos apresentam na camada cuticular das folhas cerosidade espessa, o que indica existência de um mecanismo de defesa. Todos os tecidos vegetais contêm barreiras estruturais previamente formadas, que ajudam a limitar a fixação, a invasão e a infecção de patógenos (Freeman e Beattie, 2008).

Para o PL, ao considerar a média dos dez clones selecionados para resistência com base nessa característica (Tabela 4) com a média geral que foi de 7.35 (Tabela 3) para essa característica, foi possível observar que os ganhos genéticos variaram de 0,00 (testemunha) a 1,95 (clone 22). Essa característica permitiu a seleção de todos os clones imunes que pertencem aos cruzamentos CV1 x CV11 e CV8 x CV11 e o clone 11 do cruzamento [*P. guineense* (P36) x *P. cattleianum* (P11)], que apresentou resistência à ferrugem. Ferreira et al. (2017) observaram médias de dia de PL variando de 3 a 14,5 dias após a inoculação (dai) em genótipos de eucalipto. Nesse trabalho, o PL variou de 10 a 22 dai (Figura 3).

Tabela 4. Valores de ganho genético e nova média predita para as características período latente, período infeccioso e AACPD dos 24 clones de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. e testemunhas para resistência à ferrugem das mirtáceas *A. psidii*.

Período latente				Período infeccioso				AACPD			
Ordem	Clone	Ganho genético	Nova Média	Ordem	Clone	Ganho genético	Nova Média	Ordem	Clone	Ganho genético	Nova Média
1	20	0,0000	7,3569	1	20	0,0000	8,2141	1	20	0,0000	53,5791
2	14	0,2163	7,5732	2	14	0,2586	8,4727	2	14	1,5034	55,0197
3	10	0,4506	7,8075	3	10	0,5388	8,7529	3	10	3,1322	56,5804
4	26	0,7053	8,0622	4	2	0,8433	9,0574	4	1	4,9025	58,2767
5	2	0,9439	8,3008	5	26	1,1568	9,3709	5	2	6,5100	60,0891
6	7	1,1991	8,5560	6	7	1,4759	9,6900	6	7	8,2708	61,8499
7	11	1,4482	8,8051	7	1	1,7952	10,0093	7	19	10,1113	63,6904
8	23	1,7026	9,0595	8	23	2,1471	10,3612	8	26	12,1410	65,7201
9	22	1,9557	9,3127	9	22	2,4918	10,7059	9	17	14,2754	67,8546
10	1	2,2387	9,5956	10	17	2,8772	11,0913	10	16	16,5764	70,1555
11	3	2,5443	9,9012	11	11	3,1659	11,3800	11	9	19,1063	72,6855
12	6	2,7559	10,1128	12	6	3,4931	11,7072	12	23	21,4591	75,0383
13	17	2,9846	10,3415	13	16	3,8531	12,0672	13	22	24,1230	77,7022
14	18	3,1778	10,5348	14	3	4,2411	12,4552	14	13	27,1967	80,7759
15	13	3,3267	10,6836	15	25	4,6578	12,8719	15	21	30,5101	84,0893
16	24	3,4692	10,8262	16	24	5,1438	13,3579	16	3	34,0517	87,6308
17	19	3,6178	10,9747	17	18	5,7227	13,9368	17	24	38,2352	91,8143
18	12	3,7835	11,1404	18	19	6,3991	14,6132	18	4	42,8113	96,3904
19	21	3,9447	11,3017	19	15	6,9003	15,1144	19	8	48,2678	101,8469
20	15	4,1443	11,5013	20	8	7,4460	15,6601	20	18	53,9945	107,5736
21	4	4,4025	11,7595	21	5	8,0263	16,2404	21	6	61,3360	114,9151
22	9	4,4938	11,8508	22	21	8,5240	16,7381	22	25	70,6058	124,1849
23	8	4,5345	11,8914	23	13	9,0491	17,2632	23	11	83,8647	137,4438
24	25	4,6022	11,9592	24	9	9,6291	17,8432	24	5	93,7444	147,3235
25	16	4,6427	11,9997	25	4	10,2973	18,5114	25	12	106,5299	160,1090
26	5	4,6987	12,0556	26	12	10,6541	18,8682	26	15	132,6744	186,2535

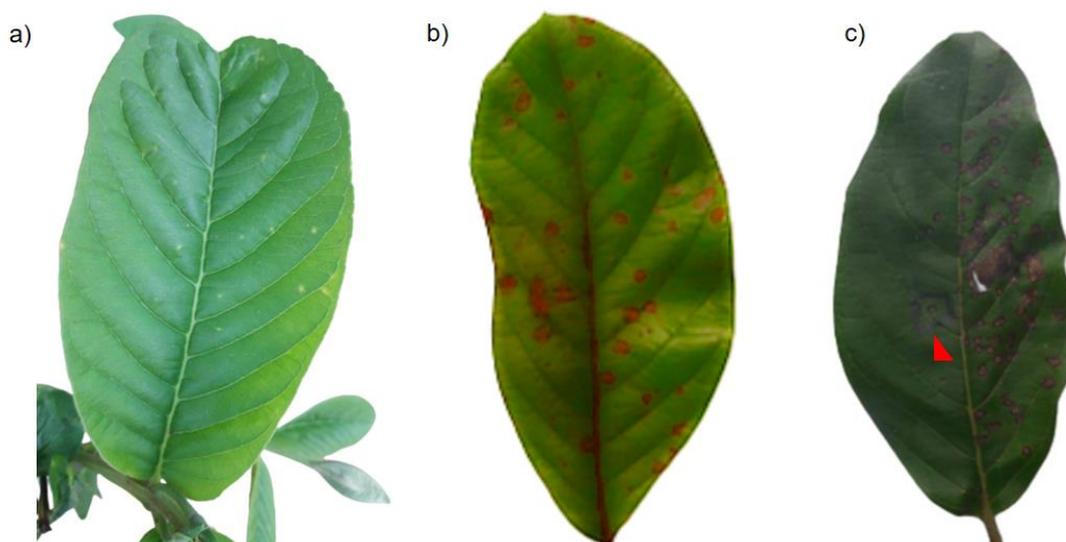


Figura 3. Folhas de cruzamentos interespecíficos de *Psidium* spp. inoculadas com *A. psidii* com 10 (a), 20 (d, e, f) e 35 (g, h) dias após a inoculação (dai). Seta indicando a marcação da pústula.

