

## Combinação entre multivariada, dendrograma e GGE Biplot para avaliação em palmeiras de açaí

### *Combination between multivariate, dendrogram and GGE Biplot for evaluation in açai palm trees*

Gilberto Ken Iti Yokomizo<sup>1\*</sup>, João Tomé de Farias Neto<sup>2</sup>, Kuang Hongyu<sup>3</sup>, Francisco de Oliveira Cruz Júnior<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amapá, Rod JK, 2600, Universidade, CEP 68.903-419, Macapá-AP, Brasil. Email: gilberto.yokomizo@embrapa.br

<sup>2</sup> Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amazônia Oriental, Tv. Dr. Eneas Pinheiro, s/n, Marco, CEP 66.095-903, Belém-PA, Brasil. Email: joao.farias@embrapa.br

<sup>3</sup> Doutor, Estatística e Experimentação, Universidade Federal do Mato Grosso, Departamento de Estatística, Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78.060-900, Cuiabá, MT, Brasil. Email: kuang\_hongyu@hotmail.com

<sup>4</sup> Mestre, Biodiversidade Tropical. IEPA (Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá), Rod JK, km 10, Fazendinha, CEP 68.903-419, Macapá-AP, Brasil. Email: junior20\_oliveira@yahoo.com.br

\* autor correspondente, email: [gilberto.yokomizo@embrapa.br](mailto:gilberto.yokomizo@embrapa.br)

#### Palavras-chave

*Euterpe oleracea*  
Melhoramento genético  
Interação genótipo x ambiente  
Análise de componentes principais

Existem pesquisas envolvendo um número alto de indivíduos em açazeiro que dificulta a interpretação dos resultados, para atender a demanda crescente gerada pelo consumo crescente da polpa do fruto mundialmente. Consequentemente este trabalho teve como objetivo identificar progênies superiores combinando a análise multivariada com o agrupamento por dendrograma e posterior análise GGE Biplot. Num experimento em delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições, cinco plantas por parcela e 114 progênies foram avaliadas para: FV - número de cachos verdes em formação por estipe; FC - número de facões ou espatas emitidas; FL - número de cachos em floração; FF - número de cachos com formação de frutos verdes; FM - número de cachos com frutos maduros; TM - nota do tamanho dos cachos. As conclusões são de que o uso das análises em associação são importantes, complementares, necessárias e eficientes neste número de progênies; as melhores progênies são P95, P42, P10, P48 e P99 na análise GGE Biplot e pelo dendrograma somam-se as progênies P28 e P102; a variabilidade de anos e genética garante contribuições distintas para a interação GxA; os anos em geral são mais discriminantes em relação às progênies, mas a progênie P95 apresenta desempenho diferenciado na discriminação em relação a todos os anos; a resposta do comportamento das progênies mostra resposta aos fatores ambientais, evidenciando a importância de pesquisas para determinar as exigências e respostas do açazeiro.

#### Keywords

*Euterpe oleracea*  
Genetic breeding  
Genotype x environment  
interaction  
Principal component analysis

*There are researches involving a high number of individuals in açai palm that makes it difficult to interpret the results, in order to meet the growing demand generated by the growing consumption of the fruit pulp worldwide. Consequently, this work aimed to identify superior progenies combining multivariate analysis with grouping by dendrogram and subsequent GGE Biplot analysis. In an experiment in a randomized block design with two replications, five plants per plot and 114 progenies were evaluated for: FV - green clusters number in formation per stipe; FC - machetes number or spaths issued; FL - number of flowering clusters; FF - bunches number with green fruit formation; FM - bunches number with ripe fruits; TM - bunches size note. The conclusions are that the use of analyzes in association is important, complementary, necessary and efficient in this number of progenies; the best progenies are P95, P42, P10, P48 and P99 in the GGE Biplot analysis and by the dendrogram the progenies P28 and P102 are added; the variability of years and genetics guarantees distinct contributions to the GxA interaction; the years in general are more discriminating in relation to the progenies, but the P95 progeny presents different performance in the discrimination in relation to all the years; the response of the behavior of the progenies shows a response to environmental factors, showing the importance of research to determine the requirements and responses of the açai.*

## INTRODUÇÃO

A palmeira de nome açazeiro é pertencente a família Arecaceae, tendo seu centro de origem a região amazônica, onde desempenha destacada importância econômica para a fruticultura regional, sobretudo para o Estado do Pará que com sua produção, comercialização e também o consumo de polpa atinge grande montante nos mercados (NEVES et al.,

2015), destacando que o suco de açaí é um produto que personifica este Estado e também entre outros produtos como palmito e madeira é o principal produto obtido desta palmeira (SILVESTRE et al., 2016).

O açaí tem relevante destaque na região amazônica, pois tem elevado potencial agrônomo, tecnológico, nutricional e econômico (YUYAMA et al., 2011). A exploração extrativa do açaí representa uma das atividades com maior porção na renda mensal de um grande contingente de moradores

ribeirinhos, podendo ser realizada concentrada em quatro meses do ano (Junho a Outubro, período da safra), período em que existe o maior quantitativo de frutos de açaí disponível, o que resulta na necessidade de se buscar alternativas na entressafra, mas que geralmente não conseguem suprir no mesmo nível a renda gerada pelo açaí, refletindo em muitos casos a presença de significativa população ociosa que pode acarretar prejuízos sociais na ausência do fruto (XIMENES et al., 2020).

