



## Productive capacity and genetic variation behavior in progenies from irrigated açai according to plant age

### *Capacidade produtiva e comportamento da variação genética em progênies de açai irrigado segundo a idade das plantas*

João Tomé de Farias Neto<sup>1</sup>, Gilberto Ken Ito Yokomizo<sup>2\*</sup>, Marcos Deon Vilela de Resende<sup>3</sup>

**Abstract:** The açai fruit yield is concentrated between the months of July to December (harvest), providing an important income to actors involved in the production chain, however in the off-season this brings serious socioeconomic problems, with the need for research that may offer selected genetic materials that can circumvent this problem. However, the age for making this selection in this species is unknown. Therefore, the objective of this work was to infer the best age for selection by estimating genetic and phenotypic parameters in the different stages of evaluating progenies of half-sibs of açai. The experiment followed a randomized block design with three replications and five plants per plot, with 30 progenies. The statistical analysis was performed using the REML/BLUP methodology. The results showed that the magnitudes of the estimates of heritability and genetic variation decrease with age; the correlations between the characters that make up fruit yield reveal that the number of bunches is the most important component of yield; for the fruit yield character, the age of progenies and harvest years indicate that early selections are more efficient; the early emission of tillers is an important characteristic to be sought in açai breeding programs guaranteeing greater fruit yield in adult plants; and higher fruit yield in the off-season is possible from the fourth year of harvest.

**Key words:** *Euterpe oleracea*. Genetic breeding. Mixed models. Genetic selection.

**Resumo:** A produção de frutos de açai se concentra entre os meses de julho e dezembro (safra), constituindo importante fonte de renda para os atores da cadeia produtiva, contudo, na entressafra, traz sérios problemas de ordem socioeconômica, por isso, são necessárias pesquisas que ofereçam materiais genéticos selecionados que possam contornar este problema, porém a idade de se efetuar a seleção nesta espécie é uma incógnita. Portanto, objetivou-se com este trabalho inferir sobre a melhor idade para seleção, empregando a estimação dos parâmetros genéticos e fenotípicos nas diferentes etapas de avaliação de progênies de meios-irmãos de açazeiro. O experimento foi delineado em blocos aleatorizados com três repetições e cinco plantas por parcela, com 30 progênies. A análise estatística foi realizada com a metodologia REML/BLUP. Pelos resultados obtidos, as magnitudes das estimativas da herdabilidade e variação genética diminuem com a idade; as correlações entre caracteres componentes da produtividade de frutos revelam que o número de cachos é o mais importante componente da produção; para o caráter produtividade de frutos, a interação entre progênies e anos agrícolas indica que seleções precoces são mais eficientes; a emissão precoce de perfilhos é uma característica importante a ser buscada em programas de melhoramento do açai, garantindo maior produtividade de frutos em plantas adultas; por fim, produtividade de frutos maior no período da entressafra é possível a partir do quarto ano agrícola.

**Palavras-chave:** *Euterpe oleracea*. Melhoramento genético. Modelos mistos. Seleção genética.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 12/05/2020, approved on 07/07/2020 and published on 17/08/2020

<sup>1</sup>Agronomist, Doctor, Embrapa Amazônia Oriental, Travessa Enéas Pinheiro, s/n, Marco, CEP 66.095-903, Belém, PA. E-mail: joao.farias@embrapa.br

<sup>2</sup>Agronomist, Doctor, Embrapa Amapá, Rod. JK, 2600, Universidade, CEP 68.903-419, Macapá, AP. E-mail: gilberto.yokomizo@embrapa.br

<sup>3</sup>Agronomist, Doctor, Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, Parque Monte Castelo, CEP 83.411-000, Colombo, PR. E-mail: marcos.deon@gmail.com

## INTRODUCTION

The açai (*Euterpe oleracea*) is a species of palm, native to the Amazon, cultivated for its fruits and heart of palm. The state of Para, where dense and diverse natural populations are established in lowland areas, is the largest producer and main consumer of açai fruit. Brazilian production of açai fruits is traditionally based on extractivism, with the Northern region of Brazil being responsible for 99.8% of the national production of the fruit. The Pará state is responsible for 95.3% of national production (IBGE, 2020).

Estimates indicate that 70% to 80% of fruit production is concentrated between the months of July and December (harvest), constituting, in this period, one of the best options for generating employment and income. This concentration of production shows that climatic seasonality influences productivity (SILVA DIAS *et al.*, 2019). On the other hand, this production model brings serious socioeconomic problems, such as loss of jobs and income in the off-season (January to July), given that most artisanal processors and industries do not work due to the absence of the product. Consequently, the increased price of açai penalizes the low-income population, which uses açai juice as an important food supplement.

To meet consumption demands, the açai tree is a species that still needs a long process of domestication (TAVARES *et al.*, 2020). Work on improving its genetic parameters is only in the initial stage of development, and the literature offers only preliminary or occasional results (FARIAS NETO *et al.*, 2018; AZÊVEDO *et al.*, 2019; YOKOMIZO *et al.*, 2019), requiring a more detailed study of the species at different productive stages/ages. Studies on the evolution of genetic variation over the plant ages at the time of evaluation, the efficiency of early selection in segregating populations to determine the reliability of a character evaluated in the juvenile stage as an indicator of the individual's productive performance in adulthood, and the importance of the positive association from early emission of tillers and other agronomic traits with productivity in adulthood have not yet been established in the literature.

## INTRODUÇÃO

O açazeiro (*Euterpe oleracea*) é uma espécie frutífera e produtora de palmito, nativa da Amazônia, sendo o estado do Pará, onde estão estabelecidas densas e diversificadas populações naturais em áreas de várzeas, o maior produtor e principal consumidor. A produção brasileira de frutos de açai é tradicionalmente baseada no extrativismo, com a região Norte sendo a responsável por 99,8% da produção nacional do fruto. O Pará é responsável por 95,3% da produção nacional (IBGE, 2020).

