



# Genetic diversity and selection using an ideotype in a Formosa papaya population<sup>1</sup>

## *Diversidade genética e seleção usando ideótipo em população de mamoeiro Formosa*

Fabiola Lacerda de Souza Barros<sup>1</sup>, Sarah Ola Moreira\*<sup>2</sup>, Sara Dousseau-Arantes<sup>2</sup>, Érica Pereira dos Santos<sup>2</sup>, Ismael Rodrigues Silva<sup>2</sup>

**Abstract:** Ideotype is a combination of traits to be sought in a breeding program, supporting the selection process. However, there must be sufficient genetic variability to be explored to ensure success in this process. Thus, this study aimed to evaluate the genetic diversity of a population of Formosa papaya from the cultivar Rubi Incaper 511, maintained by farmers, and the use of an index based on the genotype-ideotype distance for preserving the original traits of the cultivar. A population of 250 individuals, maintained for approximately 10 years, was evaluated for 13 quantitative morpho-agronomic descriptors. Genetic divergence was estimated from the dissimilarity matrix using the mean Euclidean distance, and the dendrogram was formed using the hierarchical method of unweighted pair groups method with arithmetic averages (UPGMA). The index based on the genotype-ideotype distance was used for plant selection, with the cultivar Rubi Incaper 511 being the desired ideotype. The new means of the selected individuals and the selection differential were obtained after this selection. The individuals had fruit mass ranging from 0.73 to 1.99 kg, soluble solids content between 9.63 and 12.68 °Brix, and number of commercial fruits per plant ranging from 23 to 90. The dendrogram divided the genotypes into five groups. The selected individuals exhibited favorable selection differentials for ten traits and were closer to the selected ideotype. The management of this population by the farmers proved to be efficient in maintaining the genetic variability of the cultivar, and the selection through the index based on the genotype-ideotype distance can be used to restore the phenotypic pattern of open-pollinated cultivars.

**Key words:** *Carica papaya* L. On-farm conservation. Genotype-ideotype distance. Genetic gain. Open-pollinated cultivar.

**Resumo:** Ideótipo é uma combinação de características a ser buscada em um programa de melhoramento, subsidiando o processo de seleção. No entanto, é preciso que haja variabilidade genética a ser explorada, para se ter sucesso nesse processo. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar a diversidade genética de uma população de mamoeiro Formosa, cultivar Rubi Incaper 511, mantida por agricultores, e o uso de índice baseado na distância genótipo-ideótipo para a manutenção das características originais da cultivar. Uma população de 250 indivíduos, mantida por aproximadamente 10 anos, foi avaliada para 13 descritores morfoagronômicos quantitativos. A divergência genética foi estimada a partir da matriz de dissimilaridade pela Distância Euclidiana Média e pelo dendrograma formado pelo método hierárquico da ligação média entre grupo (UPGMA). Para seleção das plantas foi utilizado o índice baseado na distância genótipo-ideótipo, sendo cultivar Rubi Incaper 511 o ideótipo desejado. Após essa seleção, foram obtidas as novas médias dos indivíduos selecionados e o diferencial de seleção. Os indivíduos tiveram massa de fruto variando de 0,73 a 1,99 kg, teor de sólidos solúveis entre 9,63 e 12,68 °Brix, número de frutos comerciais por planta entre 23 e 90. O dendrograma dividiu os genótipos em cinco grupos. Os indivíduos selecionados proporcionaram diferenciais de seleção favoráveis para dez características e ficaram mais próximos do ideótipo selecionado. A condução dessa população pelos agricultores se mostrou eficiente em manter a variabilidade genética da cultivar, e a seleção por meio do índice baseado na distância genótipo-ideótipo pode ser utilizada para recuperação de padrão fenotípico de cultivares de polinização aberta.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L. Conservação on farm. Distância genótipo-ideótipo. Ganho genético. Cultivar de polinização aberta.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 21/12/2022, approved on 24/06/2023 and published on 14/08/2023

<sup>1</sup>Research Project funded by the Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – Fapes (Process 677/2016 – PPE Agropecuária 06/2015).

<sup>2</sup>Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper. Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Norte. Rodovia BR 101, Km 151 Norte, 29900-000 Linhares, ES, Brazil. E-mails: [fabiola.barros@incaper.es.gov.br](mailto:fabiola.barros@incaper.es.gov.br); [sarah.moreira@incaper.es.gov.br](mailto:sarah.moreira@incaper.es.gov.br); [sara.arantes@incaper.es.gov.br](mailto:sara.arantes@incaper.es.gov.br); [ericasantos.es3435@gmail.com](mailto:ericasantos.es3435@gmail.com); [ismaellrodrigues12@gmail.com](mailto:ismaellrodrigues12@gmail.com)

## INTRODUCTION

Brazil holds the position of the world's second-largest papaya (*Carica papaya* L.) producer, with production exceeding 1.2 million tons. The state of Espírito Santo is the leading national producer, boasting 392 production units (IBGE, 2022), of which 29% have an area of less than 20 hectares, and 19.4% span an area between 80 and 200 hectares, operating with varying levels of technologies (GALEANO *et al.*, 2022). According to Kumar *et al.* (2021), the use of inputs such as fertilization, irrigation, pest and disease control, and genetic materials varies according to the size of the papaya planting area in the production chain.

The main genetic materials cultivated in Brazil are 'Golden' and 'Aliança' (Solo group) and the hybrids 'Tauning 01' and 'Calimosa' (Formosa group) (PEREIRA *et al.*, 2019). However, rural producers face dependency on purchasing seeds at each planting due to the hybrid nature of 'Tainung 01' and 'Calimosa,' leading to increased production costs. Pinto *et al.* (2013) reported that the uncontrolled propagation of the 'Golden' cultivar may be compromising its original traits related to fruit quality and tolerance to physiological disturbances. A similar issue has been observed for the 'Sunrise Solo' cultivar. Galeano *et al.* (2020) found that 48.5% of the interviewed producers obtain seeds from their own crops, further contributing to the loss of traits of hybrid cultivars.

To counteract the adverse effects of reusing seeds from the cultivation itself, such as the loss of heterosis present in hybrids, the use of open-pollinated varieties (OPV) presents an alternative. These materials consist of a mixture of heterogeneous genetic materials that, together, exhibit good average production and fruit quality, which are maintained over generations through the random crossing of individuals within the population. However, maintaining the genetic variability and distinctive traits of OPV requires avoiding the entry of exogenous pollen and conducting careful selection of individuals for seed collection. This selection must consider the number of individuals required to maintain the genetic variability and distinctive traits of OPV (SERPOLAY-BESSON *et al.*, 2014).

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de mamoeiro (*Carica papaya* L.), com produção superior a 1,2 milhões de toneladas. O estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional, tendo 392 unidades produtivas (IBGE, 2022), sendo que 29% delas tem área menor que 20 ha e 19,4% têm área entre 80 e 200 ha, produzindo com diferentes níveis tecnológicos (GALEANO *et al.*, 2022). De acordo com Kumar *et al.* (2021), na cadeia produtiva do mamoeiro, a utilização de insumos como adubação, irrigação, controle de pragas e doenças e materiais genéticos variam de acordo com o tamanho da área de plantio.