Os primeiros sinais do patógeno surgiram com 10 dai (Figura 3a), apresentando-se em pequenas pontuações com centro amarelado com um halo esbranquiçado e translúcido, que evoluíram para cor amarela intensa (Figura 3b), distribuídas por todo o limbo foliar inoculado, os soros permaneceram esporulando com algumas lesões coalescendo até o final do ciclo (Figura 3c).

Para a avaliação do PI, uma marcação da pústula foi feita com um marcador conforme apresentado na Figura 3c (seta) e contados os dias em que a pústula permaneceu esporulando. Considerando a média dos dez clones selecionados com a média geral para essa característica, os ganhos variaram de 0,00 a 2,87 e as médias preditas, de 8,21 a 11,09. É importante destacar que, para essa característica, os ganhos devem ser o menor possível visto que quanto menor o PI, menor é o tempo em que uma lesão permanece esporulando, ou seja, produzindo propágulos infectivos (Gasparotto et al., 2016). Os dez clones selecionados pela característica PI pertencem a três cruzamentos oriundos dos genótipos [*P. guineense* (P36) x *P. cattleianum* (P11)]; [*P. cattleianum* (CV1) x *P. guineense* (CV11)] e [*P. cattleianum* (CV8) x *P. guineense* (CV11)], além das duas testemunhas *P. guajava* (cv. Paluma).

Segundo Campbell e Madden (1990), a AACPD corresponde à intensidade da doença integrada entre dois tempos. Para o estudo em questão, a

intensidade da doença foi mensurada pela contagem do número de lesões nas folhas. Foi possível observar que os dez clones selecionados apresentaram ganho genético variando de 0,00 a 16,57 e novas médias variando de 53,57 a 70,15 (Tabela 4). Os dez clones selecionados pela característica AACPD pertencem a dois cruzamentos, [*P. guineense* (P36) x *P. cattleianum* (P11)] e [*P. cattleianum* (CV1) x *P. guineense* (CV11)], além da testemunha *P. guajava* (cv. Paluma), controle negativo.

3.2.5 CONCLUSÕES

O uso de modelos mistos revelou a existência de variabilidade genética para resistência à ferrugem.

Os clones provenientes dos cruzamentos Cv1x Cv11 e Cv8 x Cv11 foram imunes à ferrugem.

Foi detectada variabilidade no cruzamento P36 x P11 com clones resistentes e suscetíveis. Os clones 11, 16, 17 e 19 desse cruzamento foram selecionados para resistência à ferrugem.

Os resultados aqui obtidos indicam a seleção de cruzamentos interespecíficos imunes e resistentes à ferrugem para uso em futuras recombinações com genótipos superiores de *P. guajava* e continuidade do programa de melhoramento na cultura da goiabeira.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrao, F.Y., Costa, H.M., Fuiza, T.S., Romano, C.A., Ferreira, H.D., Cunha, L.C., Oliveira Neto, J.R., Paula, J.R. (2021) Anatomical study of the leaves and evaluation of the chemical composition of the volatile oils from *Psidium guineense* Swartz leaves and fruits. *Res., Soc. Dev.*, 10 (6): e49110615929.
- Almeida, E.J.; Santos, J.M.; Martins, A.B.G. (2009) Resistência de goiabeiras e araçazeiros a *Meloidogyne mayaguensis*. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 44:421–423.
- Almeida, O. F. (2017) *Cruzamentos interespecíficos e resistência ao Meloidogyne enterolobii em Psidium spp.* Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 78p.
- Amaral Júnior, A. T. do, Viana, A. P., Gonçalves, L. S. A., Barbosa, C. D. (2010). Procedimentos Multivariados em Recursos Genéticos Vegetais. *In: Pereira, T. N. (org) Germoplasma: Conservação, Manejo e Uso no Melhoramento de Plantas.* Viçosa: Arca, 205 - 250.
- Ambrósio, M., Viana, A. P, Ribeiro, R.M., Preisigke, S.C., Cavalcante, N.R., Silva, F.A., Torres, G.X., Sousa, C.M.B. (2021) Genotypic superiority of *Psidium*

guajava s1 families using mixed modeling for truncated and simultaneous selection. *Sci. Agric.*, 78:1-9.

Ambrósio, M., Viana, A.P., Cruz, D.P., Preisigke, S.C., Cavalcante, N.R., Gonçalves Júnior, D. H., Amaral, B.D., Amaral, B.D., Amaral Júnior, A.T., Santana, J.G.S., Crevelari, J.A., Daher, R.F., Souza, Y.P. (2022) Categories of variables in analysis of genetic diversity in S₁ progenies of *Psidium guajava*. *Sci Rep.*, 12:22367.

Amorim, L., Rezende J.A.M., Bergamin Filho, A. (2011). *Manual de Fitopatologia. V1 – Princípios e Conceitos*. 4.ed. Ceres: São Paulo, 704p.