Estimativas apontam que 70 a 80% da produção de frutos se concentra entre os meses de julho e dezembro (safra), constituindo-se neste período uma das melhores opções de geração de emprego e renda. Essa concentração da produção evidencia que a sazonalidade climática interfere na produtividade (SILVA DIAS *et al.*, 2019). Por outro lado, esse modelo de produção traz sérios problemas de ordem sócio-econômica, como perda de emprego e renda no período de entressafra (janeiro a julho), haja vista que grande parte dos processadores artesanais e indústrias não funcionam por falta do produto. Consequentemente, a alta do preço do açai penaliza a população de baixa renda, que tem no suco do açai um importante complemento alimentar.

O açazeiro para atender as demandas de consumo é uma espécie que ainda necessita de um longo processo de domesticação (TAVARES *et al.*, 2020), os trabalhos de melhoramento estão em fase inicial de desenvolvimento, e a literatura oferece apenas resultados iniciais ou pontuais (FARIAS NETO *et al.*, 2018; AZÊVEDO *et al.*, 2019; YOKOMIZO *et al.*, 2019), sendo necessário estudo mais detalhado da espécie nas diferentes fases/idades produtivas. Estudos sobre a evolução da variação genética ao longo das idades de avaliações, a eficiência da seleção precoce em populações segregantes procurando determinar a confiabilidade de um caráter avaliado na fase juvenil como indicador do desempenho produtivo do indivíduo na fase adulta e a importância da associação positiva da emissão precoce de perfilhos e de outros caracteres agrônômicos com a produtividade na fase adulta ainda não foram estabelecidos na literatura.

Another aspect to be highlighted is that the açai tree also has some peculiar biological characteristics, such as a long reproductive cycle, character expression over several years, precocious production, overlapping generations, tillering, and longevity, among others. These characteristics bring some difficulties in the process of estimating genetic parameters and predicting genetic values, consistent with the phenotypic changes identified by Tozato *et al.* (2015) that perennial plants show over time and with environmental changes. Among the methods used to estimate genetic parameters in tree species, the REML/BLUP methodology (maximum restricted likelihood/best unbiased bias) has been used for the precision it gives to the obtained estimates. Such procedures allow to maximize efficiency in the genetic evaluation of perennial species by allowing the prediction of genetic values associated with phenotypic observations, adjusting and correcting the data for environmental effects and for the imbalance arising from the unequal amount of information per plot (RESENDE, 2016).

In genetic improvement programs for perennial species, it is important to know the genetic control of traits of interest in the different stages of progeny evaluation in order to define the best breeding strategy and genetic gain with selection. Thus, the objective of the present work was to estimate the genetic and phenotypic parameters in the different stages of progenies of half-brothers of the açai tree, using the mixed model methodology, to infer the best age for selection.

## MATERIAL AND METHODS

The study was carried out at the Embrapa Amazônia Oriental experimental base located in the municipality of Tomé-Açu, in the Northeast of Pará, approximately between the latitudes of 01° 57' 38'' and 03° 16' 37'' S and the longitudes of 47° 53' 32'' W and 48° 49' 15'' W. The climatic meteorological data indicate a hot and humid climate, fitting the AmI climatic type, according to the Köppen classification. Precipitation is characterized by two distinct periods of rain, from December to May, with rates above 150 mm per month, when around 80% of the total annual precipitation is concentrated; and from June to November, with an index ranging from 49 to 105 mm per month.

Outro aspecto a ser realçado é que o açazeiro apresenta também algumas características biológicas peculiares, como ciclo reprodutivo longo, expressão dos caracteres ao longo de vários anos, precocidade de produção, sobreposição de gerações, perfilhamento e longevidade dentre outros. Essas características trazem algumas dificuldades no processo de estimação de parâmetros genéticos e de predizer os valores genéticos, condizente com as mudanças fenotípicas citadas por Tozato *et al.* (2015), que as plantas perenes apresentam com o passar do tempo e as alterações ambientais impostas. Dentre os métodos usados para estimar parâmetros genéticos em espécies arbóreas, a metodologia REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição não viesada) tem sido empregada pela precisão que confere às estimativas obtidas. Tais procedimentos permitem maximizar a eficiência na avaliação genética de espécies perenes por permitir a predição de valores genéticos associados às observações fenotípicas, ajustando-se e corrigindo os dados para os efeitos ambientais e para o desbalanceamento advindo do número desigual de informações por parcela (RESENDE, 2016).

Em programas de melhoramento genético de espécies perenes é importante o conhecimento do controle genético de caracteres de interesse nas diversas etapas de avaliação das progênies com o propósito de definir a melhor estratégia de melhoramento e de ganho genético com a seleção. Assim, objetivou-se com o presente trabalho estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos nas diferentes etapas de avaliação de progênies de meios-irmãos de açazeiro, usando a metodologia de modelos mistos, para inferir sobre a melhor idade para seleção.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na base experimental da Embrapa Amazônia Oriental localizada no município de Tomé-Açu, no Nordeste paraense, aproximadamente, entre as latitudes de 01°57'38'' e 03°16'37'' S e as longitudes de 47°53'32''W e 48°49'15''W. Os dados meteorológicos climáticos indicam clima quente e úmido, ajustando-se ao tipo climático AmI, da classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica é caracterizada por dois períodos distintos de chuvas, dezembro a maio, com índices superiores a 150 mm por mês, quando se concentram cerca de 80% do total anual de precipitação; e de junho a novembro, com índice variando de 49 a 105 mm por mês.

The experiments were established in March 2005 in a randomized block design. The treatments consisted of a total of 30 progenies, with five plants per plot and three replications, totaling 450 plants, in a  $6 \times 4$  m spacing, in addition to an external border to the experiment under irrigation. The treatments were conducted on freely pollinated progenies that originated from selected plants in the municipalities of Anajás, the Northern region of Marajó Island. This region is characterized by the production of fruits in the period considered as the off-season, that is, in the first semester.

In the phenotypic selection of trees under natural conditions, the selection criteria were the number of clusters per plant, cluster size, the presence of tillers, and the phytosanitary status of the plants.

In evaluating the progenies for the characters considered, the agricultural years (harvest plus off-season) from August 2008 to December 2012 were considered, with the ages of the plants as shown in Table 1.