Os principais materiais genéticos cultivados no Brasil são 'Golden' e 'Aliança' (grupo Solo) e o híbridos 'Tauning 01' e 'Calimosa' (grupo Formosa) (PEREIRA *et al.*, 2019). Devido à natureza híbrida de 'Tainung 01' e 'Calimosa', os produtores rurais são dependentes da compra de sementes a cada plantio, onerando a produção. Para a cultivar Golden, Pinto *et al.* (2013) relataram que a propagação indiscriminada do material pode estar prejudicando as suas características originais de qualidade de fruto e tolerância a distúrbios fisiológicos. Isso também tem sido observado para a cultivar 'Sunrise Solo'. Galeano *et al.* (2020) observaram que 48,5% dos produtores entrevistados obtêm as sementes da própria lavoura, o que reforça a causa da perda das características das cultivares híbridas.

Uma alternativa para contornar os malefícios da reutilização de sementes do próprio cultivo, como a perda da heterose presente nos híbridos, é o uso de cultivares de polinização aberta (*open pollinated varieties* - OPV). Nesses materiais, formados por uma mistura de materiais heterogêneos que, em conjunto, tem boa média de produção e qualidade de frutos, as características se mantêm ao longo das gerações pelo cruzamento ao acaso dos indivíduos da população. No entanto, para que isso ocorra, é preciso evitar a entrada de pólen exógeno e realizar uma seleção criteriosa dos indivíduos para coleta de sementes. Essa seleção deve considerar o número de indivíduos necessários para a manutenção da variabilidade genética e das características distintivas da OPV (SERPOLAY-BESSON *et al.*, 2014).

In this regard, the selection index based on the genotype-ideotype distance proves to be a valuable strategy. Debaeke *et al.* (2014) defined the ideotype as an optimal combination of morphological and physiological traits or their underlying genetic basis, tailored to the environment, cultivation system, and consumer demand. The ideotype, therefore, serves as a biological model defined according to the needs of the target audience of the breeding program, and the selection index aims to identify individuals that best align with this biological model. This approach has been successfully employed to meet market demands, developing cultivars that are disease-resistant, climate-adaptive, and new OPVs (SEMENOV; STRATONOVITCH, 2013; GAUFFRETEAU, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2020).

Within this context, the present study aims to evaluate the genetic diversity of a population of Formosa papaya, specifically the cultivar Rubi Incaper 511, maintained by farmers, while exploring the use of an index based on the genotype-ideotype distance to preserve the original traits of this cultivar.

## MATERIAL AND METHODS

Seeds of the cultivar Rubi Incaper 511 were distributed to rural producers after its launch in 2010, maintaining this population for approximately 10 years. Production cycles were conducted far from other plantations to avoid pollination with other papaya material, and the selection of plants at each cycle was conducted empirically, based on the phenotype of interest to the producers. A substantial number of seeds from this population were sent to the Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) in 2019 to form the foundational material for the institution's Formosa papaya breeding program.

In April 2019, an experiment was established at the Incaper Experimental Farm in Sooretama – ES to assess the genetic diversity of this population. The regional climate is classified as tropical with a dry season (Köppen-Geiger classification: Aw), featuring an average annual temperature of 23.5 °C and mean annual precipitation of 1,276 mm (ALVARES *et al.*, 2013).

Uma das estratégias que podem auxiliar nessa etapa é uso do índice de seleção baseado na distância genótipo-ideótipo. Debaeke *et al.* (2014) definiram ideótipo como uma combinação ótima de características morfológicas e fisiológicas, ou de sua base genética subjacente, que corresponda ao ambiente, ao sistema de cultivo e à demanda do consumidor. Assim, o ideótipo é um modelo biológico, definido de acordo com a necessidade do público-alvo do programa de melhoramento, e esse índice de seleção busca identificar os indivíduos que promoverão o alcance desse modelo biológico. Essa estratégia já foi utilizada para atender à exigência de mercados, para a obtenção de cultivares resistentes à doença e às mudanças climáticas e para o desenvolvimento de novas OPV (SEMENOV; STRATONOVITCH, 2013; GAUFFRETEAU, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2020).

Com base no exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a diversidade genética de uma população de mamoeiro Formosa, cultivar Rubi Incaper 511, mantida por agricultores, e o uso de índice baseado na distância genótipo-ideótipo para a manutenção das características originais da cultivar.

## MATERIAL E MÉTODOS

Após o lançamento da cultivar Rubi Incaper 511, em 2010, as sementes desta cultivar foram repassadas para produtores rurais, que mantiveram essa população por aproximadamente 10 anos. Os ciclos de produção eram conduzidos distantes de outros plantios, para evitar a polinização com outros materiais de mamoeiro, e a seleção de plantas, a cada ciclo, foi realizada de modo empírico, baseada no fenótipo de interesse dos produtores. Um lote de sementes desta população foi repassado, em 2019, para o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), a fim de compor o material-base do programa de melhoramento de mamoeiro Formosa da instituição.

Para avaliar a diversidade genética dessa população, um experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Incaper, Sooretama – ES, em abril de 2019. O clima da região é classificado como tropical com estação seca (Classificação de Köppen-Geiger: Aw), com temperatura média anual de 23,5 °C e precipitação anual média de 1.276 mm (ALVARES *et al.*, 2013).

Initially, 250 plants from this population, maintained by farmers, were grown in isolation from other papaya plantations. The seeds of this population were sown in 180-cm<sup>3</sup> tubes filled with the commercial substrate Plantimax® + Osmocote Mini Prill® at a 3:1 (v/v) ratio. Adequate soil preparation was conducted, including plowing, harrowing, and furrowing. Soil fertilization at planting, topdressing, and ongoing maintenance of the experiment were performed based on soil analysis and in accordance with crop recommendations by Prezotti (2022), with irrigation applied by dripping.

At a height of 20 cm, the seedlings were transplanted three per pit at a spacing of 3.2 x 2 m, occupying a total area of 1,600 m<sup>2</sup>. Sexing was conducted three months after planting, with the emergence of flower buds, leading to the retention of only one hermaphrodite plant per pit. Throughout the experiment, the planting area was vigilantly monitored for the elimination of plants exhibiting symptoms of mosaic or sticky disease.

After the formation of the first fruits, forty-seven plants were pre-selected based on specific criteria, which included the absence of pests and diseases, the presence of a minimum of 20 commercial fruits for analysis, and collection of seeds and plants with a phenotypic pattern consistent with 'Ruby Incaper 511.' From each pre-selected plant, four fruits at maturation stage 2 (between 15 and 25% yellow peel surface) were collected nine months after planting, as recommended by the System Approach (MARTINS; COSTA, 2003). These fruits were then kept in the laboratory at 20 °C until reaching complete maturation (stage 5).