Atroch, A.L., Resende, M.D.V., Nascimento Filho, F.J. (2004) Seleção clonal em guaranazeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). *Rev. Cienc. Agrar*, 41: 193-201.

Bade, C.I.A, Carmona, M.A. (2011) Comparison of methods to assess severity of common rust caused by *Puccinia sorghi* in maize. *Trop Plant Pathol.* 36(4): 264-266.

Barradas, Y. M., Borsoi, F.T., Dacoreggio, M.V., Moroni, L.S., Bonadiman, B.S.R., Marafon, F., Giacobbo, C.L., Bagatini, M.D., Kempka, A. P. (2023) Phytochemical profiling, antidiabetic, antitumoral and cytotoxic potential of *Psidium cattleianum* Afzel. ex Sabine leaves of red variety. *Nat. Prod. Res.*, 37(4): 608-612.

Bedendo, I.P. (1995) Ferrugens. *In*: Bergamin Filho, A.; Kimati, H.; Amorin, L. *Manual de fitopatologia*. 3.ed. Piracicaba: Ceres, 48:872-880.

Beenken, L. (2017) Austropuccinia: a new genus name for the myrtle rust *Puccinia psidii* placed within the redefined family Sphaerophragmiaceae (*Pucciniales*). *Phytotaxa* 297:53–61.

- Beltrame, B.M., Klein-Junior, L.C., Schwanz, M., Henriques, A.T. (2021) *Psidium* L. genus: A review on its chemical characterization, preclinical and clinical studies. *Phytother. Res.* 35(9):4795-4803.
- Bezerra, J.E.F., Lederman, I.E., Silva Júnior, J.F., Proença, C.E.B. (2006) Araçá. *In: Vieira, R. F., Costa, T.S.A., Silva, D.R., Ferreira, F.R., Sano, S.M. (Ed.). Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil.* Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 42-62.
- Bezerra, J.E.F., Silva Junior, J. F., Lira Junior, J. S. (2018) *Psidium guineense* – Araçá. p. 271-278 *In: Coradin, L., Camillo, J., Pareyn, F.G.C. (Eds.) Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou potencial: Plantas para o Futuro: Região Nordeste.* Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade – Brasília, DF: MMA, 1314p.
- BRASIL. (2000) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 1, de 07 de janeiro de 2000. Aprova o Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta. Diário Oficial da União: seção 01, Brasília, DF, ano 2000, n. 01, p. 54-54, 10 jan. 2000. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=7777>> acesso em 10 de março de 2023.
- BRASIL. (2018) Ato n 115, de 18 de junho de 2018. *In: Instruções para execução dos ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de goiabeira (Psidium guajava L.),* seção 1. Brasília: Diário oficial [da República Federativa do Brasil], p.1-15.
- Bremenkamp, C. A. (2015) *Dissimilaridade genética, fenologia e caracterização agrônômica de acessos de araçazeiros, em cultivo irrigado no norte fluminense.* Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 91p.

- Campbell, C.L., Madden, L.V. (1990) *Introduction to plant disease epidemiology*. Wiley, New York, 532 p.
- Campos, B. M., Viana, A. P., Quintal, S. S. R., Barbosa, C. D., Daher, R. F. (2016) Heterotic group formation in *Psidium guajava* L. by artificial neural network and discriminant analysis. *Rev. Bras. Frutic.*, 38(1):151-157.
- Campos, B. M., Viana, A. P., Quintal, S. S. R., Gonçalves, L. S. A., Pessanha, P. G. O. (2013) Quantificação da divergência genética entre acessos de goiabeira por meio da estratégia Ward-MLM. *Rev. Bras. Frutic.*, 35:571-578.
- Carnegie, A.J., Kathuria, A., Pegg, G.S., Entwistle, P., Nagel, M. Giblin, F.R. (2015) Impact of the invasive rust *Puccinia psidii* (myrtle rust) on native Myrtaceae in natural ecosystems in Australia. *Biol. Invasions*, 18:127–144.
- Carnegie, A.J., Lidbetter, J.R., Walker, J., Horwood, M.A., Tesoriero, L., Glen, M. Priest, M.J. (2010) *Uredo rangelii*, a taxon in the guava rust complex, newly recorded on *Myrtaceae* in Australia. *Australas. Plant Pathol.*, 39:463–466.
- Carneiro, R.M.D.G., Cirotto, P.A., Quintanilha, A.P., Silva, D.B., Carneiro, R.G. (2007) Resistance to *Meloidogyne mayaguensis* in *Psidium* spp. accessions and their grafting compatibility with *P. guajava* cv. Paluma. *Fitopatol. Bras.*, 32 (4):281-284.
- Chakraborti, S., Sinha, S., Sinha, R. (2005) *Psidium guineense* Swartz. (Myrtaceae) – Na endemic threatened species of Tripura, India. *J Phytol Res.*, 18(2): 209-210.
- Chakraborti, S., Sinha, S., Sinha, R. (2010) Chromosome number and karyotype analysis of wild guava *Psidium guineense* Sw. – a new report from Tripura, India. *Indian J Sci Technol.*, 3(8): 925 – 927.
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. (2005) *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2.ed. Lavras: UFLA, 785p.