Os experimentos foram estabelecidos em março de 2005 no delineamento em blocos aleatorizados. Os tratamentos foram compostos por um total de 30 progênies, com cinco plantas por parcela e três repetições, totalizando 450 plantas, no espaçamento de  $6 \times 4$  m, além de uma bordadura externa ao experimento sob irrigação. Os tratamentos foram representados por progênies de polinização livre, originadas de plantas selecionadas nos municípios de Anajás, região Norte da Ilha de Marajó. Essa região apresenta como principal característica a produção de frutos em período considerado como entressafra, ou seja, no primeiro semestre.

Na seleção fenotípica das árvores em condições naturais, utilizou-se como critérios de seleção o número de cachos por planta, tamanho do cacho, presença de perfilhos e estado fitossanitário das plantas.

Na avaliação das progênies para os caracteres considerados, foram considerados os anos agrícolas (safra mais entressafra), de agosto de 2008 a dezembro de 2012, com as idades das plantas obedecendo ao apresentado na Tabela 1.

**Table 1** - Definition of the age of açai trees within the agricultural years (harvests and off-season) of half-sib families in açai tree

**Tabela 1** - Definição da idade das plantas de açazeiro dentro dos anos agrícolas (safra e entressafra) em famílias de meios-irmãos em açazeiro

Agricultural years	Off-season/harvest	Age of plants
1st year	1st off-season	3 years and 6 months to 4 years and 4 months
	1st harvest	4 years and 5 months to 4 years and 10 months
2nd year	2nd off-season	4 years and 11 months to 5 years 4 months
	2nd harvest	5 years and 5 months to 5 years and 10 months
3rd year	3rd off-season	5 years and 11 months to 6 years and 4 months
	3rd harvest	6 years and 5 months to 6 years and 10 months
4th year	4th off-season	6 years and 11 months to 7 years and 4 months
	4th harvest	7 years and 5 months to 7 years and 10 months

The evaluated characters were total fruit yield (TFY), obtained by the total weight of all fruits present in the progeny clusters, in  $\text{kg ha}^{-1}$ ; average cluster weight (ACW), obtained by the average weight among all cluster obtained in the progeny, in kg; empty cluster weight (ECW), obtained by weighing the cluster after fruit removal, in kg; average rachis size (ARS), obtained by the average rachis length of all clusters of the progeny, in cm; weight of 100 fruits (W100F), obtained by the weight of 100 fruits sampled in the progeny clusters, in g e; number of bunches (NB), obtained by counting the number of bunches present in the progeny.

Os caracteres avaliados foram produtividade total de frutos (PTF), obtido pelo peso total de todos os frutos presentes nos cachos da progênie, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ; peso médio do cacho (PMC), obtido pelo peso médio entre todos os cachos obtidos na progênie, em kg; peso cacho vazio (PCV), obtido pela pesagem dos cachos após a retirada dos frutos, em kg; tamanho médio da ráquis (TMR), obtido pela média do comprimento de ráquis de todos os cachos da progênie, em cm; peso de 100 frutos (P100F), obtido pelo peso de 100 frutos amostrados nos cachos da progênie, em g e; número de cachos (NC), obtido pela contagem de números de cachos presentes na progênie.

The estimates of variance components and genetic parameters were obtained by the methodology of mixed linear models (maximum restricted likelihood/best linear unbiased prediction), using the Selegen genetic-statistical software – REML/BLUP, considering the progenies as half-sibs, of one location and one population, following the procedure proposed by Resende (2016):

$$y = Xb + Za + Wc + e$$

where:

y, b, a, c, and e are vectors of data, from block effects (fixed), genetic additives (random), plots (random effects of common environment of plots), and random errors, respectively; X, Z, and W are incidence matrices for the effects of b, a, and c, respectively.

Associated with this model, the following distributions and structures of means and variances occur:

$$y|b, V \sim N(Xb, V)$$

$$a|A, \sigma_a^2 \sim N(0, A \sigma_a^2)$$

$$c|\sigma_c^2 \sim N(0, I \sigma_c^2)$$

$$e|\sigma_e^2 \sim N(0, I \sigma_e^2)$$

where: I is an appropriate order identity matrix and  $V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + R$ ;

$R = I \sigma_e^2$  is the matrix of additive genetic kinship between the individuals being evaluated.

The covariance between all random effects in the model is considered null.

As follows:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & CW & R \\ GZ' & G & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

where:

$$G = A \sigma_a^2$$

$$C = I \sigma_c^2$$

$$R = I \sigma_e^2$$

$$V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + I \sigma_e^2 = ZGZ' + WCW' + R$$

Mixed model equations:

$$\begin{bmatrix} b \\ \hat{a} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}$$

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pela metodologia de modelos lineares mistos (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viesada), empregando-se o software genético-estatístico Selegen – REML/BLUP, considerando as progênies como sendo de meios-irmãos, um só local e uma única população, seguindo o procedimento proposto por Resende (2016):

em que:

y, b, a, c, e são vetores de dados, dos efeitos de bloco (fixos), genéticos aditivos (aleatório), de parcelas (efeitos aleatórios de ambiente comum das parcelas) e de erros aleatórios, respectivamente; X, Z e W são matrizes de incidência para os efeitos de b, a, c, respectivamente.

Associados a esse modelo, tem-se as seguintes distribuições e estruturas de médias e variâncias:

em que: I é uma matriz identidade de ordem apropriada e  $V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + R$ ;

$R = I \sigma_e^2$  é a matriz de parentesco genético aditivo entre os indivíduos em avaliação.

As covariâncias entre todos os efeitos aleatórios do modelo são consideradas nulas.

Assim:

em que:

$$G = A \sigma_a^2$$

$$C = I \sigma_c^2$$

$$R = I \sigma_e^2$$

$$V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + I \sigma_e^2 = ZGZ' + WCW' + R$$

Equações de modelo misto:

on what:

$$\lambda_1 = \frac{1-h^2-c^2}{h^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2};$$

$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2}$ : individual heritability in the narrow sense.

$c^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2)$ : correlation due to the common environment of the plot.

$\sigma_a^2$ : additive genetic variance.

$\sigma_c^2$ : variance between plots.

$\sigma_e^2$ : residual variance (environmental within plots + non-additive).

$A$ : matrix of additive genetic correlation between individuals under evaluation.

The estimates of the genetic parameters were obtained by the REML procedure, starting from iterations in the mixed model equations.