Com a disseminação das propriedades nutracêuticas da polpa de açaí para uso em suplementação vitamínica, ação antioxidante e fonte de energia para atividades físicas, houve um crescimento da demanda em crescimento considerável pelo mercado consumidor estadunidense. Mas não apenas os EUA, consumindo mais de 70% do volume comercializado, importam do Brasil, mas também existe a Alemanha, a Bélgica e a Holanda, somando-se mais recentemente os Países Baixos, o Japão, a Austrália e diversos outros em menor escala. Mas um entrave para a consolidação das exportações, segundo a CONAB (2020) é a existência de entressafra do fruto no Pará com ocorrência no primeiro semestre do ano, concentrando-se de julho a dezembro, pois o mercado consumidor exige uma oferta permanente e um quantitativo constante entre anos.

Adicionalmente o comportamento das exportações, conforme Nogueira et al. (2013) e Nogueira e Santana (2016), é responsável pelo aumento do preço do litro de polpa de açaí para o consumidor final, observando-se sua ocorrência com maior intensidade na entressafra (janeiro a junho) podendo a quadruplicar o preço, ainda mais com a diminuição da quantidade disponibilizada para manter o equilíbrio de mercado, o que caracteriza que o mercado do açaí possui oferta inelástica a preço, isso que dizer que a quantidade ofertada tem variação proporcional menor em comparação às mudanças no preço.

Com o propósito de solucionar a necessidade de aumentar a oferta e com isso atender o consumo crescente da polpa do fruto e de seus produtos derivados, pesquisas para desenvolver técnicas de manejo e produção tem sido conduzida (COUTINHO, 2017), procurando também remediar a presença da sazonalidade da safra. O uso de irrigação controlada e adubação em áreas de terra firme representam soluções propostas por Farias Neto et al. (2011) para ampliar a safra através da condução dessas duas ações permitindo distribuir a safra abrangendo um número maior de meses do anos. Adicionalmente o manejo fora da área de várzea facilitaria o trabalho realizado pela mão de obra, contudo, a maioria da exploração do fruto do açaí é existente em áreas de várzea (GALEÃO, 2017) e explorada de forma extrativa. O Pará representa o maior produtor nacional, pois existem extensos maciços populacionais de açaizeiros, além de possuir inúmeras ilhas que também são grandes produtoras. Na região nordeste deste Estado está sendo gradativamente instaladas modificações na forma de condução para aumentar a produtividade em comparação ao sistema extrativista com baixa produção obtendo com isso índices superiores de produtividade baseado na adoção de manejo e

irrigação em terra firme (HOMMA et al., 2006; FARIAS NETO et al., 2011).

Nos cultivos irrigados em terra firme observam-se produtividades de até 15 t.ha<sup>-1</sup> de frutos de açaí, podendo aumentar ainda mais com novos desenvolvimentos tecnológicos, comparativamente melhor que o sistema extrativo com baixa produção (4,2 t.ha<sup>-1</sup>) e os sistemas bem manejados (8,4 t.ha<sup>-1</sup>), ambos em áreas de várzeas (SANTOS et al., 2012). Também nota-se que a adoção de manejo pode modificar a sazonalidade da safra, pois Sousa e Andrade (2018) citam que o açaí manejado tem menor produção no mês de janeiro, onde a safra foi colhida no período de março a agosto, e o maior volume existente em agosto, com a entressafra de setembro a outubro. Já para o açaí sem manejo a safra foi de junho a agosto, com maior colheita em julho, ou seja, então distintos sistemas de cultivo realmente podem modificar o comportamento das áreas exploradas.

Um aspecto importante para possibilitar aumentos mais substanciais de produtividade é a recomendação de cultivares melhorados, porém um aspecto comprometedor nas pesquisas de melhoramento genético no processo de seleção para fomentar o cultivo é a presença do efeito de fatores do ambiente sobre o comportamento dos materiais genéticos, causando imprevisibilidade de identificar sua expressão fenotípica final. Então, quanto maior a quantidade e a intensidade dos fatores ambientais, maior também a probabilidade de não existir singular expressão vegetativa e produtiva nas plantas. O efeito que gera os diferentes desempenhos recebe o nome de interação genótipos versus ambientes (GxA), assumindo importante papel na seleção por ser dificultador de recomendação de genótipos adaptados e estáveis (CRUZ et al., 2014). Então geralmente nos programas de melhoramento genético para evitar a identificação de materiais genéticos para cada local, que demandaria enorme trabalho, área e cuidados de condução, buscam selecionar poucos materiais que possuam ampla adaptação e estabilidade, podendo ser recomendados para uma região maior (MALOSETTI et al., 2013).

Uma metodologia recente e que permite fácil interpretação dos resultados em estudos de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos é a análise gráfica GGE biplot, proposto por Yan et al. (2000), que se baseia no efeito principal de genótipo e da interação genótipo e ambiente, também identifica a presença de ambientes assemelhados que são agrupados conforme suas homogeneidades dentre os diversos ambientes, gerando o que se denomina de mega-ambientes (YAN, 2011).

Mesmo sendo considerado fundamental ter se o conhecimento da sazonalidade da safra e a premente estruturação de populações melhoradas de açaizeiros para elevar a produtividade, de forma a atender o público consumidor nota-se que os estudos referentes ao comportamento mensal durante o ano são escassos, pesquisas estas que se referem diretamente em contornar a sazonalidade de produção, portanto o objetivo deste trabalho foi buscar a identificação de progênies superiores quanto as seis características em conjunto, numa escala mensal, promovendo o uso associado da pré-seleção de progênies

através de uma análise multivariada seguida pelo agrupamento pelo dendrograma, pois o número pesquisado de progênies impossibilita a compreensão do comportamento dos resultados oriundos dos gráficos GGE Biplot. Estas metodologias juntas devem tornar viável a interpretação gráfica do material genético da área experimental.

## MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa está associada ao programa de melhoramento genético de açazeiro para produção de frutos no estuário amazônico, onde um experimento instalado em área de várzea foi implantado no Campo Experimental de Mazagão da Embrapa Amapá. A região possui solo

predominante do tipo Gley Pouco Húmico com textura média, com drenagem por escoamento e com fertilidade natural média a alta. O local tem topografia plana e a capoeira é a cobertura vegetal existente. O tipo climático é Ami conforme a classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso, onde a temperatura média mensal mais fria (junho) é de 22,7°C a mais quente (setembro) é de 32,8°C. A precipitação mensal mais seca (outubro) é de 32 mm e a mais chuvosa (março) é de 365 mm. Quanto a pluviosidade anual a precipitação total atinge 2410 mm, com concentração entre os meses de janeiro e junho, a temperatura média anual em volta de 27°C e a umidade relativa média do ar próximo de 85% (CLIMATE-DATA.ORG, 2020). Dados mensais constam na Tabela 1.

**Tabela 1.** Precipitação total anual (PrTotal, em mm), médias das temperaturas máximas (TMax, em °C), mínima (TMin, em °C), temperatura média anual (TMed, em °C) e média da UR% do ar em Mazagão, AP, entre os anos de 2009 e 2013.

	2009	2010	2011	2012	2013
PrTotal	2069,84	1738,32	2347,12	1972,11	1980,03
TMax	32,20	32,78	32,38	32,51	32,28
TMed	28,15	28,57	27,97	28,09	27,98
TMin	24,10	24,36	23,55	23,66	23,67

Fonte: ANOCHI, J. Comunicação pessoal. INPE (2020)

As progênies plantadas na área foram coletadas de uma população originada de sementes de 114 matrizes pré-selecionadas quanto a produtividade visual em açazais nativos da região oeste da Ilha de Marajó, cuja safra predomina na época de inverno amazônico (dezembro a julho, época chuvosa). O experimento possui delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições e as parcelas englobando cinco plantas em linha com espaçamento de 4 x 5m. O Justifica-se o quantitativo de repetições devido quantidade de progênies gerando numa área total grande, difícil de ser uniforme e disponível em áreas de várzea.

Mensalmente foram efetuadas as avaliações de campo no período de 2009 a 2013, utilizando seis descritores, sendo:

FV – Formação de cacho verde, obtido pela contagem de cachos verdes em formação por estipe;

FC – Número de facões emitidos, obtido pela contagem de espátas emitidas por estipe;

FL – Formação de cachos em floração, obtido pela contagem de cachos com inflorescência em floração por estipe;

FF – Formação de frutos verdes, obtido pela contagem de cachos que apresentam formação inicial de frutos verdes por estipe;

FM – Formação de cacho maduro, obtido pela contagem de cachos maduros por estipe;

TM – Tamanho do cacho, obtido por um valor atribuído a avaliação visual dos cachos: onde 1 é atribuído aos menores valores, e 7 para os maiores.

Foram utilizadas três metodologias distintas para contornar o problema existente em análises gráficas quando há número elevado de materiais genéticos em avaliação, iniciando-se pelo uso da análise multivariada nas seis características, pois em processos de seleção deve-se compreender o desempenho para um conjunto característica simultaneamente e não individualmente.

Posteriormente foi efetuada a análise de agrupamento, usando a distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) como medida de dissimilaridade, que considera a correlação entre os caracteres avaliados, conforme cita Cruz et al. (2014). Com base na matriz de dissimilaridade gerada, foi estruturado o dendrograma pelo método de UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). A formação dos grupos teve como critério um corte em que fossem selecionadas cerca de 50% das progênies, que permite realizar pela redução do quantitativo de materiais genéticos as análises gráficas (GGE Biplot). Pois sem a redução do quantitativo de progênies a interpretação dos resultados gráficos seria totalmente inviabilizado, obtendo-se uma concentração que impediria a distinção dos materiais genéticos.

O método GGE Biplot conjectura apenas o efeito da progênie e da sua interação com os anos (YAN et al., 2000),

ou seja, exclusivamente o efeito principal de progênie e da GxA, considerados fundamentais e considerados de maneira conjunta, . O modelo GGE biplot não separa G da GxA preservando-se conjuntamente na forma de dois termos multiplicativos, conforme a seguinte equação:  $Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$  onde  $Y_{ij}$  representa o rendimento médio da i-ésima progênie no j-ésimo ano;  $\bar{y}_j$  é a média geral de todas as progênies no ano j;  $y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1}$  representa o primeiro componente principal (IPCA1);  $y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2}$  representa o segundo componente principal (IPCA2);  $y_1$  e  $y_2$  são os autovalores associados ao IPCA e IPCA2, respectivamente;  $\varepsilon_{i1}$  e  $\varepsilon_{i2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, relativas a i-ésima progênie;  $\rho_{j1}$  e  $\rho_{j2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, relativos ao j-ésimo ano;  $\varepsilon_{ij}$  é o erro do modelo associado com i-ésima progênie e j-ésimo ano (YAN; KANG, 2003).