For each pre-selected plant, the following characteristics were evaluated: fruit fresh matter mass (FM, in kg), fruit length (FL, in cm), fruit diameter (FD, in cm), pulp thickness (PT, in cm), ovarian cavity diameter (OCD, in cm), and soluble solids content (SS, in °Brix). The ovarian cavity diameter was measured in the halved fruits, with two perpendicular measurements conducted in the cavity. Fruit mass was determined using a digital analytical scale, while FL, FD, and OCD were measured using a digital caliper. The soluble solids content was evaluated in triplicate using a digital benchtop refractometer.

Inicialmente, 250 plantas dessa população mantida pelos agricultores foram cultivadas isoladas de outros cultivos de mamoeiro. As sementes desta população foram semeadas em tubetes de 180 cm<sup>3</sup> de volume, preenchidos com substrato comercial Plantimax® + Osmocote Mini Prill® na proporção de 3:1 (v/v). Para o preparo da área, foi realizada aração, gradagem e sulcamento. A adubação do solo, no plantio, cobertura e condução do experimento, foi realizada com base na análise de solo e de acordo com a recomendação para a cultura feita por Prezotti (2022) e irrigada por gotejamento.

Quando as mudas estavam com 20 cm de altura, elas foram plantadas na quantidade de três por cova, sob espaçamento de 3,2 x 2 m, totalizando 1.600 m<sup>2</sup> de área experimento. Três meses após o plantio, com o surgimento dos botões florais, foi realizada a sexagem, mantendo apenas uma planta hermafrodita por cova. A área de plantio foi monitorada constantemente para eliminação de plantas com sintomas de mosaico ou meleira.

Nesse plantio, após a formação dos primeiros frutos, foram pré-selecionadas 47 plantas, observando os requisitos: ausência de pragas e doenças, número mínimo de 20 frutos comerciais para a realização das análises e coleta de sementes e plantas com padrão fenotípico condizente com a 'Rubi Incaper 511'. Nove meses após o plantio, de cada planta pré-selecionada, foram coletados quatro frutos no estágio 2 de maturação (entre 15 e 25% da superfície da casca amarela), como recomendado pelo *System Approach* (MARTINS; COSTA, 2003), sendo mantidos em laboratório, a 20 °C, até a maturação completa (estádio 5).

Foram avaliadas a massa de matéria fresca (MF, em kg), o comprimento (CF, em cm) e o diâmetro dos frutos (DF, em cm), a espessura de polpa (EP, em cm), o diâmetro da cavidade ovariana (DCC, em cm) e o teor de sólidos solúveis (SS, em °Brix). O diâmetro da cavidade ovariana foi medido no fruto partido ao meio, sendo realizada duas medições perpendiculares na cavidade. A massa dos frutos foi obtida em balança analítica digital, o CF, o DF e o DCC foram medidos em paquímetro digital, e o teor de sólidos solúveis foi avaliado em triplicata, em refratômetro digital de bancada.

In the field, the following variables were assessed per plant: the number of commercial fruits (NCF), the number of deformed fruits (NDF), the number of fruitless nodes (NFN), and the total number of fruits (TNF). Deformed fruits included carpeloid and pentadic fruits. Additionally, the first fruit height insertion (FFH, in cm), plant height (PH, in cm), and stem diameter at 20 cm from the ground (SD, in cm) were measured using a measuring tape. Plant height was defined as the distance between the ground and the insertion point of the last leaf in the pseudostem.

To quantify the genetic divergence, a genetic dissimilarity matrix was established using the mean Euclidean distance, considering the mean values for variables with repetition (FM, FL, FD, PT, OCD, and SS), and the absolute value for the other variables. This matrix allowed for grouping genotypes using the hierarchical method of unweighted pair groups method with arithmetic averages (UPGMA). The validation of clusters was determined by the cophenetic correlation coefficient (CCC) (SOKAL; ROHLF, 1962). Furthermore, the relative importance of characters for dissimilarity was estimated using the Singh (1981) method.

The selection of plants for the working population, aimed at increasing similarity to the cultivar Rubi Incaper 511, involved using the index based on the genotype-ideotype distance, with the cultivar itself as the desired ideotype. The optimal values utilized in the analysis were those released for the cultivar Rubi Incaper 511 at the time of its official launch (CATTANEO *et al.*, 2010) (Table 1), with equal weights assigned to all variables.

Em campo, por planta, foram avaliadas as seguintes variáveis: número de frutos comerciais (NFC), número de frutos deformados (NFD), número de nós sem fruto (NSF) e o total de frutos (NTF). Foram considerados deformados os frutos carpeloides e pentândricos. Além disso, com uso de fita métrica, mediu-se: altura de inserção do primeiro fruto (APF, em cm), altura da planta (AP, em cm) e diâmetro do caule a 20 cm do solo (DC, em cm). Para a altura de planta, foi considerada a distância entre o solo e a inserção da última folha no pseudocaule.

Para a quantificação de divergência genética foi estimada a matriz de dissimilaridade genética pela Distância Euclidiana Média, utilizando os valores médios para as variáveis com repetição (MF, CF, DF, EP, DCC e SS) e o valor absoluto para as demais variáveis. A partir dessa matriz foi realizado o agrupamento dos genótipos utilizando o método hierárquico da ligação média entre grupo (UPGMA). A validação dos agrupamentos foi determinada pelo Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC) (SOKAL; ROHLF, 1962). Também foi estimada a importância relativa dos caracteres para a dissimilaridade pelo método de Singh (1981).

Para a seleção das plantas para compor a população de trabalho, buscando torná-la mais próxima da cultivar Rubi Incaper 511, foi utilizado o índice baseado na distância genótipo-ideótipo, sendo a própria cultivar o ideótipo desejado. Os valores ótimos utilizados na análise foram aqueles divulgados para a cultivar Rubi Incaper 511 no momento do seu lançamento oficial (CATTANEO *et al.*, 2010) (Tabela 1), e os pesos foram iguais a 1 para todas as variáveis.

**Table 1** - Optimal values and lower and upper limits for fruit mass (FM), fruit length (FL), fruit diameter (FD), pulp thickness (PT), and soluble solids content (SS), used to estimate the selection indices based on the genotype-ideotype distance

**Tabela 1** - Valores ótimos e limites inferiores e superiores para massa de fruto (MF), comprimento de fruto (CF), diâmetro de fruto (DF), espessura de polpa (EP) e teor de sólidos solúveis (SS) utilizados para estimar os índices de seleção baseado na distância genótipo-ideótipo

Variable	Optimum value <sup>1</sup>	Lower limit	Upper limit
FM (kg)	1.47	1.37	1.99
FL (cm)	24.10	18.45	31.53
FD (cm)	11.60	10.40	13.68
PT (cm)	3.00	2.83	4.76
SS (°Brix)	10.19	9.61	12.67

<sup>1</sup> Optimal values of the cultivar Rubi Incaper 511 obtained by Cattaneo *et al.* (2010).

<sup>1</sup> Valores ótimos da cultivar Rubi Incaper 511 obtidos por Cattaneo *et al.* (2010).