## RESULTS AND DISCUSSION

The behavior of the estimates of the genetic parameters for the total fruit yield character (TFY) over the years of evaluation is shown in Table 2. In general, the estimates showed a decreasing trend with the age of evaluation of the plants. Individual heritability in the strict sense ranged from 0.2692 (first evaluation) to 0.0083 (fourth evaluation), and in the first assessment the value obtained was similar to that reported by Yokomizo *et al.* (2016) and lower than those obtained by Farias Neto *et al.* (2012) in productivity components, both in experiments with açai. As expected, the heritability coefficients at the level of family means showed higher values, ranging from medium magnitude (0.4013) in the first year to low (0.0239) in the fourth year of evaluation, according to the classification of Resende (2002). However, these values were lower than those reported by Yokomizo *et al.* (2016), and also in relation to the accuracy values, which were decreasing in our study, ranging from 0.6334 to 0.1546, respectively.

The presence of genetic variability can be confirmed and quantified by the coefficient of genetic variation, which expresses the magnitude of genetic variation in relation to the character average. The individual genetic variation coefficient showed values varying from 29.888 in the first evaluation to 4.1719 in the fourth evaluation. In general terms, these results indicate that there is wide genetic variability between progenies in the first agricultural year, which allows for the genetic selection of superior plants, similar to that mentioned by Galate *et al.* (2014), Yokomizo *et al.* (2016), and Yokomizo *et al.* (2017) in açai trees, but that tended to decrease from the 2nd to the 4th agricultural year.

em que:

$$\lambda_2 = \frac{1-h^2-c^2}{c^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2}$$

$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2}$ : herdabilidade individual no sentido restrito.

$c^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2)$ : correlação devida ao ambiente comum da parcela.

$\sigma_a^2$ : variância genética aditiva.

$\sigma_c^2$ : variância entre parcelas.

$\sigma_e^2$ : variância residual (ambiental dentro de parcelas + não aditiva).

$A$ : matriz de correlação genética aditiva entre os indivíduos em avaliação.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas pelo procedimento REML, partindo de iterações nas equações de modelo misto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das estimativas dos parâmetros genéticos para o caráter produtividade total de frutos (PTF) ao longo dos anos de avaliação é apresentado na Tabela 2. De modo geral, as estimativas apresentaram tendência de diminuição com a idade de avaliação das plantas. A herdabilidade individual no sentido restrito variou de 0,2692 (primeira avaliação) a 0,0083 (quarta avaliação), sendo que na primeira avaliação o valor obtido foi semelhante aos citados por Yokomizo *et al.* (2016) e inferiores aos obtidos por Farias Neto *et al.* (2012) em componentes da produtividade, ambos em experimentos com açazeiros. Como esperado, os coeficientes de herdabilidade em nível de médias de famílias apresentaram valores mais elevados, variando de média magnitude (0,4013) no primeiro ano a baixa (0,0239) no quarto ano de avaliação, conforme classificação de Resende (2002). Contudo, esses valores foram inferiores ao citado por Yokomizo *et al.* (2016), e também em relação aos valores de acurácia, que aqui foram decrescentes, oscilando de 0,6334 a 0,1546, respectivamente.

A presença de variabilidade genética pode ser confirmada e quantificada pelo coeficiente de variação genética, que expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter. O coeficiente de variação genética individual exibiu valores variando de 29,888 na primeira avaliação a 4,1719 na quarta avaliação. Em termos gerais, esses resultados indicam que existe ampla variabilidade genética entre progênies no primeiro ano agrícola, que permite a seleção genética de plantas superiores, semelhante ao citado por Galate *et al.* (2014), Yokomizo *et al.* (2016) e Yokomizo *et al.* (2017) em açazeiros, mas que tendeu a decrescer do 2º ao 4º ano agrícola.

**Table 2** - Estimated genetic parameters, in four agricultural years, for the fruit yield character in half-sib families in açai tree**Tabela 2** - Parâmetros genéticos estimados, em quatro anos agrícolas, para o caráter produtividade de frutos em famílias de meios-irmãos em açazeiro

Parameters	Agricultural years			
	1st year	2nd year	3rd year	4th year
Individual inheritance in the strict sense	0.2692	0.1085	0.0828	0.0083
Heritability of the progeny average	0.4013	0.2094	0.2356	0.0239
Accuracy in progeny selection	0.6334	0.4576	0.4845	0.1546
Individual genetic variation coefficient (%)	29.6880	14.4537	12.1364	4.1719
Coefficient of genetic variation between progenies (%)	14.8404	7.2268	6.0682	2.0859
Residual coefficient of variation (%)	31.3985	24.3192	18.9278	23.0871
Selection gains (%)	41.00	11.62	9.90	0.82
<b>Average (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>10.822</b>	<b>25.324</b>	<b>26.610</b>	<b>25.884</b>

This fact is consistent with the estimates of genetic variances and the heritability coefficient for these ages, suggesting a clear tendency for a decrease in genetic gain over the ages evaluated, since the development of the açai tree tends to reach a limit level over the years (YOKOMIZO *et al.*, 2010), associated with increased pollination among related individuals of plants of the genus *Euterpe* established in the experimental areas (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

The coefficient of experimental variation ranged from 18.9278 to 31.3985, being consistent with the quantitative and polygenic nature of the character, with great environmental influence. Moderate to high values of  $CV_e$  have been verified in studies with peach palm (FARIAS NETO, 1999) and açai (FARIAS NETO *et al.*, 2008; FARIAS NETO *et al.*, 2012; YOKOMIZO *et al.*, 2012; YOKOMIZO *et al.*, 2016).

The values of the selection gains for each agricultural year (Table 2) clearly show that the selection made in the first year (41%) has a great advantage in relation to the other agricultural years. Indicating that an early selection is efficient and can be used in the genetic improvement of açai.