- Costa, S. R., Santos, C. A. F., Castro, J. M. C. (2012) Assessing *Psidium guajava* x *P. guineense* hybrids tolerance to *Meloidogyne enterolobii*. *Acta Hortic.*, 959:59–66.
- Costerus, J. (1885) Staminody of Petals. *Nature* 32:53.
- Crossa, J., Franco, J. (2004) Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica* 137: 19–37
- Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S., Regazzi, A.J. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. v.2, 3. ed. Viçosa: UFV, 668p.
- Cruz, C.D., Ferreira, F.M., Pessoni, L.A. (2011) *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Visconde do Rio Branco: Suprema. 620p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.
- Day, P.R. (1974) *Genetics of host-parasite interaction*. W.H.Freeman & Company Ltd, 238 p.
- Demuner, N.L., Alfenas, A.C. (1991) Fungicidas sistêmicos para controle da ferrugem causada por *Puccinia psidii* em *Eucalyptus cloeziana*. *Fitopatol. Bras.* Brasília:DF, 16(3):174-177.
- Di Stéfano, J.F., Fournier, L.A., Carranza, J., Marín, W. Mora, A. (1998) Potencial invasor de *Syzygium jambos* (Myrtaceae) en fragmentos boscosos: El caso de Ciudad Colón, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 46(3), 567-573.
- Earle, D., Hurley, C. (2015) Advances in Dendrogram Seriation for Application to Visualization. *J. Comput. Graph. Stat.*, 24(1): 1-25p.

- Falconer, D.S. (1993) *Introduction to quantitative genetics*. 3 ed. Longman Group, London, 438p.
- Faleiro, J.H., Gonçalves, R.C., Santos, M.N.G., Silva, D.P, Naves, P.L. F., Malafaia, G. (2016) The Chemical Featuring, Toxicity, and Antimicrobial Activity of *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) Leaves. *J. New Sci.*, 1:1-8
- Farias Neto, J.T., Resende, M.D.V. (2001) Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes*) *Rev. Bras. Frutic.*, 23(2): 320-324.
- Farr, D.F., Rossman, A.Y. (2010) *Fungal databases, systematic mycology and microbiology laboratory*, ARS, USDA. Disponível em: < <http://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>> Acessado em 17 de novembro de 2022.
- Ferrari, J.T., Nogueira, E.M.C., Santos, A.J.T. (1997) Control of rust (*Puccinia psidii*) in guava (*Psidium guajava*). *Acta Hortic.*, 452:55-58.
- Ferreira, F.A. (1989) *Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil*. Viçosa, MG: SIF, 570 p.
- Ferreira, K.C.Z., Marino, C.L. Furtado, E.L. (2017) Seleção de genótipos de eucalipto resistentes à ferrugem (*Puccinia psidii*) através de parâmetros monocíclicos. *Summa Phytopathol.*, 43(2): 103-110.
- Ferreira, P.R.B, Mendes, C.S.O., Reis, S.B., Rodrigues, C.G., Oliveira, D.A., Mercadante-Simões, M.O. (2011) Morphoanatomy, Histochemistry and Phytochemistry of *Psidium guineense* Sw. (Myrtaceae) Leaves. *J. Pharm. Res.* 4(4): 942-944.
- Figueiredo, M.B., Coutinho, L.N., Hennen, J.F. (1989) Estudos para determinação do ciclo vital de *Puccinia psidii* Winter. *Summa Phytopathol.*, Piracicaba, 10:32.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2021) *Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems*. Disponível em: <<https://www.fao.org/news/story/pt/item/1402920/icode/>> acesso em 19 Julho de 2022.

Food and Agriculture Organization of the United Nations –FAO (2020) Crops and livestock products. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> acesso em 17 de abril de 2023.

Freeman, B.C., Beattie, A.G. (2008) An Overview of Plant Defenses against Pathogens and Herbivores. *Plant Health Instr.*, 94.

Fumis, T.F., Sampaio, A.C. (2011) Biologia e cultivares. In: Sampaio, A. C. (Coord.) *Goiaba: do plantio à comercialização*. Campinas, CATI, p. 7-17. 125p.

Gallego-Sánchez, L.M., Canales, F.J., Montilla-Bascón, G. Prats, E. (2020) RUST: A Robust, User-Friendly Script Tool for Rapid Measurement of Rust Disease on Cereal Leaves. *Plants*, 9:1182.

Garcia, C.H., Nogueira, M.C. (2005) Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. *Sci. For.* 68: 107-112.

Gasparotto, L., Pereira, J.C.R., Hanada, R.E., Cares, J.E., Araújo, J.C.A., Ângelo, P.C.S. (2016) Glossário de Fitopatologia. 3 ed. *Embrapa*, Brasília DF, 490p.

Gerhardt, L.B.A, Manuca, I., Kist, H., Sieler, R.L. (1997) Características físico-químicas dos frutos de quatro cultivares e três clones de goiabeira em Porto Lucena, RS. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 32(2): 185-192.

Gibson, C. M. (1904). Notes on infection experiments with various Uredineae. *New Phytol.* 3, 184- 194.