A selection pressure of 25% was applied for the ideotype-based selection, resulting in the selection of 12 plants. The new means of the selected individuals and the selection differential for all analyzed characteristics were computed after this selection. Data analysis was performed using the program Genes (CRUZ, 2016), and the dendrogram was constructed using R version 4.1.3 (R CORE TEAM, 2020).

## RESULTS AND DISCUSSION

A considerable variation was observed among the studied individuals, with fruit mass ranging from 0.73 to 1.99 kg, soluble solids content between 9.63 and 12.68 °Brix, the number of commercial fruits per plant ranging from 23 to 90, and first fruit height insertion between 39 and 123 cm (Table 2). The cultivar Rubi Incaper 511 is an open-pollinated material (open-pollinated variety – OPV). As such, it naturally harbors significant genetic variability, allowing for the reuse of seeds on rural properties. However, it is crucial to maintain the desirable traits of the cultivar across generations, and exceptional care must be taken to prevent the introduction of exogenous pollen into the cultivation areas. Many plants must be selected for seed removal to avoid genetic erosion.

The wide variation observed among individuals in the population indicates that the farmers who managed the population were effective in preserving the genetic variability of the material under study. This, in turn, enables its use in a breeding program for the species or the development of materials better suited to specific cultivation regions. The extensive variation present in the population offers many opportunities for exploration through controlled crossings and selection processes. Likewise, Serpolay-Besson *et al.* (2014) observed that different farmers' corn open-pollinated varieties (OPVs) evolved based on their preferences while retaining their original distinctive traits. Consequently, various sets of accessions could be selected to develop cultivars, depending on the specific objectives of breeders or farmers.

Na seleção baseada no ideótipo, foi utilizada uma pressão de seleção de 25%, selecionando-se 12 plantas. Após essa seleção, foram obtidas as novas médias dos indivíduos selecionados e o diferencial de seleção para todas as características analisadas. A análise dos dados foi realizada com auxílio do programa Genes (CRUZ, 2016); e o dendrograma obtido com o programa R versão 4.1.3 (R CORE TEAM, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve variação entre os indivíduos estudados, com massa de fruto variando de 0,73 a 1,99 kg, teor de sólidos solúveis entre 9,63 e 12,68 °Brix, número de frutos comerciais por planta entre 23 e 90 e altura de inserção do primeiro fruto entre 39 e 123 cm (Tabela 2). A cultivar Rubi Incaper 511 é um material de polinização aberta (*open pollinated varieties* - OPV), por isso, originalmente é portadora de significativa variabilidade genética, além de permitir o reaproveitamento das sementes na propriedade rural. Porém, para que as características da cultivar sejam mantidas com o avanço das gerações, é necessário que haja cuidado especial para impedir a entrada de pólen exógeno nas áreas de cultivo, bem como, exige-se grande número de plantas selecionadas para retirada das sementes, evitando a erosão genética.

A grande variação entre os indivíduos da população indica que os agricultores que conduziram a população foram eficientes em manter a variabilidade genética do material em estudo, e que ele pode ser utilizado em programa de melhoramento da espécie ou para obtenção de materiais mais adaptados à cada região de cultivo, uma vez que há variação a ser explorada por meio de cruzamentos e seleção. Isso também foi observado por Serpolay-Besson *et al.* (2014), que relataram que OPVs de milho mantidos por diferentes agricultores evoluíram de acordo com suas preferências, mas mantiveram as suas características distintivas originais. Assim, diferentes conjuntos de acessos poderiam ser selecionados para obtenção de cultivares, de acordo com os objetivos dos melhoristas ou dos agricultores.

**Table 2** - Lower limit, upper limit, mean, standard deviation, and coefficient of variation (%) of 13 quantitative descriptors obtained from 47 individuals of papaya of the cultivar Rubi Incaper 511

**Tabela 2** - Limite inferior, limite superior, média, desvio padrão e coeficiente de variação (%) de 13 descritores quantitativos, obtidos em 47 indivíduos de mamoeiro da cultivar Rubi Incaper 511

Variable <sup>1</sup>	Lower limit	Upper limit	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation
FM (kg)	0.73	1.99	1.38	0.23	16.36
FL (cm)	18.45	31.53	25.55	2.23	8.75
FD (cm)	8.34	13.68	10.40	0.81	7.80
PT (cm)	2.13	4.76	2.83	0.35	12.35
OCD (cm)	3.56	5.38	4.40	0.48	10.87
SS (°Brix)	9.63	12.68	11.28	0.72	6.34
NCF	23.00	90.00	47.15	12.64	26.81
NDF	0.00	15.00	5.66	3.06	54.10
NFN	3.00	25.00	10.49	5.19	49.51
TNF	26.00	97.00	52.81	13.60	25.76
FFH (cm)	39.00	123.00	73.13	15.70	21.47
PH (cm)	187.00	313.00	228.34	26.93	11.79
SD (cm)	10.19	21.65	13.29	1.78	13.38

<sup>1</sup> FM: fruit fresh matter mass; FL: fruit length; FD: fruit diameter; PT: pulp thickness; OCD: ovarian cavity diameter; SS: soluble solids content; NCF: number of commercial fruits; NDF: number of deformed fruits; NFN: number of fruitless nodes; TNF: total number of fruits; FFH: first fruit height insertion; PH: plant height; SD: stem diameter.

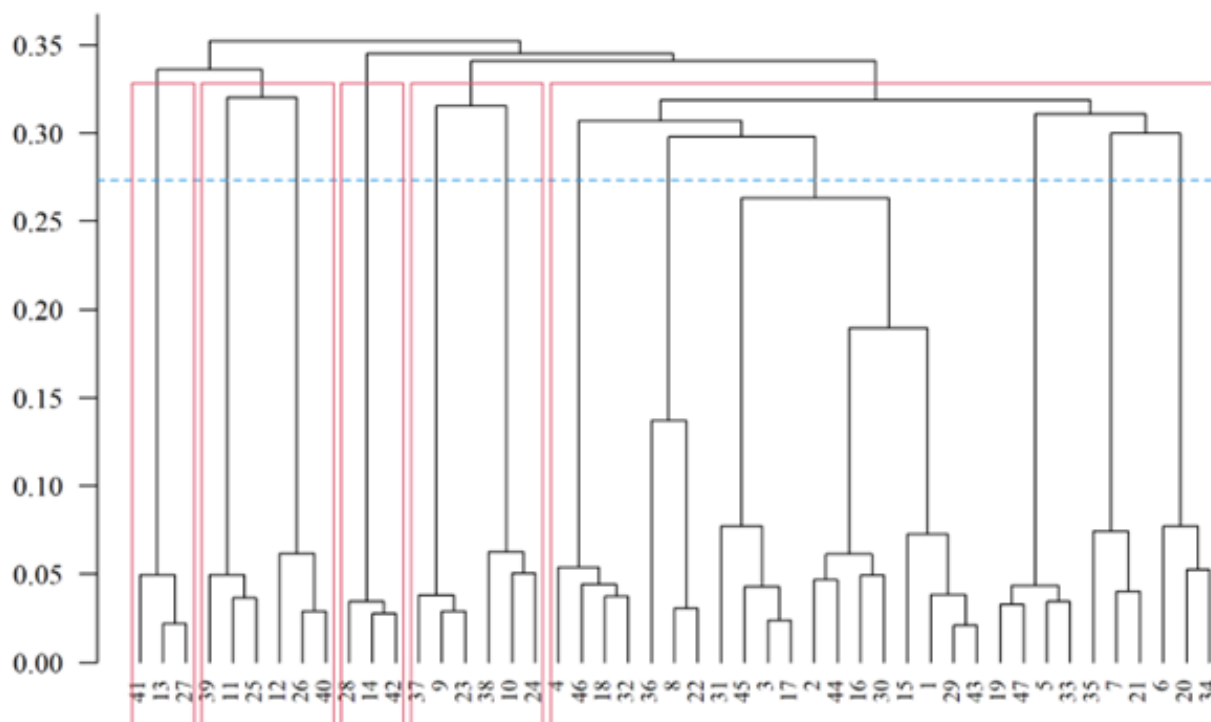
<sup>1</sup> MF: massa de matéria fresca dos frutos; CF: comprimento do fruto; DF: diâmetro de fruto; EP: espessura de polpa; DCC: diâmetro da cavidade ovariana; SS: teor de sólidos solúveis; NFC: número de frutos comerciais; NFD: número de frutos deformados; NSF: número de nós sem frutos; NTF: número total de frutos; APF: altura de inserção do primeiro fruto; AP: altura de planta; DC: diâmetro do caule.