Tal fato é coerente com as estimativas de variâncias genéticas e de coeficiente de herdabilidade para essas idades, sugerindo nítida tendência para decréscimo do ganho genético com o passar das idades de avaliação, pois o desenvolvimento do açazeiro tende a atingir um patamar limite com o passar dos anos (YOKOMIZO *et al.*, 2010), associado ao aumento de polinização entre indivíduos aparentados de plantas do gênero *Euterpe* instalados em áreas experimentais (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

O coeficiente de variação experimental variou de 18,9278 a 31,3985, sendo coerente com a natureza quantitativa e poligênica do caráter, com grande influência ambiental. Valores de moderados a altos de  $CV_e$  têm sido verificados em estudos com pupunheira (FARIAS NETO, 1999) e açai (FARIAS NETO *et al.*, 2008; FARIAS NETO *et al.*, 2012; YOKOMIZO *et al.*, 2012; YOKOMIZO *et al.*, 2016).

Os valores dos ganhos de seleção para cada ano agrícola (Tabela 2) permite visualizar claramente que a seleção realizada no primeiro ano (41%) acarreta grande vantagem em relação aos demais anos agrícolas. Indicando que uma seleção precoce é eficiente e pode ser empregada no melhoramento genético do açazeiro.

Table 3 shows the summary of data on average productivity, coefficient of variation, and percentage of distribution of fruit yield in the evaluated harvests and off-season. There is an evolution in fruit yield over the ages, as anticipated. The increased productivity with increasing age of evaluation may also be due to the greater availability of nutrients, since after the first evaluation the recommendation for fertilization (formulated 10-28-20) was increased from 1200 to 2500 kg, showing that the crop also responds to the increase in fertilizers, thus, indicating the need for further studies in the area of fertility, as there is no research on fertilization in plants during the fruiting stage.

Despite production extending throughout the year, significant variations in fruit yield were seen between the months, with lower fruit yields in April and May, the first semester, and September and October, in the second semester. Considering the higher values of fruit yield per clump observed in the variation intervals, it is possible to obtain genetic gains via selection.

In the first three agricultural years, productivity in the off-season is lower than that in the harvest (Table 3), which is in contrast to the origin of the genetic material. However, gradually, values increase in the off-season, reaching the highest production in the 4th agricultural year in the period considered as the off-season for the region. This is the interesting aspect for genetic improvement that aims to obtain genetic materials that can reduce the seasonality of açai fruit yield and thereby generate greater security for the actors involved in this production chain and minimize the unfavorable economic effects (NOGUEIRA *et al.*, 2013; NOGUEIRA; SANTANA, 2016) due to fluctuations in supply and demand in the harvest and off-season periods, by achieving, the extension of the açai fruit harvest period (Coutinho *et al.*, 2017).

Na Tabela 3, encontra-se o resumo dos dados relativos à produtividade média, intervalo de variação e percentagem de distribuição da produtividade de frutos nas safras e entressafras avaliadas. Verifica-se evolução na produtividade de frutos com o decorrer das idades, fato já esperado. Destaque para aumento da produtividade com o aumento da idade de avaliação, isso pode ser decorrente também da maior disponibilidade de nutrientes, uma vez que após a primeira avaliação foi elevada a recomendação de adubação (formulado 10-28-20) de 1200 para 2500 kg, evidenciando que a cultura também responde ao aumento de fertilizantes e, desta forma, indicando a necessidade do desenvolvimento de novos estudos na área de fertilidade, pois inexistem pesquisas de adubação em plantas na fase de frutificação.

Apesar da produção se estender durante todo o ano, variações significativas na produtividade de frutos foram verificadas entre os meses, com menores produções de frutos em abril e maio, primeiro semestre, setembro e outubro, no segundo semestre. Considerando os valores superiores da produtividade de frutos por touceira observados nos intervalos de variação, percebe-se a possibilidade de obter ganhos genéticos via seleção.

Nos três primeiros anos agrícolas, na entressafra, a produtividade é menor que a da safra (Tabela 3), o que contraria a origem do material genético, contudo, gradativamente, é observado um aumento nos valores da entressafra, atingindo no 4º ano agrícola a maior produção no período considerado como entressafra para a região. Esse é o aspecto interessante para o melhoramento genético que visa obter materiais genéticos que possam diminuir a sazonalidade de produtividade de frutos de açai e com isso gerar maior segurança aos atores envolvidos nesta cadeia produtiva e minimizar os efeitos econômicos desfavoráveis (NOGUEIRA *et al.*, 2013; NOGUEIRA; SANTANA, 2016) devido às oscilações na oferta e demanda nos períodos de safra e entressafra, conseguindo, ampliar o período da safra dos frutos de açai (Coutinho *et al.*, 2017).

**Table 3** - Productivity, range of variation, and percentage of distribution of fruit yield in the period of entry and harvest, of irrigated açai progenies, according to age

**Tabela 3** - Produtividade, intervalo de variação e percentagem da distribuição da produtividade de frutos no período de entressafra e safra, de progênies de açazeiro irrigado, segundo a idade

Years*	Productivity in population kg ha <sup>-1</sup>	Fruit variation by clump	Productivity	
			Off-season	Harvest
			kg ha <sup>-1</sup>	
1st year	4424	3.1 – 34.3	919 (21%)	3505 (79%)
2nd year	11198	5.0 – 64.9	2819 (25%)	8379 (75%)
3rd year	11815	5.6 – 65.4	5014 (42%)	6801 (58%)
4th year	11263	3.6 – 77.0	5921 (53%)	5342 (47%)

\* Agricultural years.

\* Anos agrícolas.

Table 4 shows the estimates of genetic correlations between the character total fruit yield (TFY) and several other characters in the different agricultural years of evaluation. Higher value in the different agricultural years were observed between the characters TFY and NB, followed by TFY and ACW, showing that NB is a major determinant of TFY, and that it is possible to carry out indirect selection.

Similar positive correlations between bunch number and total bunch weight and average bunch weight and total bunch weight were found by Lopez *et al.* (2012), in oil palm hybrids, and by Farias Neto *et al.* (2013), in peach palm. Estimates between TFY and ECW, and ARS and W100F showed positive and negative values of small magnitude, suggesting independence of the characters. It is important to highlight the low magnitude correlation estimated between TFY and W100F, meaning that the selection for TFY will not imply a greater weight of W100F, given that preference should be given to plants with smaller fruit size as they present higher pulp yield, as observed by Cruz Júnior (2016) in studies of correlations between fruit dimensions and weight of one hundred seeds with pulp extraction values.

