

## GGE Biplot para estabilidade e adaptabilidade em progênies de açazeiro de Anajás, PA

### *GGE Biplot for stability and adaptability in assai palm trees progenies from Anajás, PA*

João Tomé de Farias Neto<sup>1</sup>, Gilberto Ken Iti Yokomizo<sup>2\*</sup>, Maria do Socorro Padilha de Oliveira<sup>3</sup>, Kuang Hongyu<sup>4</sup>

**Resumo:** O açazeiro apresenta sazonalidade de produção de frutos, havendo populações nativas com produção na entressafra que precisam ser pesquisadas quanto ao comportamento de estabilidade e adaptabilidade às condições ambientais. Assim, objetivou-se com o este trabalho avaliar o desempenho de 30 progênies de açazeiros, com produção na entressafra, provenientes do município de Anajás e cultivadas em Tomé-Açu, Pará. O experimento foi montado em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram compostas por efeito de progênies e repetições, e as subparcelas pelo efeito de anos. Foi empregado o GGE Biplot para analisar a adaptabilidade, estabilidade e interação GxA. As variáveis avaliadas foram: peso médio dos cachos (PMC), peso total de cachos (PTC) e peso total de frutos (PTF). Para cada característica, progênies distintas se destacaram, aproximando-se mais do ideótipo, pela estabilidade ou adaptabilidade, como as identificadas por G22 e G19 para PMC; G10 e G14 para PTC; e G10 para PTF, existindo, no entanto, progênies cujo desempenho foi sempre inferior em qualquer ano; progênies com maiores valores médios têm menor estabilidade, excetuando-se G10 em PTC e PTF; os anos, principalmente em relação à precipitação pluviométrica, geram respostas diferenciadas das progênies entre as características, ocasionando pouca coincidência; a análise gráfica do método GGE Biplot permite verificar que o ano que melhor discrimina as progênies é 2011, para PMC e PTC, e 2010 para PTF; os anos que representam a média de todos os anos é 2009, em todas as características, e adicionalmente 2010 em PTC.

**Palavras-chave:** *Euterpe oleracea*. Interação genótipos x ambientes. Melhoramento de plantas.

**Abstract:** The assai palm features the seasonality of fruit production, existing native populations with production in the off-season period, that need to be researched as to the behavior of stability and adaptability to environmental conditions. With the objective of analyzing the behavior of 30 assai palms trees progenies, with off-season production, from the Anajás city and grown in Tomé-Açu, Pará. The experiment was installed in a randomized block design in split plots with three replications. The plots were composed by effect of progenies and repetitions and the subplots by years. We used the GGE biplot to analyze the adaptability, stability and interaction GxA. The variables evaluated were: average weight of the bunches (PMC), total fruit weight (PTF), and total weight of the bunches (PTC). Obtaining as conclusions that, for each characteristic, distinct progenies stood out closer to the ideotype, for stability or adaptability, as those identified by G22 and G19 for PMC; G10 and G14 for PTC and G10 for PTF; there are progenies whose performance were always lower than in any year; progenies with higher averages values have lower stability, except for G10 in PTC and PTF; the years, especially in relation to pluviometric precipitation, induce different response of the progenies between the characteristics, generating low coincidence; the graphical analysis of the GGE Biplot method allows to verify that the environment that better discriminates the genotypes is 2011 for PMC and PTC and, 2010 for PTF; the yeras that represent the average of all years is 2009 in all characteristics and additionally 2010 in PTC.

**Key words:** *Euterpe oleracea*. Interaction genotypes x environments. Plant breeding.

\*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 22/03/2017 e aprovado em 31/10/2017

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Doutor, Embrapa Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/nº, Bairro Marco, CEP: 66095-903, Caixa postal 48, Belém, PA; joao.farias@embrapa.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Doutor, Embrapa Amapá, Rod JK, 2600, Bairro Universidade, CEP: 68.903-419, Macapá, AP; gilberto.yokomizo@embrapa.br

<sup>3</sup>Eng. Agrônoma, Doutora, Embrapa Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/nº, Bairro Marco, CEP: 66095-903, Caixa postal 48, Belém, PA; socorro-padilha.oliveira@embrapa.br

<sup>4</sup>Matemático, Doutor, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78060-900 Cuiabá-MT. kuang\_hongyu@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea*) é uma espécie frutífera e produtora de palmito, nativa da Amazônia, cuja produção de frutos é tradicionalmente baseada no extrativismo, tendo o estado do Pará como maior produtor e principal consumidor, onde estão estabelecidas densas e diversificadas populações naturais em áreas de várzeas. Na última estimativa publicada pelo IBGE (2013), a produção nacional de frutos de açaí foi de 202 mil toneladas de frutos, com faturamento de R\$ 410 milhões. O estado do Pará foi responsável por 54,9% e a região Norte por 93,7% da produção nacional.