Regarding the dendrogram of genetic dissimilarity obtained through the UPGMA method, the evaluated plants were clustered into five groups (Figure 1). This clustering further underscores the substantial variability among the assessed accessions, and importantly, no duplicates were identified. The cophenetic correlation coefficient (CCC) was 86.86%, indicating a robust correlation and, in turn, suggesting that no significant distortions exist in the representation of similarity between individuals in the formed dendrogram (MATTA *et al.*, 2015). It is worth noting that CCC values above 80% are considered satisfactory, as they indicate distortion below 20%.

The analysis revealed that the variables that contributed the most to genetic divergence among the evaluated papaya individuals were ovarian cavity diameter (13.91%), number of fruitless nodes (11.20%), and soluble solids content (11.06%) (Table 3). Saran *et al.* (2015) observed that the traits of plant fruiting zone, fruit cavity width, and soluble solids content contributed to the differentiation of 24 papaya germplasm lineages and their hybrids, collected from distinct parts of India.

De acordo com o dendrograma de dissimilaridade genética obtido pelo método UPGMA, as plantas avaliadas se dividiram em cinco grupos (Figura 1), reforçando a grande variabilidade existente entre os acessos avaliados, bem como a ausência de duplicatas. O coeficiente de correlação copenética foi de 86,86%, indicando forte correlação, o que significa que não há distorções significativas quanto à representação da similaridade entre os indivíduos no dendrograma formado (MATTA *et al.*, 2015). Esses autores consideram que o CCC é satisfatório quando expressam distorção inferior a 20%, ou seja, CCC > 80%.

As variáveis que mais contribuíram para a divergência genética foram: diâmetro da cavidade ovariana (13,91%), número de nós sem fruto (11,20%) e teor de sólidos solúveis (11,06%) (Tabela 3). Saran *et al.* (2015), por sua vez, observaram que as características zona de frutificação da planta, largura da cavidade do fruto e teor de sólidos solúveis contribuíram para diferenciar 24 linhagens de germoplasma de mamoeiro e seus híbridos, coletadas em diferentes partes da Índia.



**Figure 1** - Dendrogram of genetic dissimilarity obtained by the unweighted pair groups method with arithmetic averages (UPGMA), based on 13 quantitative descriptors, obtained from 47 individuals of papaya of the cultivar Rubi Incaper 511. Cophenetic correlation coefficient (CCC): 0.8686.

**Figura 1** - Dendrograma de dissimilaridade genética, obtido pelo método hierárquico de médias ponderadas (UPGMA), com base em 13 descritores quantitativos, obtidos em 47 indivíduos de mamoeiro da cultivar Rubi Incaper 511. Coeficiente de correlação cofenética (CCC): 0,8686.

The characters PT (3.55%), FD (4.64%), and SD (4.85%) had the lowest contribution to divergence (Table 2), and therefore, they could be discarded from the analysis of genetic diversity. However, we suggest not excluding their evaluation during the process of the analysis of genetic divergence of papaya accessions due to their importance for the production and vigor of the plant and fruit quality, together with the fact that these traits are easy to measure.

Groups G I and G III were formed with only three accessions each, G II, and G IV with six accessions each, and G V with 29 accessions (Figure 1). G I had the highest mean for fruit mass, ovarian cavity diameter, and soluble solids content and lower mean values for the number of deformed fruits (together with G III), the number of fruitless nodes, plant height, and first fruit height insertion (together with G II) (Table 4). For this reason, this group has accessions that provide traits of significant importance for the improvement of papaya from the Formosa group (MOREIRA *et al.*, 2019). G II had the highest mean fruit length, total number of fruits, and number of commercial fruits. G III had the highest mean for fruit diameter, and G IV for pulp thickness.

Os caracteres EP (3,55%), DF (4,64%) e DC (4,85%) tiveram menor contribuição para a divergência (Tabela 2), e por isso poderiam ser descartadas da análise de diversidade genética. No entanto, devido à importância deles para a produção e vigor da planta e para a qualidade do fruto, aliado ao fato de serem caracteres de fácil mensuração, sugere-se não excluir a sua avaliação durante o processo de análise de divergência genética de acessos de mamoeiro.

Os grupos G I e G III foram formados com apenas três acessos cada um; o G II e G IV com seis acessos cada e o G V com 29 acessos (Figura 1). O G I teve maior média para massa de fruto, diâmetro da cavidade ovariana e teor de sólidos solúveis; e menores valores médios para número de frutos deformados (juntamente com o G III), de nós sem fruto, de altura de planta e de inserção do primeiro fruto (juntamente com o G II) (Tabela 4). Por esse motivo, esse grupo reúne acessos que fornecem características de grande importância para o melhoramento de mamoeiro do grupo Formosa (MOREIRA *et al.*, 2019). O G II teve maior média de comprimento de fruto e número total e comercial de fruto. O G III teve maior média para diâmetro de fruto e o G IV para espessura de polpa.



**Table 3** - Estimates of the contribution of each variable (S.j) to genetic divergence using the Singh (1981) method

**Tabela 3** - Estimativas da contribuição de cada variável (S.j) para a divergência genética pelo método de Singh (1981)

Variable <sup>1</sup>	S.j	Relative contribution (%)
FM	71.23	6.48
FL	64.49	5.86
FD	50.98	4.64
PT	39.02	3.55
OCD	152.91	13.91
SS	121.56	11.06
NCF	78.61	7.15
NDF	92.03	8.37
NFN	123.07	11.20
TNF	81.09	7.38
FFH	70.02	6.37
PH	100.92	9.18
SD	53.29	4.85

<sup>1</sup> FM: fruit fresh matter mass; FL: fruit length; FD: fruit diameter; PT: pulp thickness; OCD: ovarian cavity diameter; SS: soluble solids content; NCF: number of commercial fruits; NDF: number of deformed fruits; NFN: number of fruitless nodes; TNF: total number of fruits; FFH: first fruit height insertion; PH: plant height; SD: stem diameter.