Na Tabela 4, encontram-se as estimativas de correlações genéticas entre o caráter produtividade total de frutos (PTF) e diversos outros caracteres nos diferentes anos agrícolas de avaliação. Valores superiores nos diferentes anos agrícolas foram observados entre os caracteres PTF e NC, seguidos de PTF e PMC, mostrando que principalmente NC é determinante do PTF, e que é possível realizar seleção indireta.

Correlações positivas semelhantes entre número de cacho e peso total do cacho e peso médio do cacho e peso total do cacho foram encontradas por Lopez *et al.* (2012), em híbridos de dendezeiro, e por Farias Neto *et al.* (2013), em pupunheira. Estimativas entre PTF e PMV, TMR e P100F apresentaram valores positivos e negativos de pequena magnitude, sugerindo independência dos caracteres. Importante ressaltar a correlação de baixa magnitude estimada entre PTF e P100F, significando que a seleção para PTF não implicará em maior P100F, haja vista que se deve dar preferência às plantas com menor tamanho de frutos por apresentarem maior rendimento de polpa, conforme observou Cruz Júnior (2016) em estudos de correlações entre dimensões de frutos, peso de cem sementes com valores de extração de polpa.

**Table 4** - Estimates of genetic correlations between the total fruit yield character (TFY), average cluster weight (ACW), empty cluster weight (ECW), average rachis size (ARS) weight of 100 fruits (W100F), and number of bunches (NB) obtained in the 4 agricultural years in half-sib progenies from açai tree

**Tabela 4** - Estimativas de correlações genéticas entre o caráter produtividade total de frutos (PTF), peso médio do cacho (PMC), peso cacho vazio (PCV), tamanho médio da ráquis (TMR) peso de 100 frutos (P100F) e número de cachos (NC) obtidas nos 4 anos agrícolas em progênies de meios-irmãos de açazeiro

Character/Agricultural years	ACW	ECW	ARS	W100F	NB
TFY / 1st year	0.5944	0.4310	-0.0546	0.1043	0.9558
TFY / 2nd year	0.7200	0.2777	0.1919	0.2742	0.8079
TFY / 3rd year	0.6858	0.3951	0.2723	0.0659	0.8235
TFY / 4th year	0.9902	0.0144	0.1898	0.2590	0.9059

The estimated genetic correlation coefficients in relation to the age of evaluation for the fruit productivity character are shown in Table 5. The results showed a clear trend towards a decrease in the coefficient with an increase in the difference between the associated ages. For the genetic correlations between harvests/ages, a strong association was detected between the first and the second evaluation (interaction between progenies and harvest with low-magnitude), decreasing values between the first and the third (interaction between progenies and harvest with high-magnitude), and, most importantly between the first and fourth assessment. This demonstrates that early ages may not be good predictors of performance at older ages. In fact, Farias Neto *et al.* (2011), evaluating three harvests from açai trees, demonstrated that the coefficient of determination of the permanent effects was of medium magnitude, revealing that the environmental variation from one year to another is important.

Table 6 shows the average productivity observed when the clump is made up of a single plant (mother plant) and when in addition to the mother plant it presents one, two, and three tillers.

Os coeficientes de correlação genética estimados entre idade de avaliação para o caráter produtividade de frutos são apresentados na Tabela 5. Os resultados mostraram uma clara tendência para a diminuição do coeficiente com o aumento da distância entre as idades associadas. Para as correlações genéticas entre safras/idades detectou-se forte associação entre a primeira e segunda avaliação (interação entre progênes e safras de baixa magnitude), valores decrescentes entre a primeira e a terceira (interação entre progênes e safras de alta magnitude) e, principalmente, entre a primeira e quarta avaliação. Isso demonstra que idades precoces podem não ser bons preditores do desempenho em idades avançadas. De fato, Farias Neto *et al.* (2011), avaliando três safras de açazeiro, demonstraram que o coeficiente de determinação dos efeitos permanentes foi de média magnitude, revelando que a variação ambiental de um ano para outro é importante.

Na Tabela 6 encontram-se as produtividades médias observadas quando a touceira é constituída de uma única planta (planta mãe) e quando apresenta além da planta mãe um, dois e três perfilhos.

**Table 5** - Estimates of genetic correlations involving four agricultural years for the total fruit yield character in half-sib progenies in açai

**Tabela 5** - Estimativas de correlações genéticas envolvendo quatro anos agrícolas para o caráter produtividade total de frutos em progênes de meios-irmãos em açazeiro

Character / Agricultural years	1st agricultural year	2nd agricultural year	3rd agricultural year	4th agricultural year
TFY / 1st year	1.0	0.79 (26%)	0.54 (86%)	0.25
TFY / 2nd year		1.0	0.68 (47%)	0.07
TFY / 3rd year			1.0	0.05
TFY /4th year				1.0

Values in parentheses: proportion of the variance of the interaction between progenies and harvests in relation to the variance between progenies.

Valores entre parênteses: proporção da variância da interação entre progênes e safras em relação à variância entre progênes.

**Table 6** - Average fruit productivity (kg ha<sup>-1</sup>) observed according to the number of tillers in four evaluations in açai tree progenies

**Tabela 6** - Produtividade média de frutos (kg ha<sup>-1</sup>) observada de acordo com o número de perfilhos em quatro avaliações em progênes de açazeiro

Number of tillers	Agricultural years			
	1st year	2nd year	3rd year	4th year
No tillering	8.686	13.038	15.675	19.785
Clump with 1 tillering	13.589	18.344	24.140	31.306
Clump with 2 tillering	17.673	19.481	24.832	31.172
Clump with 3 tillering	18.860	21.500	25.550	35.320

It is observed that from the first assessment, greater productivity is obtained when the clump is represented by the mother plant plus three tillers, followed by the mother plant plus two tillers, and the mother plant plus one tiller, suggesting that the early emission of a tiller is important in increasing productivity and therefore should receive greater attention in breeding programs.