- Gomes, V.M., Ribeiro, R.M., Viana, A.P., Souza, R.M., Santos, E.A., Rodrigues, D.L. Almeida, O.F. (2016) Inheritance of resistance to *Meloidogyne enterolobii* and individual selection in segregating populations of *Psidium* spp. *Eur. J. Plant. Pathol.*, 148:699-708.
- Gomes, V.M., Souza, R.M., Mussi-Dias, V., Silveira, S.F., Dolinski, C. (2011). Guava decline: a complex disease involving *Meloidogyne mayaguensis* and *Fusarium solani*. *J Phytopathol*, 159: 45–50.
- Gomes, V.M., Souza, R.M., Almeida, A.M., Dolinski, C. (2014) Relationships between *M. enterolobii* and *F. solani*: spatial and temporal dynamics in the occurrence of guava decline. *Nematoda*, 1:1-5.
- González, A.M.N., González, M.B.R., Pinto, N.L.S. (2005) Estudio fitoquímico y actividad antibacterial de *Psidium guineense* Sw (choba) frente a *Streptococcus mutans*, agente causal de caries dentales. *Rev. Cuba. Plantas Med*, 10:3-4.
- Govaerts, R., Sobral, M., Ashton, P., Barrie, F., Holst, B.K. *et al.*, (2008) *World Checklist of Myrtaceae*. Kew Publishing, Royal Botanic Gardens, Kew, UK.
- Gower, J.C. (1971) A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27:857-874.
- Graça, R.N., Aun, C.P., Guimarães, L.M.S., Rodrigues, B.V.A., Zauza, E.A.V., Alfenas, A.C. (2011) A new race of *Puccinia psidii* defeats rust resistance in eucalypt. *Australas. Plant Pathol.*, 40:442–447.
- Hair Júnior, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. (2009) *Análise multivariada de dados [recurso eletrônico]*. (trad.) Sant’anna, A.S., 6. ed. Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Bookman, 2009.

- Henderson, C.R. (1973) Sire evaluation and genetic trends. *In: Animal breeding and genetics symposium*, 10, Champaign. Proceedings Champaign: American Society of Animal Science, 10-41.
- Hirano, R.T., Nakasone, H.Y. (1969) Chromosome Numbers of Ten Species and Clones in the Genus *Psidium*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 94:83-86.
- Ho, R., Violette, A., Cressend, D., Raharivelomanana, P., Carrupt, P.A., Hostettmann, K. (2012) Antioxidant potential and radical-scavenging effects of flavonoids from the leaves of *Psidium cattleianum* grown in French Polynesia *Nat. Prod. Res.*, 26(3): 274–277.
- Hunt, P. (1968) Cuticular penetration by germinating uredospores. *TBMS.* 51: 103-112.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021) Levantamento sistemático da produção agrícola. Tabela 5457 – Dados da área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes - Goiaba. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> > acesso em 18 Novembro de 2022.
- Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2020) *Banco de dados meteorológicos*. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/> acesso em 23 de Janeiro de 2021.
- Irshad, Z, Hanif, M.A., Ayub, M.A., Jilani, M.I., Tavallali, V. (2020). Guava. *In: Muhammad, A.H., Haq, N., Muhammad, M.K., Hugh, J.B., (Eds.) Medicinal Plants of South Asia*, 1ed., United States of America: Elsevier, p. 341–354.
- Jackson, B.D. (1928) A Glossary of Botanic Terms with their Derivation and Accent. (Org) Duckworth, G. London, 4.ed. 481p.
- Jarwar, A.H., Wang, X., Iqbal, M.S., Sarfraz, Z., Wang, L., Ma, Q., Shuli, F. (2019) Genetic divergence on the basis of principal component, correlation and

cluster analysis of yield and quality traits in cotton cultivars. *Pak. J. Bot.*, 51(3): 1143-1148.

Jesus, O.N., Lima, L.K.S., Soares, T.L., Silva, L.N., Santos, I.S., Sampaio, S.R., Oliveira, E.J. (2022) Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. *Sci. Hortic.*, 292: 110573.

Jolliffe, I.T., (2002) Principal Component Analysis. 2.ed. Springer Series in Statistics. New York: Springer-Verlag New York.

Junghans, D.T., Alfenas, A.C., Brommonschenkel, S.H., Oda, S., Mello, E.J. Grattapaglia, D. (2004) Resistance to rust (*Puccinia psidii* Winter) in eucalyptus: mode of inheritance and mapping of major gene with RAPD markers. *Theor. Appl. Genet*, 108(1):175-180.

Komárek, M., Čadková, E., Chrástný, V., Bordas, F., Bollinger, J-C. (2010) Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects, *Environ. Int.*, 36 (1): 138-151.

Krebs, C.J. (2014) *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*, 6.ed, Harper & Row, New York.

Kumari, S., Arumugam, N., Singh, R., Srivastav, M., Banoth, S., Mithra, A.C., Arun, M.B., Goswami, A.K., Khan, Y.J. (2018) Diversity analysis of guava (*Psidium guajava*) germplasm collection. *Indian J. Agric. Sci.* 88 (3): 489–497.

Landrum, L.R., Kawasaki, M.L. (1997) The genera of Myrtaceae in Brazil: An illustrated synoptic and identification keys. *Brittonia*: New York, 49(4): 508-536.

Lima, I.M., Dolinski, C.M., Souza, R.M. (2003) Dispersão de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabais de São João da Barra (RJ) e relato de novos

hospedeiros entre plantas invasoras e cultivadas. *Resumos do Congresso Brasileiro de Nematologia*, Petrolina: *Nematol. Bras.*, 27 (2):257-258.

Macaúbas-Silva, C., Félix, M.D.G., Aquino, A.K.S., Pereira-Júnior, P.G., Brito, E.V.O., Oliveira-Filho, A.A., Igoli, J.O., Watson, D.G., Teles, Y.C.F. (2021). Araçain, a tyrosol derivative and other phytochemicals from *Psidium guineense* Sw. *Nat. Prod. Res.*, 35(14): 2424–2428.

MacLachlan, J.D. (1938) A rust of the pimento tree in Jamaica, British West Indies. *Phytopathology*, 28:157-170.

Mamani, E.M.C., Bueno, N.W., Faria, D.A., Guimarães, L.M.S., Lau, D., Alfenas, A.C., Grattapaglia, D. (2010) Posicionamento do locus principal para resistência à ferrugem de *Puccinia psidii* (Ppr1) no mapa de referência de *Eucalyptus* e sua validação em linhagens não relacionadas. *Tree Genet. Genomes*, 6: 953-962.