<sup>1</sup> MF: massa fresca de fruto (kg); CF: comprimento de fruto (cm); DF: diâmetro de fruto (cm); EP: espessura de polpa (cm); DCC: diâmetro da cavidade ovariana (cm); SS: teor de sólidos solúveis (°Brix); NFC: número de frutos comerciais; NFD: número de frutos deformados; NSF: número de nós sem fruto; NTF: número total de frutos; APF: altura do primeiro fruto (cm); AP: altura de planta (cm); DC: diâmetro do caule (cm).

Individuals with the highest and lowest means for eight of the 13 analyzed variables (FM, OCD, NCF, NDF, NFN, FFH, PH, and SD) were grouped in five group - G V (Table 4). The cluster analysis aims to group genetically less divergent individuals, but the contrasting individuals grouped in G V occurred because the algorithm used in the UPGMA methodology considers the arithmetic mean of the dissimilarity measures. Therefore, it tends not to characterize the genetic divergence through extreme values, as in the nearest neighbor or farthest neighbor methods (MATTA *et al.*, 2015).

No grupo 5 (G V) foram agrupados os indivíduos com as maiores e menores médias para oito das 13 variáveis analisadas (MF, DCC, NFC, NFD, NSF, APF, AP e DC) (Tabela 4). A análise de agrupamento tem por objetivo agrupar indivíduos geneticamente menos divergentes, porém os indivíduos contrastantes agrupados no G V ocorrem porque o algoritmo utilizado na metodologia do UPGMA considera a média aritmética das medidas de dissimilaridade. Por isso, tende a não caracterizar a divergência genética por meio de valores extremos, como ocorre nos métodos do vizinho mais próximo ou do vizinho mais distante (MATTA *et al.*, 2015).

**Table 4** - Minimum (MIN), maximum (MAX), and mean values obtained within each group formed in the genetic divergence dendrogram (G I, G II, G III, G IV, and G V) and for individuals selected by the index based on genotype-ideotype distance

**Tabela 4** - Valores mínimos (MIN), máximos (MAX) e médios obtidos dentro de cada grupo formado no dendrograma de divergência genética (G I; G II; G III; G IV; e G V) e para os indivíduos selecionados pelo índice baseado na distância genótipo-ideótipo

		FM <sup>1</sup>	FL	FD	PT	SS	NCF	TNF	FFH	PH
G I	MIN	1.24	24.60	10.30	2.56	11.05	30.00	36.00	49.00	195.00
	MAX	1.83	28.07	11.37	3.03	12.50	54.00	58.00	84.00	219.00
	Mean	1.46	26.56	10.69	2.76	11.71	45.67	50.00	68.67	204.67
G II	MIN	1.19	24.95	9.43	2.51	9.63	44.00	46.00	51.00	200.00
	MAX	1.92	31.53	10.88	2.83	12.03	58.00	66.00	89.00	252.00
	Mean	1.44	26.82	10.14	2.72	11.11	49.67	54.83	68.67	237.83
G III	MIN	1.09	18.45	10.18	2.44	11.03	37.00	40.00	65.00	215.00
	MAX	1.25	24.01	13.68	2.87	12.05	59.00	64.00	86.00	270.00
	Mean	1.19	22.05	11.56	2.71	11.63	45.67	50.00	75.67	242.67
G IV	MIN	0.99	24.18	8.71	2.42	9.80	25.00	26.00	57.00	220.00
	MAX	1.74	29.29	11.71	4.76	11.23	77.00	86.00	98.00	240.00
	Mean	1.38	26.27	10.37	3.15	10.55	48.00	53.33	75.17	230.17
G V	MIN	0.73	21.36	8.34	2.13	10.08	23.00	27.00	39.00	187.00
	MAX	1.99	28.22	11.68	3.12	12.68	90.00	97.00	123.00	313.00
	Mean	1.38	25.39	10.32	2.81	11.38	46.76	52.86	73.83	226.97
Selected individuals	MIN	1.25	21.37	10.07	2.81	10.38	25.00	26.00	42.00	200.00
	MAX	1.83	28.28	11.71	4.76	11.73	68.00	74.00	93.00	240.00
	Mean	1.50	25.48	10.93	3.11	10.82	43.17	47.83	73.92	223.58

<sup>1</sup> FM: fruit fresh mass (kg); FL: fruit length (cm); FD: fruit diameter (cm); PT: pulp thickness (cm); SS: soluble solids content (°Brix); NCF: number of commercial fruits; TNF: total number of fruits; FFH: first fruit height insertion (cm); PH: plant height (cm).

<sup>1</sup> MF: massa fresca de fruto (kg); CF: comprimento de fruto (cm); DF: diâmetro de fruto (cm); EP: espessura de polpa (cm); SS: teor de sólidos solúveis (°Brix); NCF: número de frutos comerciais; TNF: número total de frutos; APF: altura do primeiro fruto (cm); AP: altura de planta (cm).

Twelve individuals were selected based on the ideotype (3, 8, 9, 10, 23, 24, 29, 34, 39, 41, 43, and 46) and distributed into four out of the five groups formed in the dendrogram (Table 4). The selected individuals displayed a range of fruit masses between 1.25 and 1.83 kg, pulp thickness varying from 2.81 to 4.76 cm, soluble solids content ranging from 10.38 to 11.73 °Brix, and the number of commercial fruits spanning from 25 to 68 (Table 3). This selection represents an interval of 580 g in fruit mass, 1.95 cm in pulp thickness, 1.35 °Brix in soluble solids content, and 43 fruits, thus effectively preserving the genetic variability present in the base population of the study. The maintenance of such variation holds significant importance for the breeding program to sustain genetic gains across successive selection cycles. Keeping genetic materials with extensive genetic diversity is crucial for conserving genes of interest, either for present or future use, given papaya's narrow genetic base (NOBRE *et al.*, 2021).

Foram selecionados 12 indivíduos por meio do ideótipo (3; 8; 9; 10; 23; 24; 29; 34; 39; 41; 43 e 46), distribuídos em quatro dos cinco grupos formados no dendrograma (Tabela 4). A massa dos frutos dos indivíduos selecionados variou entre 1,25 e 1,83 kg, com espessura de polpa entre 2,81 e 4,76 cm, teor de sólidos solúveis entre 10,38 e 11,73 °Brix e número de frutos comerciais entre 25 e 68 (Tabela 3). Isso representa um intervalo de 580 g na massa de frutos, 1,95 cm na espessura da polpa, 1,35 °Brix de teor de sólidos solúveis e 43 frutos, mantendo a variabilidade genética disponível na população-base do estudo. A manutenção dessa variação é importante para que o programa de melhoramento mantenha ganhos genéticos ao longo dos ciclos de seleção. Devido à base genética estreita do mamoeiro, a manutenção de materiais genéticos com ampla diversidade genética é imprescindível para a conservação de genes de interesse para uso atual ou futuro (NOBRE *et al.*, 2021).