The emission of tillers in açai trees has been identified as an important character in increasing fruit yield, even allowing the continuous exploitation of clumps (OHASHI; KAGEYAMA, 2004). A proposed alternative, based on the results of Table 6, at the beginning of cultivation, when the mother plant has no tillers, it is still necessary to plant two seedlings per hole, generating in the first harvest the presence of at least two adult stipes with the possibility of fruit production. The number of tillers and plant height were negatively associated (FARIAS NETO *et al.*, 2012), a fact that shows a competitive relationship within the clump, that is, more tillering plants have less development of the mother plant, since these compete with the distribution of assimilates within the clump. Lower height of the mother plant is an important characteristic to be sought in açai genetic improvement programs, since it facilitates the harvesting of the fruits, the most expensive stage of the crop production system.

It is important to note the coincidence of the trends observed for the results of the evolution of the coefficients of genetic variation and the coefficients of genetic correlation with the ages of evaluations. Given the above, a reasonable selection proposal would involve selection in several stages taking advantage of the particularities presented by the experiment and, also, by the species *Euterpe oleracea* whose main characteristic is the formation of a group of stipes called a clump (FARIAS NETO *et al.*, 2007). In Table 6, the results demonstrate that the plants must have at least one tillering, therefore those that do not have tillers must be eliminated at the beginning of the cultivation, and management to keep three tillers generated the highest productivity, enhancing the production of fruits.

Observa-se que desde a primeira avaliação, maiores produtividade são obtidas quando a touceira é representada pela planta mãe mais três, seguido de planta mãe mais dois e planta mãe mais um perfilho, sugerindo que a característica de emissão precoce de perfilhos é importante no aumento da produtividade e por isso deve ter maior atenção nos programas de melhoramento.

A emissão de perfilhos em açazeiro tem sido apontada como importante caráter no aumento da produtividade de frutos, permitindo inclusive a exploração contínua das touceiras (OHASHI; KAGEYAMA, 2004), uma alternativa proposta, baseada nos resultados da Tabela 6, no início do cultivo, quando a planta mãe não possui perfilhos, ainda é realizar o plantio de duas mudas por cova, gerando na primeira safra a presença de pelo menos duas estipes adultas com possibilidade de produção de frutos. Já número de perfilhos e altura da planta mostraram-se negativamente associados (FARIAS NETO *et al.*, 2012), fato que evidencia uma relação de competição dentro da touceira, ou seja, plantas mais perfilhadas possuem menor desenvolvimento da planta mãe, uma vez que estes, concorrem com a distribuição de assimilados dentro da touceira. Menor altura da planta mãe é uma importante característica a ser buscada em programas de melhoramento genético do açai, haja vista que facilita a colheita dos frutos, etapa mais onerosa do sistema de produção da cultura.

É importante registrar a coincidência das tendências verificadas para resultados de evolução dos coeficientes de variação genética e dos coeficientes de correlação genética com as idades de avaliações. Diante do exposto, uma proposta razoável de seleção envolveria a seleção em diversos estágios aproveitando as particularidades apresentadas pelo experimento e, também, pela espécie *Euterpe oleracea* que tem como principal característica a formação de agrupamento de estipes denominado de touceira (FARIAS NETO *et al.*, 2007). Na Tabela 6, os resultados demonstram que as plantas devem ter no mínimo um perfilhamento, portanto aquelas que não possuem perfilhos devem ser eliminadas no início do cultivo, e o manejo mantendo-se três perfilhos gerou a maior produtividade, potencializando-se a produção de frutos.

Table 7 shows the results of the analysis of repeated measures for the first three harvests. The selection of progenies based on the joint analysis of the first three agricultural years indicates an accuracy of 62% for the TFY character and that four agricultural years of evaluation are necessary to obtain a coefficient of determination of the genotypic value equal to 80%. All other characters had moderate magnitude repeatability estimates. It will be necessary to carry out evaluations in four agricultural years for ACW and ARS and three for ECW, to obtain coefficients for determining the genotypic value equal to 80%.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados da análise de medidas repetidas para as três primeiras safras. A seleção de progênies com base na análise conjunta dos três primeiros anos agrícolas indica uma acurácia de 62% para o caráter PTF e que são necessários quatro anos agrícolas de avaliação para se obter coeficiente de determinação do valor genotípico igual a 80%. Todos os demais caracteres apresentaram estimativas de repetibilidade de moderada magnitude. Será necessária a realização de avaliações em quatro anos agrícolas para PMC e TMR e três para PCV, para se obter coeficientes de determinação do valor genotípico igual a 80%.

**Table 7** - Estimates of genetic parameters in the analysis of repeated measures for the first three agricultural years in the characters total fruit yield (TFY) and average cluster weight (ACW), empty cluster weight (ECW), and average rachis size (ARS) in half-sibs families in açai trees

*Tabela 7* - Estimativas de parâmetros genéticos na análise de medidas repetidas para os três primeiros anos agrícolas nos caracteres produtividade total de frutos (PTF) e peso médio do cacho (PMC), peso cacho vazio (PCV), tamanho médio da ráquis (TMR) em famílias de meios-irmãos em açazeiro

Parameters	TFY	ACW	ECW	ARS
Individual inheritance in the strict sense	0.14	0.11	0.11	0.10
Heritability of the progeny average	0.38	0.32	0.26	0.29
Accuracy in progeny selection	0.62	0.57	0.51	0.54
Individual Repeatability	0.48	0.51	0.62	0.48
Number of agricultural years for 80% determination	4	4	3	4

## CONCLUSIONS

The magnitudes of the estimates of heritability and genetic variation decrease with age;

The correlations between the characters that compose the fruit yield reveal that the number of bunches is the most important component of production;

For the fruit yield character, the interaction between progenies and harvests is of low magnitude between the first and second harvests, of medium magnitude between the second and third harvests, and of high magnitude between the other harvest combinations, indicating that selection at an early age is more efficient;

The early emission of tillers is an important characteristic to be pursued in açai breeding programs, ensuring greater fruit yield in adult plants;

Higher fruit productivity in the off-season is possible from the fourth agricultural year.

## CONCLUSÕES

As magnitudes das estimativas da herdabilidade e variação genética diminuem com a idade;

Pelas correlações entre os caracteres componentes da produtividade de frutos, o número de cachos é o mais importante componente da produção;

Para o caráter produtividade de frutos, a interação entre progênies e safras é de baixa magnitude entre a primeira e segunda safra, de média magnitude entre a segunda e a terceira e de alta magnitude entre as demais combinações de safras, indicando que seleções em idades precoces são mais eficientes;

A emissão precoce de perfilhos é uma característica importante a ser buscada em programas de melhoramento do açai, garantindo maior produtividade de frutos em plantas adultas;

Produtividade de frutos maior no período da entressafra é possível a partir do quarto ano agrícola.