Mariano Júnior, J.C. (2018) *Comparação de critérios para determinação do número de clusters*. Relatório Final (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação) – Brasília – DF, Universidade de Brasília – UNB, 41p.

Marques, F.A., Wendler, E.P., Maia, B.H.L.N.S., Coffani-Nunes, J.V., Campana, J., Guerrero Júnior., P.G. (2008) Volatile oil of *Psidium cattleianum* Sabine from the Brazilian Atlantic Forest. *J. Essent. Oil Res.*, 20(6): 519-520.

Martins, M.V.V., Silveira, S.F., Maffia, L.A. (2014) Guava fruit loss caused by rust *Summa Phytopathol.*, 40(2): 107-113.

McTaggart, A.R., Roux, J., Granados, G.M., Gafur, A., Tarrigan, M., Santhakumar, P. Wingfield, M.J. (2016) Rust (*Puccinia psidii*) recorded in Indonesia poses a threat to forests and forestry in South-East Asia. *Australas. Plant Pathol.*, 45:83–89.

- Medina, J.C. (1988) Goiaba I - Cultura. In: Instituto de tecnologia de alimentos (Campinas, SP). *Goiaba: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos*. 2.ed. rev. ampl. Campinas, 1-120p.
- Mehmood, A., Jaskani, M.J., Khan, I.A., Ahmad, S., Ahmad, R., Luo, S., Ahmad., N.M. (2014). Genetic diversity of Pakistani guava (*Psidium guajava* L.) germplasm and its implications for conservation and breeding. *Sci. Hortic.*, 172: 221-232.
- Mendes MAS, Urben AF. (1998) Fungos relatados em plantas no Brasil, Laboratório de Quarentena Vegetal. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Disponível em: <http://pragawall.cenargen.embrapa.br/aiqweb/michtml/fgbanco01.asp> acesso em 20 de Novembro 2022.
- Merkel, A. (2021) Clima Campos dos Goytacazes (Brasil). Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/info/sources/>> acesso em 21 de Novembro 2022.
- Miranda, G.B., Souza, R.M., Gomes, V.M. (2012) Avaliação de acessos de *Psidium* spp. quanto à resistência a *Meloidogyne enterolobii*. *Bragantia* 71(1):52-58.
- Moresco, H.H., Pizzolatti, M.C., Brighente, M.C. (2012) Constituents of *Psidium cattleianum*. *Chem. Nat. Compd.*, 47(6): p. 893.
- Natale, W., Coutinho, E.L.M., Boaretto, A.E., Pereira, F.M., Modenese, S.H. (1996) *Goiabeira: calagem e adubação*. Jaboticabal: FUNEP, 22p.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., Simons, A. (2009) Agroforestree Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. Disponível em: < <http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>> acesso em 16 de out de 2019.

- Patel, S. (2012) Exotic tropical plant *Psidium cattleianum*: a review on prospects and threats. *Rev. Environ. Sci.* 11: 243–248.
- Patterson, H.D., Thompson, R. (1971) Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, 58(3): 545-554.
- Pedro, C. (2020) *Biometria aplicada ao melhoramento genético de feijão-guandu em Moçambique*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 89p.
- Pereira, E.S., Vinholes, J., Franzon, R.C., Dalmazo, G., Vizzotto, M., Nora, L. (2018) *Psidium cattleianum* fruits: A review on its composition and bioactivity, *Food Chem.* 258: 95-103.
- Pereira, F.M., Carvalho, C.A., Nachtigal, J.C. (2003) Século XXI: nova cultivar de dupla finalidade. *Rev Bras Frutic*, 25:498-500.
- Pereira, F.M., Nachtigal, J.C. (2009) Melhoramento genético da goiabeira. In: Natale, W., Rozane, D.E., Souza, H.A., Amorim, D.A. (ed) *Cultura da goiaba: do plantio à comercialização*. UNESP-FCAV, Jaboticabal, 371-398.
- Pereira, FM. (1995) *A cultura da goiabeira*. Jaboticabal:FUNEP, 47P.
- Pereira, T.B., Carvalho, J.P.F., Botelho, C.E., Resende, M.D.V., Rezende, J.C., Mendes, A.N.G. (2013) Selection efficiency of F₄ coffee progênies by mixed model methodology (REML/BLUP). *Bragantia*, v.72, n.3, p.230-236.
- Pessanha, P.G.O., Viana, A.P., Amaral Junior, A.T., Souza, R.M., Teixeira, M.C., Pereira, M.G. (2011) Avaliação da diversidade genética em acessos de *Psidium* spp. via marcadores RAPD. *Rev Bras Frutic*, 33(1):129–136.
- Piccinim E., Pascholati S.F. (1997). Doenças da goiabeira. In: Kimati H., Amorim L., Bergamin Filho A., Camargo L.E.A., Rezende J.A.M. (Eds.). *Manual de*

Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. v.2 3.ed. Editora Agronômica Ceres Ltda., p. 424-425.

Pierce, B. (2016) *Genetics: a conceptual approach*. 6. ed. New York: W. H. Freeman, 1206p.

Pinto, C.S., Costa, R.M.L., Moraes, C.B., Pieri, C., Tambarussi, E.V., Furtado, E.L. Mori, E.S. (2014) Genetic variability in progenies of *Eucalyptus dunnii* Maiden for resistance to *Puccinia psidii*. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.*, 14(3): 187-193.

Pritchard, J.K., Stephens, M., Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), 945–959.