The selected individuals exhibited favorable selection differentials for 10 out of the 13 evaluated traits (Table 4). These selection differentials were considered favorable in two scenarios: i) when the values of the selected individuals were closer to the cultivar Rubi Incaper 511, which was the chosen ideotype in this study, as observed for FM, FL, FD, PT, SS, FFH, PH, and SD; and ii) when there was no reference value in the ideotype, the values of the selected individuals indicated improvements in traits of interest for plant breeding, such as a reduction in the number of deformed fruits and the number of fruitless nodes. Consequently, the selected individuals brought about a 9.12% increase in fruit mass and a 9.60% increase in pulp thickness, while simultaneously reducing the number of fruitless nodes by 11.02% and the number of deformed fruits by 17.54% (Table 5). Overall, the selected individuals closely resembled the selected ideotype, except for the total number of fruits, which demonstrates the effectiveness of the selection index.

Ideotypes play a crucial role in plant breeding as they help achieve diverse objectives, such as developing cultivars with disease resistance, catering to specific market niches, or exhibiting desirable agronomic traits (GAUFFRETEAU, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2020). Therefore, the study results demonstrate that the selection based on genotype-ideotype distance can be effectively utilized for the rescue and improvement of genetic materials, particularly those obtained through open pollination.

The selected individuals successfully fulfilled the objective of the study, which aimed to bring the material maintained by producers closer to the cultivar Rubi Incaper 511. However, certain results, such as the reduction in soluble solids content and stem diameter, and the increase in the first fruit height insertion, run contrary to the interests of the papaya breeding program. According to Barros *et al.* (2017) and Moreira *et al.* (2019), the low content of soluble solids in the fruits of the cultivar Rubi Incaper 511 hinders its commercial viability, thereby justifying the breeding program developed by Incaper, which strives to enhance the fruit quality of this material. Nevertheless, it is worth noting that individuals with soluble solids content equal to or higher than 12.50 °Brix were also observed, suggesting that they could be valuable in advancing fruit quality improvement efforts.

Os indivíduos selecionados proporcionaram diferenciais de seleção favoráveis para 10 das 13 características avaliadas (Tabela 4). Os diferenciais de seleção foram considerados favoráveis em duas situações: i) quando os valores dos indivíduos selecionados ficaram mais próximos da cultivar Rubi Incaper 511, o ideótipo escolhido nesse estudo, como ocorrido para MF, CF, DF, EP, SS, APF, AP e DC; ii) quando não havia valor de referência no ideótipo, os valores dos indivíduos selecionados proporcionaram avanços em características de interesse ao melhoramento de plantas, como a redução do número de frutos deformados e número de nós sem fruto. Com base nisso, indivíduos selecionados promoveram o aumento da massa do fruto em 9,12%; da espessura de polpa em 9,60%; e reduziram o número de nós sem fruto em 11,02% e o número de frutos deformados em 17,54% (Tabela 5). Exceto para número total de frutos, os indivíduos selecionados estão mais próximos do ideótipo selecionado, mostrando a eficiência do índice de seleção utilizado.

No melhoramento de plantas, os ideótipos podem ser estabelecidos para atingir diferentes objetivos, como a obtenção de cultivares resistente a doenças, para atender a nichos de mercado, ou com uma característica agrônômica de interesse (GAUFFRETEAU, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2020). A partir dos resultados desse trabalho, pode-se concluir que a seleção baseada na distância genótipo-ideótipo, também, pode ser utilizada para o resgate de materiais genéticos, notadamente aqueles de polinização aberta.

Os indivíduos selecionados atenderam ao objetivo do trabalho de tornar o material mantido por produtores mais próximos a cultivar Rubi Incaper 511, a redução do teor de sólidos solúveis e do diâmetro do caule e o aumento da altura do primeiro fruto obtidos contrariam os interesses do programa de melhoramento do mamoeiro. Segundo Barros *et al.* (2017) e Moreira *et al.* (2019), o baixo teor de sólidos solúveis dos frutos da cultivar Rubi Incaper 511 impede seu uso em escala comercial, justificando o programa desenvolvido pelo Incaper, que busca melhorar a qualidade dos frutos desse material. Apesar disso, foram observados indivíduos com teor de sólidos solúveis igual ou superior a 12,50 °Brix, que podem ser usados para promover a melhoria da qualidade dos frutos.

**Table 5** - Original mean ( $X_o$ ), mean of selected individuals ( $X_s$ ), and selection differential (DS) obtained with the selection of 12 papaya accessions by the index based on the genotype-ideotype distance

**Tabela 5** - Média original ( $X_o$ ), média dos indivíduos selecionados ( $X_s$ ) e diferencial de seleção (DS) obtidos com a seleção de 12 acessos de mamoeiro pelo índice baseado na distância genótipo-ideótipo

Variable <sup>1</sup>	$X_o$	$X_s$	DS	DS (%)	Rubi Incaper 511 <sup>2</sup>
FM (kg)*	1.38	1.50	0.12	8.69	1.47
FL (cm)	25.55	25.48	-0.07	-0.27	24.1
FD (cm)	10.40	10.93	0.53	5.09	11.6
PT (cm)	2.83	3.11	0.28	9.89	3.0
OCD (cm)	4.40	4.71	0.31	7.04	-
SS (°Brix)	11.28	10.82	-0.46	-4.07	10.2
NCF	47.15	43.17	-3.98	-8.44	-
NDF	5.66	4.67	-0.99	-17.49	-
NFN	10.49	9.33	-1.16	-11.05	-
TNF <sup>3</sup>	52.81	47.83	-4.98	-9.43	62.9
FFH (cm)	70.54	73.92	3.38	4.79	88.0
PH (cm)	228.34	223.58	-4.76	-2.08	164.00
SD (cm)	13.29	12.97	-0.32	-2.41	10.2

<sup>1</sup> FM: fruit fresh matter mass; FL: fruit length; FD: fruit diameter; PT: pulp thickness; OCD: ovarian cavity diameter; SS: soluble solids content; NCF: number of commercial fruits; NDF: number of deformed fruits; NFN: number of fruitless nodes; TNF: total number of fruits; FFH: first fruit height insertion; PH: plant height; SD: stem diameter.

<sup>2</sup> Mean values obtained for the cultivar Rubi Incaper 511 by Cattaneo *et al.* (2010).

<sup>3</sup> The total number of fruits obtained in the experiment at nine months and approximately 24 months for the cultivar Rubi Incaper 511 for the entire crop cycle.

\*In bold, traits that had a selection differential favorable to the objectives of the study.