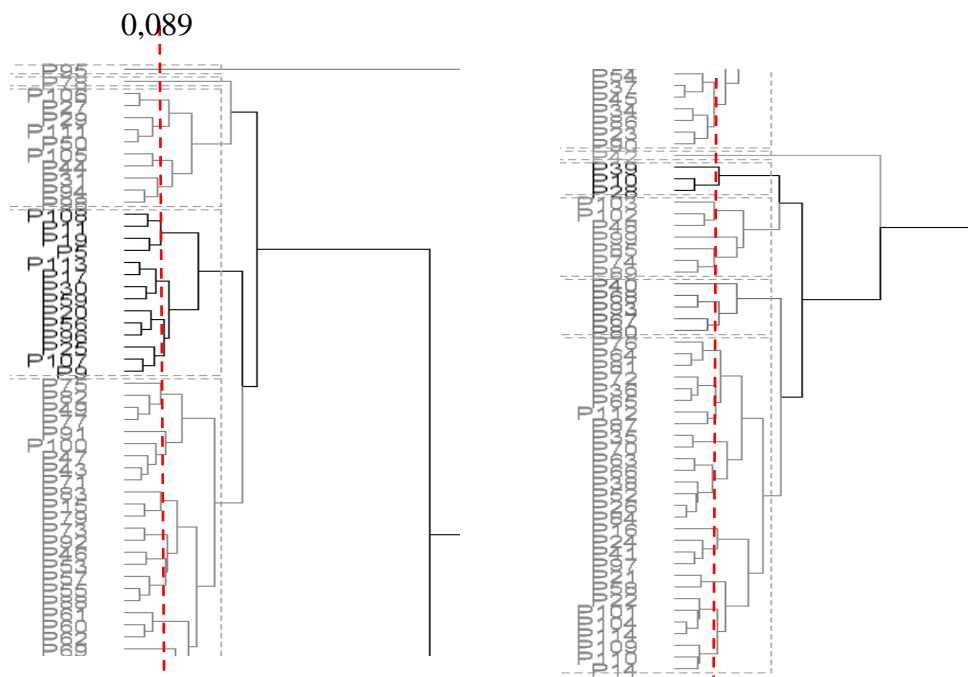
Complementarmente estimou-se a relação de informação (RI) de Yan e Tinker (2006) que permite avaliar se o biplot é adequado para exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada. A interpretação segue o padrão de que um PC (eixo da interação da análise de componentes principais) com  $IR \geq 1$  compõe-se de padrões (associações entre ambientes), e quando um PC tiver  $IR < 1$ , não se compõe de qualquer padrão ou informação. Ressaltando que um Biplot de dimensão 2 somente consegue representar os padrões das características somente quando os dois primeiros PCs têm um

$IR \geq 1$  ou próximo de 1.

Todas as análises foram realizadas no programa R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 114 progênies representam uma quantidade que gera muita dificuldade para se visualizar o comportamento individualizado dos materiais genéticos nas análises gráficas e, acarretando uma falha compreensão de estabilidade, adaptabilidade e produtividade no GGE Biplot. Houve a adoção como procedimento preliminar o agrupamento pelo dendrograma, cujos grupos são constituídos baseando-se pela observação de mudanças acentuadas de níveis (CRUZ et al., 2014), onde então cada agrupamento é composto somente por progênies homogêneas, onde cada progênie tem a capacidade de representar qualquer outra dentro do mesmo agrupamento, o que possibilita então a estruturação do GGE Biplot com um quantitativo mesmo de progênies, mas cujos resultados se referem a todo o conjunto inicial de progênies existentes no dendrograma. O limite de corte para a constituição dos grupos, usado foi de 0,089 de dissimilaridade, que foi capaz de um número de grupos para posterior seleção de 46 progênies que compuseram os dados para os cálculos da análise gráfica GGE Biplot. O método de dissimilaridade utilizado foi o UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), que utiliza como critério para a composição dos agrupamentos a média das distâncias entre todos os pares de progênies que constituem cada grupo.



**Figura 1.** Dendrograma usando o método de ligação média entre grupos (UPGMA) envolvendo 114 progênies de açaizeiro com base em seis características morfológicas.

Pelo dendrograma as progênies selecionadas para comporem o GGE Biplot foram P5, P9, P10, P11, P14, P15, P16, P17, P20, P21, P22, P23, P24, P26, P27, P29, P31, P35, P36, P37, P39, P40, P42, P43, P44, P46, P48, P49, P55, P60, P63, P64, P67, P68, P69, P73, P74, P75, P78, P83, P85, P87, P91, P95, P99 e P103 e anos compostos pela letra A seguido pelo ano.

A partir da seleção das progênies de cada agrupamento oriundos do dendrograma foi efetuada a análise GGE biplot, onde se constata na Tabela 2, um percentual acumulado da variação explicada nos dois primeiros eixos pouco superior a 70% considerando as seis características em conjunto, este valor acumulado confere confiabilidade suficiente para explicar a variação total do comportamento relativo devido os efeitos genético das progênies, somado a interação com o efeito de anos, cuja representação é  $G + G \times A$ . Com este valor acumulado tem-se que o modelo com dois eixos pode ser adotado com segurança ao se mostrar bastante em assegurar a precisão da visualização e interpretação do comportamento

das progênies de açaizeiro e também dos anos. Desta forma tem-se que os efeitos ambientais não estimáveis, que recebe a denominação de ruídos, que geram distorções na precisão dos gráficos GGE Biplots e assim inviabilizar a correta identificação das progênies superiores, podem ser desprezadas ao não representar porcentagem significativa das variações, refletindo que o modelo com dois eixos adotado é confiável. O valor acumulado nos dois eixos apesar de suficiente foi inferior aos valores citados para açaizeiro em características de produção de frutos (YOKOMIZO et al., 2017; FARIAS NETO et al., 2018) e também para outras espécies já consideradas domesticadas como as pimenteiros (ABU et al., 2011) na produção de frutos frescos; o melão no peso médio e número de frutos por planta (DEGHANI et al., 2012); nos cajueiros quanto a produtividade, número, e peso de amêndoas (ALIYU et al., 2014) e; na mandioca para produtividade de raiz (PEPRAH et al., 2016), onde os dois primeiros eixos somaram valores acima de 80%.