Proença, C.E.B., Costa, I.R., Tuler, A.C *Psidium* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB10853>> acesso em 19 de abril de 2023

Quintal, S.S.R., Viana, A.P., Campos, B.M., Vivas, M., Amaral Júnior, A.T. (2017). Selection via mixed models in segregating guava families based on yield and quality traits. *Rev Bras Frutic*, 39: (e-866).

R Core Team (2019) R: A language and Environment for Statical Computing. *R Foudation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Rajan, S., Yadava, L. P., Kumar, R. y Saxena, S. K. (2007) GIS based diversity analysis of guava growing distribution in Uttar Pradesh. *Acta Hortic.*, 735:109-113.

Rao, C. R. (1983) Multivariate Analysis: Some Reminiscences on Its Origin and Development. *Indian J. Stat.*, 45(2):284-299.

- Rencher, A.C. (2002) *Methods of multivariate analysis*. 2ed. Wiley-Interscience, 708p.
- Resende, M.D.V. (2000) *Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes*. Embrapa Florestas: Colombo - PR, 101p.
- Resende, M.D.V. (2002) *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília - DF, 975p.
- Resende, M.D.V. (2004) Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo. Embrapa Florestas: Colombo – PR, 57p.
- Resende, M.D.V. (2016) Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.*, 16:330-339.
- Resende, M.D.V., Alves, R.S. (2022) Statistical significance, selection accuracy, and experimental precision in plant breeding. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.*, 22(3): e42712238.
- Resende, M.D.V., Higa, A.R., Lavoranti, O.J. (1993) Predição de valores genéticos no melhoramento de Eucalyptus – melhor predição linear (BLP). *Silvicultura*, 43: 144-147.
- Ribeiro, I.J.A., Pommer, C.V. (2004) Breeding guava (*Psidium guajava*) for resistance to rust caused by *Puccinia psidii*. *Acta Hort.* 632:75–78.
- Rivero-Maldonado, G., Pacheco, D., Martín, L.M., Sánchez-Urdaneta, A., Quirós, M., Ortega, J., Colmenares, C., Bracho, B., (2013) Flavonoids extracted from *Psidium* species (MYRTACEAE) in Venezuela. *Rev. Fac. Agr.*, 30:217-241.
- Rocabado, J.M.A. (1998) *Progresso da ferrugem-da-goiabeira, causada por Puccinia psidii, em São Francisco do Itabapoana, RJ*. Dissertação (Mestrado

em Produção Vegetal). – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 39p.

Rodrigues, C.G., Ferreira, P.R.B., Mendes, C.S.O., Reis Júnior, R., Valério, H.M., Brandi, I.V., Oliveira, D.A. (2014) Antibacterial activity of tannins from *Psidium guineense* Sw. (Myrtaceae) *J. Med. Plant Res.*8(35): 1095-1100.

Rojas-Rodríguez F., Torres-Córdoba G. (2019) Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción del Güisaro (*Psidium guineense* Sw.) *Rev. For. Mes. Kurú*, 16 (39): 64-66.

Roux, J., Germishuizen, I., Nadel, R., Lee, D.J., Wingfield, M.J., Pegg, G.S. (2015) Risk assessment for *Puccinia psidii* becoming established in South Africa. *Plant Pathol.*, 64: 1326-1335.

Roux, J., Greyling, I., Coutinho, T.A., Verleur, M., Wingfield, M.J. (2013) The Myrtle rust pathogen, *Puccinia psidii*, discovered in Africa. *IMA Fungus*, 4:155–159.

Rozane, D. E., Oiveira, D. A., Lirio, V. S. (2003). Importância econômica da cultura da goiabeira. In: Rozane, D. E., Couto, F. A. D. (ed.). *Cultura da goiabeira: Tecnologia e mercado*. Viçosa: UFV, 2003. p.1-20.

Ruiz, R.A.R., Alfenas, A.C., Demuner, N.L. (1991) Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem (*Puccinia psidii*) em goiabeira (*Psidium guajava*). *Summa Phytopathol.*, 17:147-153.

Ruiz, R.A.R., Alfenas, A.C., Ferreira, F.A., Vale, F.X.R. (1989) Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, do fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. *Fitopatol. Bras.*, 14(6):55-61.

Sánchez-Urdaneta, A.B., Peña-Valdivia, C.B. (2011). Morphological descriptor for genus *Psidium* characterization. *Rev. Fac. Agron.* 28: 303-343

- Sangalli, J., Jardim Júnior, E.G., Bueno, C.R.E., Jacinto, R.C., Siviere-Araújo, G.S., Gomes Filho, J.E., Cintra, L.T., Dezan Junior, E. (2018) Antimicrobial activity of *Psidium cattleianum* associated with calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*: an *in vitro* study. *Clin. Oral Investig.*, 22:2273–2279
- Santos, C.A.F., Castro, J.M.C., Souza, F.F., Vilarinho, A.A., Ferreira, F.R., Pádua, J.G., Borges, R.M.E., Barbieri, R.L., Souza, A.G.C., Rodrigues, M.A. (2008) Preliminary characterization of *Psidium* germplasm in different Brazilian ecogeographic regions. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 43 (3):437-440.
- Santos, C.A.F., Corrêa, L.C., Costa, S.R. (2011) Genetic divergence among *Psidium* accessions based on biochemical and agronomic variables. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, 11: 149-156.
- Santos, P.R., Viana, A.P., Gomes, V.M., Preisigke, S.C., Santos, E.A., Cavalcante, N.R., Almeida, O.F., Walker, M.A. (2018) Clonal selection in interspecific *Vitis* spp. hybrids resistant to the root-lesion nematode *Pratylenchus brachyurus* by REML/BLUP. *Fruits* 73(3):191–197.
- Santos, R. M., Viana, A. P., Santos, E. A., Souza, R M, Almeida, O. F., Martins, V. G., Rodrigues, D.L., Santos, P.R. (2020) Genetic structuring of segregating populations of *Psidium* spp resistant to the southern root-knot nematode by Bayesian approach as basis for the guava breeding program. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 92:1-18.
- Senanayake, C.M., Hapugaswatta, H., Jayathilaka, N., Seneviratne, K.N. (2018) Phenolic extracts of the leaves of *Psidium guineense* Sw. improve the shelf life of sunflower oil and baked cake and antioxidant status of Wistar rats. *J. Food Biochem.*, e12632.
- Serrano, L.A.L., Marinho, C.S., Lima, I.M., Martins, M.V.V., Ronchi, C.P., Tardin, F.D. (2008) Fenologia da goiabeira 'PALUMA' sob diferentes sistemas de