<sup>1</sup> MF: massa fresca de fruto; CF: comprimento de fruto; DF: diâmetro de fruto; EP: espessura de polpa; DCC: diâmetro da cavidade ovariana; SS: teor de sólidos solúveis; NFC: número de frutos comerciais; NFD: número de frutos deformados; NSF: número de nós sem fruto; NTF: número total de frutos; APF: altura do primeiro fruto; AP: altura de planta; DC: diâmetro do caule.

<sup>2</sup> Valores médios obtidos para cultivar Rubi Incaper 511 por Cattaneo *et al.* (2010).

<sup>3</sup> O número total de frutos obtidos no experimento foi aos 9 meses e para a Rubi Incaper 511 foi para todo ciclo da cultura, de aproximadamente 24 meses.

\*Em negrito, características que tiveram diferencial de seleção favoráveis aos objetivos do trabalho.

## CONCLUSIONS

The genetic variability of the papaya cultivar Rubi Incaper 511 from the Formosa group was satisfactorily preserved in the field, thanks to the effective management practices employed by rural producers.

The study demonstrates that it is indeed feasible to restore the original phenotypic pattern of open-pollinated cultivars in populations maintained by farmers, achieved through the selection process based on the genotype-ideotype distance.

## CONCLUSÕES

A cultivar de mamoeiro do grupo Formosa, Rubi Incaper 511, teve sua variabilidade genética mantida de forma satisfatória em campo de acordo com o manejo feito por produtores rurais.

É possível a recuperação do padrão fenotípico original de cultivares de polinização aberta, em populações mantidas por agricultores, empregando a seleção por meio do índice baseado na distância genótipo-ideótipo.

## ACKNOWLEDGMENTS

We extend our sincere appreciation to the scholarship holders of the Laboratory of Plant Physiology and Post-Harvest of Incaper for their invaluable assistance in conducting the physicochemical analyses of fruits.

## AGRADECIMENTOS

Aos bolsistas do Laboratório de Fisiologia Vegetal e Pós-Colheita do Incaper pelo auxílio na realização das análises físico-químicas dos frutos.

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

ALMEIDA, C. L. P.; BENTO, C. S.; SUDRÉ, C. P.; PIMENTA, S.; GOLÇALVES, L. S. A.; RODRIGUES, R. Genotype-Ideotype distance index and multivariate analysis to select sources of anthracnose resistance in *Capsicum* spp. **European Journal of Plant Pathology**, v. 156, p. 223-236, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01879-9>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BARROS, F. L. S.; KUHLCAMP, K. T.; ARANTES, S. D.; MOREIRA, S. O. Productivity and quality of Formosa and Solo papaya over two harvest seasons. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 599-606. 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000800005

CATTANEO, L. F.; COSTA, A. F. S.; SERRANO, L. A. L.; COSTA, A. N.; FANTON, C. J.; BRAVIM, A. J. B. **'Rubi INCAPER 511' Primeira variedade de mamão do grupo 'Formosa' para o Espírito Santo**. Vitória : DCM/Incaper (Série Documentos, 187). 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/44/1/Folder-Mamao-Rubi.pdf>> Acesso em: 25 mar. 2022.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i4.32629>

DEBAEKE, P.; GAUFFRETEAU, A.; DUREL, C. E.; JEUFFROY, M. H. Conception d'idéotypes variétaux en réponse aux nouveaux contextes agricoles et environnementaux. **Agronomie Environnement & Sociétés**, v. 4, n. 2, p. 65-73. 2014.

GALEANO, E. A. V.; MARTINS, D. S.; BARROS, F. L. S.; VENTURA, J. A.; QUEIROZ, R. B. **Cadeia produtiva do mamão no Espírito Santo**. 1 ed. Vitória, ES : Incaper, 2022. 172p. Disponível em: < <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4206/1/Livro-cadeiaprodutivadamamaonoES-Incaper.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2022.

GAUFFRETEAU, A. Using ideotypes to support selection and recommendation of varieties. **Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, v. 25, n. 6, D602, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2018042>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agropecuária**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/br>>. Acesso em: 20 set. 2022.

KUMAR, A.; MAZHAR, S. H.; JAHANARA, D. Assessment of socio-economic characteristics, knowledge and extent of adoption of improved papaya production technology in farmers of Muzaffarpur, Bihar. **The Pharma Innovation Journal**, v. 10, n. 9, p. 297-300. 2021.

MARTINS, D. S.; COSTA, A. A. F. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. 1 ed. Vitória: Incaper, 2003. 497p. Disponível em: < <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/924/1/Livro-A-Cultura-do-Mamoeiro-1.pdf>> Acesso em: 17 mai 2022.

- MATTA, L. B.; TOMÉ, L. G. O.; SALGADO, C. C.; CRUZ, C. D.; SILVA, L. F. Hierarchical genetic clusters for phenotypic analysis. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 4, p. 447-456. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i4.19746>
- MOREIRA, S. O.; KUHLCAMP, K. T.; BARROS, F. L.; ZUCOLOTO, M.; GODINHO, T. O. Selection index based on phenotypic and genotypic values predicted by REML/BLUP in Papaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 1, e-079, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019079>
- NOBRE, V. F.; SILVA, S. O.; SILVA, M. S. Caracterização morfoagronômica de acessos de mamoeiro do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 1, e26771, 2021. DOI: <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26771>
- PEREIRA, M. G.; LUZ, L. N.; SANTA-CATARINA, R.; RAMOS, H. C. C.; PEREIRA, T. N. S.; BARROS, G. B.; FERREGUETI, G. A.; CORTES, D. F. M.; VETTORAZZI, J. C. F.; AZECEDO, A. O. N.; SILVEIRA, S. F.; OLIVEIRA, J. G.; VIANA, A. P. 'UC14': a new papaya cultivar with intermediate fruit size. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 226-229, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332019v19n2c31>
- PINTO, F. O.; RAMOS, H. C. C.; CARDOSO, D. L.; LUZ, L. N.; PEREIRA, M. G. Desenvolvimento de genótipos de mamoeiro tolerantes à mancha fisiológica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1101-1115, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000400022>
- PREZOTTI, L. C. **Sistema de recomendação de calagem e adubação**. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/ferramentas-de-apoio-tecnico>>. Acesso em 14 mai. 2022.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- SARAN, P. L.; CHOUDHARY, R.; SOLANKI, I. S.; PATIL, P.; KUMAR, S. Genetic variability and relationship studies in new Indian papaya (*Carica papaya* L.) germplasm using morphological and molecular markers. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 2, p. 310-321, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1409-148>
- SEMENOV, M. A.; STRATONOVITCH, P. Designing high-yielding wheat ideotypes for a changing climate. **Food and Energy Security**, v. 2, n. 3, p. 185-196, 2013. DOI: 10.1002/fes3.34
- SERPOLAY-BESSON, E.; GIULIANO, S.; SCHERMANN, N.; CHABLE, V. Evaluation of evolution and diversity of maize open-pollinated varieties cultivated under contrasted environmental and farmers' selection pressures: a phenotypical approach. **Open Journal of Genetics**, v. 4, p. 125-145, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ojgen.2014.42014>
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, p. 30-40, 1962.