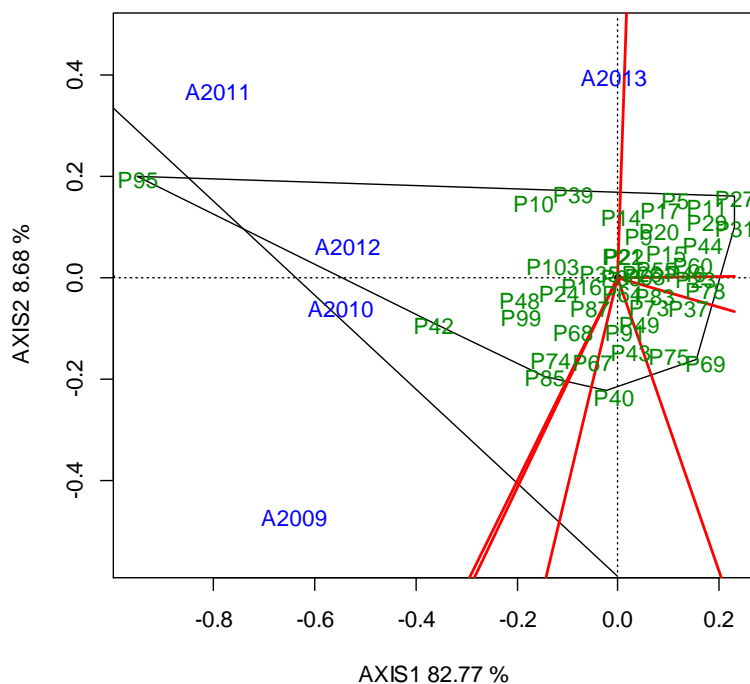
**Tabela 2.** Valor singular, proporção explicada em % (PE %), proporção explicada acumulada em % (PA %) e relação de informação (RI), considerando os cinco primeiros componentes principais (PCs), em seis características conjuntas de progênies de açaizeiros.

Parâmetros	Eixos Componentes				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Valor Singular	1,625	0,526	0,417	0,256	0,188
PE %	53,951	17,463	13,845	8,499	6,242
PA %	53,951	71,414	85,259	93,758	100,000
RI	2,698	0,873	0,692	0,425	0,312

Foram estimados os valores das relações de informação (RI) dos cinco primeiros eixos componentes (Tabela 2) para complementar a PA%, onde somente o primeiro eixo PC apresentou RI acima de 1, indicando conter padrão, quer dizer, existência de associações entre os anos, o segundo eixo apesar de possuir IR próximo de 1, também pode conter alguma informação independente com importância significativa. Os demais eixos tiveram valores baixos o que indicar não possuem qualquer padrão ou informação. Neste caso, portanto podem-se considerar como suficientes os dois primeiros eixos na análise gráfica para retratar os padrões dos dados.

A Figura 2 (“which-won-where”) referente aos dados multi-ambientes que são definidos pelo comportamento das progênies e dos anos, destina-se a visualização de onde e em quais anos houve superioridade de comportamento das progênies de açaizeiros e também verificar a existência de

mega-ambientes diferentes, que pelo conceito teórico seria a união daqueles mais semelhantes e que então podem ser agrupados num mesmo quadrante. As retas com origem no centro do Biplot sugerem a existência de seis setores ou mega-ambientes, observando-se, contudo que todos os anos foram agrupados num único mega-ambiente. Ressaltando que a multivariada envolvendo seis características nesta população especificamente gerou gráficos influenciados pelos efeitos das progênies e a interação com anos, que pode inicialmente ser estranho, mas são provenientes de interações, então o melhor desempenho se associa ao setor negativo do Biplot, portanto pela localização a melhor progênie para neste período foi a P96 e, em seguida tem-se P42, seguida pelas progênies P99, P48, P10, P85 e P103 com contribuições interessantes nas contribuições médias.



**Figura 2.** GGE biplot (“Which-won-where”) para multivariada entre seis características em progênies de açaizeiro, indicativo de quais dos genótipos apresentaram melhor desempenho e em que ambientes. As linhas vermelhas contínuas delimitam setores que definem os mega-ambientes.

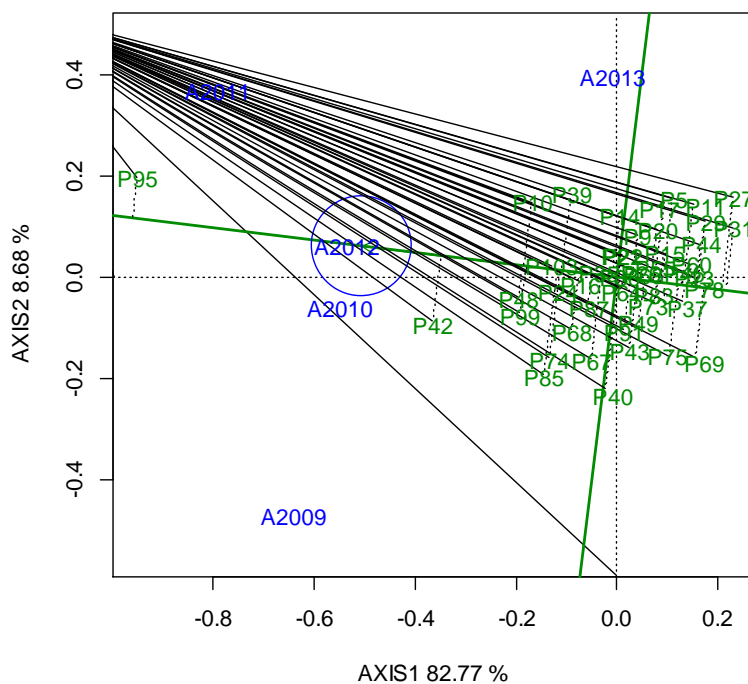
A junção dos anos num único mega-ambiente com uma progênie presente apenas neste vértice do polígono foi diferente quando comparado aos resultados em pimenteiros por três anos citado por Abu et al. (2011); em produção de frutos de pêsego por três anos (CITADIN et al., 2014), também para morangueiro para produtividade onde cada local foi responsável em compor um mega-ambiente (COSTA et al., 2016), assim como em mandioca (PEPRAH et al., 2016), onde não houve a presença de dois locais num mesmo mega-ambiente. Similarmente para a presença de progênies plotados em setores com ausência de anos, foi observado por Aliyu et al. (2014), indicando ausência de especificidade as características intrínsecas de controle ambiental.