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AZÊVEDO, H. S. F. S.; AZEVEDO, J. M. A.; SILVA, L. M.; MARTINS, K.; CAMPOS, T. **Uso da biologia molecular para estudos genéticos em açazeiros na Amazônia brasileira**. In: MENEGUETTI, D. U. O.; CARVALHO, C. M.; ZAN, R. A.; SILVA, R. P. M. (Org.). *Ciência, inovação e tecnologia na Amazônia*. Rio Branco, AC: Stricto Sensu, 2019. p.120-135.
- COUTINHO, R. V. **A exploração do açai como alternativa para o desenvolvimento econômico da Amazônia Legal: estudo de caso do estado do Pará (1990-2010)**. 2017. 86f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional da Amazônia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista.
- CRUZ JÚNIOR, F. **O Caracterização morfológica e da produção de frutos de populações de açazeiros estabelecidas em Mazagão - Amapá**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- FARIAS NETO, J. T.; CLEMENT, R. R.; RESENDE, M. D. V. Estimativas de parâmetros genéticos e ganho de seleção para produção de frutos em progênies de polinização aberta de pupunheira no Estado do Pará. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 122-126, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052013000200002>
- FARIAS NETO, J. T. Estimativas de parâmetros genéticos em progênies de meios-irmãos de pupunheira. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 39, p. 109-117, 1999.
- FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. S. P.; RESENDE, M. D. V.; Rodrigues, J. C. Parâmetros genéticos e ganho com a seleção de progênies de *Euterpe oleracea* na fase juvenil. **Cernea**, v. 18, n. 3, p. 515-521, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300020>
- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P.; SANTOS, N. S. A.; NOGUEIRA, O. L.; MULLER, A. A. Avaliação genética de progênies de polinização aberta de açai (*Euterpe oleracea*) e estimativas de parâmetros genéticos. **Revista Cernea**, v. 13, p. 376-383, 2007.
- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P. Seleção simultânea em progênies de açazeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 532-539, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000200025>
- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P.; NOGUEIRA, O. L.; FALCÃO, P. N. B.; SANTOS, N. S. A. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 1051-1056, 2008.
- FARIAS NETO, J. T.; YOKOMIZO, G. K. I.; OLIVEIRA, M. S. P.; HONGYU, K. GGE Biplot para estabilidade e adaptabilidade em progênies de açazeiro de Anajás, PA. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 1, p. 409-417, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i1.4220>
- GALATE, R.; MOTA, M.; GAIA, J.; COSTA, M. Distância fenotípica entre matrizes de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) procedentes do nordeste do Pará. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 1667-1681, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p1667>.
- IBGE **Produção Agrícola Municipal – PAM, 2018**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 13 abr. 2020
- LOPES, R.; CUNHA, R. N. V.; RESENDE, M. D. V. Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1496-1503, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000012>
- NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açai no Estado do Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010001>
- NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, S. C.; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açai fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 324-331, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300004>.
- OHASHI, S. T.; KAGEYAMA, P. Y. **Variabilidade genética entre populações de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) do estuário amazônico**. In: Mourão, L.; Jardim, M A.; Grossmann, M. Açai - possibilidade e limites em processos de desenvolvimento sustentável no estuário amazônico. Belém: CEJUP, 2004. P. 11-26.
- OLIVEIRA, W. B. S.; FERREIRA, A.; GUILHEN, J. H. S.; MARÇAL, T. S.; FERREIRA, M. F. S.; SENRA, J. F. B. Análise de trilha e diversidade genética de *Euterpe edulis* Martius para caracteres vegetativos e de frutos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 303-311, 2015.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML / BLUP: uma ferramenta útil para o melhoramento de plantas. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>

SILVA DIAS, T. S.; SOUZA, E. B.; JARDIM, M. A. G.; SOUZA, P. J. O. P.; ROCHA, E. J. P.; PINHEIRO, A. N.; FRANCO, V. S.; SANTOS, R. C. Estimativa climática sazonal da produtividade de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) no estado do Pará - cenários futuros. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 517-533, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p517-533>

TAVARES, G. S.; HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A.; PALHETA, M. P. Análise da produção e comercialização de açaí no estado do Pará, Brasil. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 4, p. 35215-35221, 2020.

TOZATO, H. C.; MELLO-THÉRY, N. A.; DUBREUIL, V. Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade brasileira e o desafio em estabelecer uma gestão integrada para a adaptação e mitigação. **Revista Gestão & Políticas Públicas**, v. 5, n. 2, p. 309-268, 2015.

YOKOMIZO, G. K. I.; GONÇALVES, M. C. A.; FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. S. P.; RESENDE, M. D. V. Morphological dissimilarity among assai palm trees progenies from Anajás - PA. **European Scientific Journal**, v. 15, n. 21, p. 171-180, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n21p171>

YOKOMIZO, G. K. I.; FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. S. P. Ganho esperado na seleção de progênies de polinização aberta de *Euterpe oleracea* para produção de frutos. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 241-248, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n109.23>

YOKOMIZO, G. K. I.; FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. S. P. Dissimilaridade. Morfológica entre progênies de açaizeiro provenientes de Anajás - PA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 4, p. 343-349, 2017.

YOKOMIZO, G. K.- I.; QUEIROZ, J. A. L.; MOCHIUTTI, S.; PINHEIRO, I. N.; SILVA, P. A. R. Desempenho de progênies de açaizeiro avaliadas para caracteres agronômicos no Estado do Amapá. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 367-376, 2010.

YOKOMIZO, G. K.; QUEIROZ, J. A. L.; CAVALCANTE, E. S.; PINHEIRO, I. N.; SILVA, P. A. R.; MOCHIUTTI, S. Caracterização fenotípica e genotípica de progênies de *Euterpe oleracea* coletadas no Afuá - Pará nas condições do Amapá. **Revista Cerne**, v. 18, n. 2, p. 205-213, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000200004>