cultivos, épocas e intensidades de poda de frutificação. *Bragantia*, 67(3): 701-712.

Shapiro, A. S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611.

Sharma, A., Sehrawat, S.K., Singhrot, R.S., Tele, A. (2010). Morphological and Chemical Characterization of *Psidium* Species. *Not Bot Horti Agrobot*. 38(1): 28-32.

Silveira, S.F, Rocabado, J.M.A, Moreira, A.H., Silva, E.A. (1997) Ferrugem e escaldadura dos ramos da goiabeira no Norte Fluminense. *Fitopatol. Bras.* 22:308.

Silveira, V.D. (1951) Elementos da fitopatologia: *Puccinia psidii*, ferrugem das Mirtáceas. *Agronomia*, 10: 218-224.

Silvestre, W.P., Mazzotti, L., Fernandes, P.G. (2022). Bioprospecting of strawberry guava leaf essential oil in Caxias do Sul region, South Brazil. *Pesqui. Agropecu. Gaúch.* 28(1): 58-69.

Singh, S.P., (2011) Guava (*Psidium guajava* L.). Ed (Yahia, E. M. In: *Postharvest biology and tchnology of tropical and subtropical fruits*. Curtin University of Technology, Australia 3: 213-245.

Sobral, M., Proença, C., Souza, M., Mazine, F., Lucas, E. (2014) *Myrtaceae In: Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Sokal, R.R., Rohlf, F.J. (1962) The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, 11(2): 33-40.

- Souza, R.M., Nogueira, M.S., Lima, I.M., Melarato, M., Dolinski, C. M. (2007) Manejo de nematoides-das-galhas da goiabeira em São João da Barra (RJ) e relato de novos hospedeiros. *Nematol. Bras.*, 30:165-169.
- Souza, S.A.M. (2012) *Fenologia reprodutiva, germinação de sementes e morfologia polínica em Passiflora spp.* Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, p.169.
- Spegazzini, C. (1889) Fungi Puiggariani. *Pugillus*, I. *Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba*.11:381-622.
- Teixeira, J.E.C., Guedes, F.T.P., Dias, D.C., Bonine, C.A.V., Camargo, L.E.A. (2009) Análise da herança da resistência a *Puccinia psidii* em progênies de híbridos interespecíficos de eucalipto avaliadas sob condições naturais de infecção. *Trop. Plant Pathol.* 34(4):203-210.
- TRIDGE (2022) Production data of guava (HS Code: 080450). Disponível em: <<https://www.tridge.com/intelligences/guavas/productio>> acesso em 16 Novembro de 2022.
- Tucker, A.O., Maciarelo, M.J., Landrum, L.R. (1995) Volatile leaf oils of American Myrtaceae III. *Psidium cattleianum* Sabine, *P. friedrichsthalianum* (Berg) Niedenzu, *P. guajava* L., *P. guineense* Sw., and *P. sartorianum* (Berg) Niedenzu. *J. Essent. Oil Res.* 7(2): 187-190.
- Tuler, A.C, Carrijo, T.T, Peixoto, A.L, Garbin, M.L, Ferreira, M.F.S, Carvalho, C.R., Spadeto, M.S., Clarindo, W.R. (2019) Diversification and geographical distribution of *Psidium* (Myrtaceae) species with distinct ploidy levels. *Trees*, 33: 1101-1110.
- Uchida, J., Zhong, S., Killgore, E. (2006) First report of a rust disease on Ohia caused by *Puccinia psidii* in Hawaii. *Plant Dis.* 90(4):524.

- Uzzaman, S., Akanda, K. M., Mehjabin, S., Parvez, G.M. M. (2018). A short review on a Nutritional Fruit: Guava. *Toxicol. Res.* 1(1):1-8.
- Vencovsky R (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani E, Viégas GP (eds) *Melhoramento e Produção do Milho*. Fundação Cargill, Campinas, 135-214.
- Viana, A.P., Resende, M.D.V. (2014) *Genética quantitativa do melhoramento de fruteiras*. Interciência, Rio de Janeiro, 296p.
- Ward, J.H. (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *JASA*, 58: 236 – 244.
- Winter, G. (1884) *Rabenhorstii Fungi europaei et extraeuropaei*. Cent. XXXI et XXXII. *Hedwigia*, 23:163-175.
- Yang, B., Eisenback, J. D. (1983) *Meloidogyne enterolobii* n. sp. (Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitizing Pacara Earpod Tree in China. *J. Nematol.*, 15(3):381–391.
- Zauza, E.A.V., Lana, V.M., Maffia, L.A., Araujo, M.M.F.C., Alfenas, R.F., Silva, F.F., Alfenas, A.C. (2015) Wind dispersal of *Puccinia psidii* urediniospores and progress of eucalypt rust. *For. Pathol.*, 45: 102-110.