A concentração de todos os anos em um único setor indica que houve semelhanças entre os fatores ambientais constituintes de cada ano o que não permitiu a formação de mais mega-ambientes contendo anos.

Houve relativa dispersão entre algumas progênies no GGE Biplot mostrando a presença de distinção fenotípica, podendo-se notar que muitas se concentraram na origem, não contribuindo para as médias e nem para os aspectos de adaptabilidade e nem adaptabilidade a qualquer ano. Existiram também aquelas possuindo contribuição negativa e positiva, comportamento já esperado quando se trabalha com um grupo que contenha variabilidade e ainda em início

de melhoramento genético e, portanto muito desuniformes ainda, este desempenho foi semelhante ao observado em outras espécies, neste caso comparando com pimenteira (ABU et al., 2011), cajueiro (ALIYU et al., 2014), pêsego (CITADIN et al., 2014), morangueiro (COSTA et al., 2016) e mandioca (PEPRAH et al., 2016).

Na Figura 3 a linha reta com uma seta direcional recebe o nome de “eixo do ambiente-média” ou “eam”, que seria neste caso um “ambiente-média”. As progênies que ultrapassam a ponta da seta são aquelas consideradas com desempenho médio superior do grupo avaliado. Já em relação a perpendicular, em ambos os sentidos, ao eam tem se que quanto maior a distância da origem isso é indicativo da existência de maior variabilidade de desempenho, ou seja, menos estabilidade (YAN 2002; 2011). Portanto as progênies foram classificadas quanto a média de desempenho seguindo a escala: P95 > P42 > P99 > P48 > P10 > P103 > ... > média geral > ... > P20 > P11 > P69 > P78 > P27 > P31, porém pelo distanciamento do eixo PC1 muitos destas progênies não apresentam estabilidade, mesmo apresentando valores médios interessantes em todos os anos.

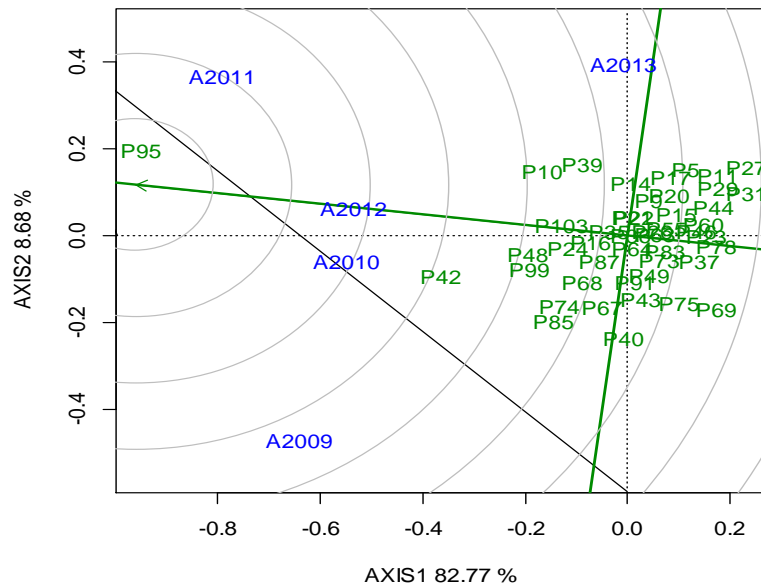


**Figura 3.** Desempenho médio e estabilidade estimados pelo gráfico GGE biplot (“Média versus Estabilidade”) com eixo do ambiente-média (EAM) para multivariada entre seis características em progênes de açaizeiro.

Os programas de melhoramento genético têm como objetivo encontrar plantas que agreguem desempenho acima da média associado com estabilidade, ou seja, aquele indivíduo que seria perfeito num local, recebendo o nome de “ideótipo”. A visualização do GGE biplot “Média versus Estabilidade” da Figura 4 é uma ferramenta idealizada para se encontrar aquele genótipo quanto ao desempenho e estabilidade (YAN; TINKER, 2006; YAN et al., 2007; YAN, 2011) ao permitir visualizar quem se localizada mais próximo de um ideótipo. Na Figura 4 contendo diversos círculos concêntricos, o indivíduo almejado é aquele que se situar no centro ou nos primeiros circuncentros.

Baseado nestas informações então ao se observar os circuncentros e a distribuição das progênes de açaizeiro, consegue-se identificar como a mais promissora a P95, próxima do ideótipo, dentro do primeiro circuncentro,

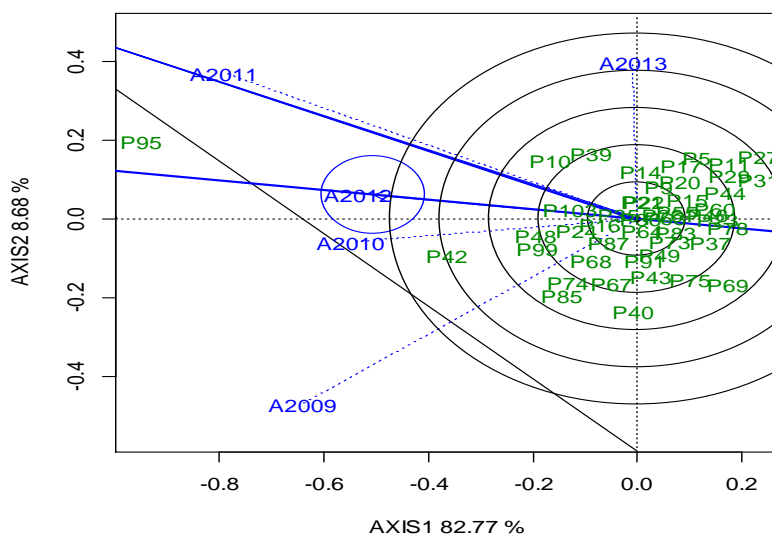
seguida pela P42 e depois pelas P10, P48 e P99. Ao associar desempenho com estabilidade nota-se comportamento semelhante em relação ao citado por Aliyu et al. (2014) sobre avaliações em cajueiros para número, peso e produtividade de amêndoas. Agora em relação à variabilidade disponível para seleção, pode-se observar a existência de progênes dispersas no gráfico para as características em conjunto, ocorrendo concentração próximo a origem das retas de diversas progênes, diferindo em comparação ao citado em morangueiro (COSTA et al., 2016) e mandioca (PEPRAH et al., 2016), onde os genótipos se dispersaram sem concentração no centro da origem do Biplot (Figura 4). As progênes P39, P103, P24, P74, P85, P16 e P68 também pode receber maior atenção em pesquisas subsequentes para verificar seus desempenhos.



**Figura 4.** Classificação das progênes de açaizeiro em relação ao ideótipo (no centro dos círculos concêntricos) pelo GGE biplot com eixo do ambiente-média (EAM) para multivariada entre seis características.

Além de visualizar o desempenho do material genético o GGE Biplot também tem como objetivo identificar quais ambientes de teste são os melhores para evidenciar diferenciação entre os genótipos superiores num mega-ambiente, ou em outras palavras, verificar se há ambiente (ano) que permite diferenciar de forma mais explícita os materiais genéticos e permitir selecionar os que possuem melhor desempenho, isso é possível pela estruturação do GGE biplot da Figura 5, onde os anos representados por vetores mais longos são aqueles cujos componentes ambientais não controláveis geraram as maiores diferenciações das progênes, proporcionalmente em relação aos fatores genéticos. Já nos anos ou progênes com vetores curtos não há fatores que possibilitem a diferenciação dos materiais genéticos, onde todos se assemelham e desta forma não se pode realizar a seleção com base na diferenciação (HONGYU et al., 2015).

Nas características em conjunto, relativo ao comportamento dos anos, tem-se que todos possuem vetores longos, em relação a todas as progênes com exceção da P95. O ano de 2013 possui menor capacidade discriminante em relação a três progênes (Figura 5). Um aspecto a ser destacado é que a progênie P95 apresentou comportamento atípico em relação ao grupo todo avaliado, a presença desta progênie gerou resultado similar ao citado por Peprah et al. (2016) em mandioca, com ambientes apresentando vetores mais longos que os genótipos e a existência de apenas um material genético com vetor superior e também para Aliyu et al. (2014) comparativamente em relação a avaliação para número, peso e produtividade de amêndoas por planta em cajueiro, onde houve um genótipo com maior poder discriminante que os anos.



**Figura 5.** Capacidade de discriminação e representatividade dos ambientes de teste pelo GGE Biplot “discriminação e representatividade” seis características em progênes de açaizeiro.



Pela Figura 5 também disponível a capacidade de indicação de um ambiente, ou mais que um, que seja uma média de todos os demais. Esse ambiente se caracteriza por ser composto por fatores controláveis e não controláveis em intensidade que se enquadre num médio entre todos os demais ambientes. Especificamente ano de 2012 está na linha eam da Figura 5, portanto apresentando o menor ângulo com este eixo, o que significa que pode ser considerado com uma média de todos os demais anos. Os demais anos exibindo certa angulação com o eixo eam, indica que foram capazes de contribuir de forma distinta na expressão de microclimas e com isso afetar a adaptabilidade e especificidade das progênies, que apresentaram então interação GxA diferenciada entre os anos, assemelhando-se ao comportamento observado por Aliyu et al. (2014) estudando diferentes ambientes em cajueiros.

O GGE Biplot permitiu identificar como promissoras devido a proximidade ao ideótipo as progênies P95, P42, P10, P48 e P99, sendo que ao se retornar ao agrupamento pelo dendrograma contendo as 114 progênies iniciais, há a adição das progênies P28 e P102, como de desempenho superior também.

## CONCLUSÃO

A análise multivariada, o agrupamento pelo dendrograma e a análise gráfica GGE Biplot realizadas juntas são importantes, eficientes e necessárias quando há quantitativo grande de progênies;

As melhores progênies são P95, P42, P10, P48 e P99 na análise GGE Biplot e pelo dendrograma somam-se as progênies P28 e P102;

A variabilidade genética das progênies e a variabilidade dos anos garante contribuições distintas para a interação GxA, importante para orientar o melhoramento genético;

Os anos em geral são mais discriminantes em relação às progênies, mas a progênie P95 apresenta desempenho diferenciado na discriminação em relação a todos os anos;

A resposta do comportamento das progênies mostra as plantas respondem aos fatores ambientais, evidenciando que as pesquisas para determinar as exigências e respostas do açaizeiro são importantes.

## REFERÊNCIAS

- ABU, N. E.; UGURU, M. I.; OBI, I. U. Genotype by trait relations of yield and yield components in aromatic peppers (*Capsicum annum*) based on GT biplot. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, Nairobi, v. 3, n. 14, p. 382-390, 2011.
- ALIYU, O. M.; ADEIGBE, O. O.; LAWAL, O. O. Phenotypic stability analysis of yield components in Cashew (*Anacardium occidentale* L.) using additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) and GGE biplot analyses. **Plant Breeding Biotechnology**, Suwon, v. 2, n. 4, p. 354-369, 2014.
- CITADIN, I.; SCARIOTTO, S.; SACHET, M.R.; ROSA, F.J.; RASEIRA, M.C.B.; WAGNER JÚNIOR, A. Adaptability and stability of fruit set and production of peach trees in a subtropical climate. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 133-138, 2014.
- CLIMATE-DATA.ORG **Clima Mazagão**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/amapa/mazagao-33758/#climate-graph>>. Acesso em: 11 jun 2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Açaí - Análise Mensal - Março/2020**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai>>. Acesso em: 22 jul 2021.
- COSTA, A.F.; TEODORO, P.E.; BHERING, L.L.; LEAL, N.R.; TARDIN, F.D.; DAHER, R.F. Biplot analysis of strawberry genotypes recommended for the State of Espírito Santo. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, p. 1-9, 2016.
- COUTINHO, R. V. **A exploração do açaí como alternativa para o desenvolvimento econômico da Amazônia Legal: estudo de caso do estado do Pará (1990-2010)**. 86 p. 2017. (Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Amazônia). Universidade Federal de Roraima.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** (3. ed.). Viçosa: Editora UFV. 2014. 668 p.
- DEGHANI, H.; FEYZIAN, E.; JALALI, M.; REZAI, A.; DANE, F. Use of GGE biplot methodology for genetic analysis of yield and related traits in melon (*Cucumis melo* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 92, n. 1, p. 77-85, 2012.
- FARIAS NETO, J. T. de; YOKOMIZO, G. K. I.; OLIVEIRA, M. do S. P. de; HONGYU, K. GGE Biplot para estabilidade e adaptabilidade em progênies de açaizeiro de Anajás, PA. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 12, n. 1, p. 409-417, 2018.
- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.1, p.532-539, 2011.
- GALEÃO, P. **Potencialidades e limites da cadeia de valor do açaí em boca do Acre**. Instituto Internacional de Educação do Brasil. 14 p.. Março 2017. Disponível em: <[http://www.fundovale.org/wp-content/uploads/2017/10/2\\_acai\\_bocadoacre.pdf](http://www.fundovale.org/wp-content/uploads/2017/10/2_acai_bocadoacre.pdf)>. Acesso em: 28 jul 2021.
- HOMMA, A. K. O.; NICOLI, C. M. L.; MENEZES, A. J. E. A. de; MATOS, G. B. de; CARVALHO, J. E. U. de; NOGUEIRA, O. L. **Custo Operacional de Açaizeiro Irrigado no Nordeste Paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 18 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 255).
- MALOSETTI, M.; RIBAUT, J.-M.; EEUWIJK, F.A. van. The statistical analysis of multi-environment data: modeling

genotype-by-environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in Physiology**, Zurich, v. 4, article 44, 2013.

HONGYU, K.; SILVA, F. L.; OLIVEIRA, A. C. S.; SARTI, D. A.; ARAUJO, L. B.; DIAS, C. T. S. Comparação entre os modelos AMMI e GGE Biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biomassa**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 139-155, 2015.

NEVES, L. T. B. C.; CAMPOS, D. C. S.; MENDES, J. K. S.; URNHANI, C. O.; ARAÚJO, K. G. M. Quality of fruits manually processed of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 729-738, 2015.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. de Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açaí no Estado do Pará. **Revista Ceres**, p. 1-7, Viçosa, v. 63, n. 1, 2016.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, S. C. de; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 324-331, 2013.

PEPRAH, B. B.; AGYEMAN, A.; PARKES, E.; KWADWO, O.; ISSAC, A. K.; EMMANUEL, O.; LABUSCHAGNE, M. T. Stability, agronomic performance and genetic variability of 10 cassava genotypes in Ghana. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, Nairobi, v. 8, n. 9, p. 157-167, 2016.

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 2021.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA. 2012. 305 p.

SANTOS, J.C.; SENA, A.L.S.; HOMMA, A.K.O. Viabilidade econômica do manejo de açaizais no estuário amazônico do Pará. In: GUIDUCCI, R.C.N.; LIMA FILHO, J.R.; MOTA, M.M. (eds.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**. Brasília: Embrapa, 2012. p.351-409. Disponível em: <<http://sigla=ac&tema=extracaovegetal2015>>.

SILVESTRE, W. V. D.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, R. O. R. M.; PALHETA, L. F. Morphological and physiological responses of açaí seedlings subjected to diferente watering regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 4, p. 364-371, 2016.

SOUSA, P. C.; ANDRADE, V. M. S. Potencialidade na produção de *Euterpe oleracea* Mart (Açaí) em comunidades tradicionais na Amazônia", **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, Málaga, p.1-13, 2018.

WEATHERSPARK **Condições meteorológicas médias de Mazagão – Brasil**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29784/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Mazag%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 09 jul 2021.

XIMENES, L. C.; GAMA, J. R. V.; BEZERRA, T. G.; CRUZ, G. S. Importância do açaí na renda mensal da comunidade quilombola Murumuru em Santarém, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 11, n. 2, p. 36-42, 2020.

YAN, W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 5, p. 990-996, 2002.

YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. **Journal of the India Society of Agricultural Statistics**, New Delhi, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and Mega-environment investigation based on GGE biplot. **Crop Science**. Madison, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2003. 271p.

YAN, W.; KANG, M.S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P.L. GGE Biplots vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 643-655, 2007.

YAN, W.; TINKER, A. biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, n.3, p. 623-645, 2006.

YOKOMIZO, G. K. -I.; FARIAS NETO, J. T. de; OLIVEIRA, M. do S. P. de; HONGYU, H. Análise GGE biplot na avaliação de características de cachos em açaizeiros da região Amazônica. **Mundo Amazonico**, Bogotá, v. 8, n. 1, 2017.

YUYAMA, K.; VAREJÃO, M. J.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; PIMENTEL, S. A.; CARUSO, M. S. F.. Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 4, p. 545-552, 2011.

---

Submissão: 11/08/2021

Aprovado para publicação: 04/10/2021