As populações naturais de açaizeiro ocorrem em áreas mais úmidas, cujo aumento de produção tem sido obtido apenas baseado em manejo, que ainda é insuficiente para atender a demanda crescente de consumo, incentivando seu cultivo em terra firme por meio da irrigação (FARIAS NETO *et al.*, 2011). Esse cultivo tem se mostrado mais atraente por permitir a mecanização, inclusive na colheita, obtendo produtividades maiores. Outra vantagem verificada, segundo Dimenstein e Farias Neto (2008), é a eliminação/redução da sazonalidade da produção de frutos, verificado no período de janeiro a junho (entressafra local), evitando a ociosidade das pessoas envolvidas na exploração e processamento dos frutos.

Trabalhos publicados demonstram a existência de diferenças genéticas entre populações e/ou progênies de açaizeiros, fato esse que abre possibilidade na seleção de materiais superiores para as características de interesse (FARIAS NETO *et al.*, 2003; OHASHI; KAGEYAMA, 2012), contudo, as informações são escassas em relação às respostas distintas nas características vegetativas e produtivas das plantas devido a interação da variabilidade genética associado aos diferentes fatores ambientais disponibilizados. Denomina-se de interação genótipo e ambiente (GxA) o efeito de ambientes na manifestação fenotípica dos genótipos, reduzindo a correlação entre os valores fenotípicos e genotípicos, o que gera dificuldades para a seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis (CAMARGO-BUITRAGO *et al.*, 2011; GAUCH, 2013).

No melhoramento de plantas, os efeitos decorrentes do ambiente geram a necessidade de avaliar a adaptabilidade e estabilidade genotípica e a predição em gerações posteriores. A presença da interação (GxA) complica esse processo, que,

normalmente, é expresso como respostas inconsistentes de alguns genótipos em relação a outros, podendo até ocorrer alterações na classificação genotípica, denominada de interação GxA complexa, ou como mudanças apenas nos valores absolutos dos genótipos sem mudanças na classificação (ARAÚJO *et al.*, 2012; GAUCH, 2013).

Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, dentre as metodologias mais recentes, destaca-se o modelo GGE biplot, proposto por Yan *et al.* (2000). Essa metodologia considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipo e ambiente, sendo indicada para a identificação de mega-ambientes, seleção de ambientes representativos e discriminativos e indicação de genótipos mais adaptados e estáveis a ambientes específicos (GAUCH *et al.*, 2008; YAN, 2011). Assim, o seu emprego possibilita inferências quanto ao desempenho dos materiais genéticos e ambientes, com facilidade na visualização dos dados (YAN *et al.*, 2000; HASSANPANAH, 2010).

Com base nessas informações, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho agrônomico de 30 progênies de açaizeiros, provenientes do município de Anajás, Pará, cultivadas em área experimental em Tomé-Açu, Pará, visando identificar, por meio de análises gráficas pela metodologia do GGE Biplot, aquelas mais responsivas e associadas aos níveis de variação ambiental existentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Amazônia Oriental localizada no município de Tomé-Açu, no Nordeste paraense, aproximadamente entre as latitudes 01° 24' 46,14" e 01° 28' 4,11" de latitude sul, e 48° 20' 4,60" e 48° 20' 31,84" de longitude oeste de Greenwich. Possuindo clima quente e úmido, ajustando-se ao tipo climático Ami, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como chuvoso, com pequena estação seca, a média anual de precipitação pluviométrica é em torno de 2.300 mm. A umidade relativa do ar na região apresenta pouca oscilação ao longo do ano, variando entre 81% e 89% (valores médios anuais), e a temperatura do ar apresenta valores médios em torno de 26 °C (VALENTE *et al.*, 2014). Os dados climáticos existentes nos anos de avaliação são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados climatológicos da região de Tomé-Açu nos quatro anos das avaliações em 30 progênies de açaizeiros. Anajás, PA

Table 1 - Climatological data of the region of Tomé-Açu in four years of evaluations in 30 assai palm progenies. Anajás, PA

	2009	2010	2011	2012
Umidade Relativa (%)	80,0	80,0	83,0	79,0
Precipitação Total (mm.ano <sup>-1</sup> )	2813,2	2226,8	3095,0	1794,8
Temperatura Média (°C)	26,1	26,5	26,0	26,2

Fonte: CEPLAC (2017).

As progênies avaliadas são oriundas de sementes de matrizes nativas de polinização aberta do município de Anajás, PA, sua principal característica é a capacidade de produção de frutos em período de entressafra da espécie no estado, ou seja, no primeiro semestre. As progênies foram plantadas na área experimental em março de 2005, usando o delineamento experimental de blocos casualizados em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas o efeito de blocos e progênies e nas subparcelas o efeito de anos com trinta progênies, três repetições e cinco plantas por parcela no espaçamento de 6 x 4 m, além de uma bordadura externa ao experimento. Os tratos culturais e adubações foram efetuados da mesma forma e proporções nos anos de avaliações, portanto, espera-se que somente as variações climáticas (Tabela 1) sejam responsáveis pelos efeitos de anos e da interação progênies com anos.

As características sob investigação realizadas entre os anos de 2009 e 2012 foram: peso médio dos cachos (PMC), em gramas, peso total de cachos (PTC), em gramas, e peso total de frutos (PTF), em gramas.

A análise de variância foi realizada com base nas médias das parcelas entre as progênies para as diferentes características, cujo modelo estatístico de parcelas subdivididas empregado foi o citado por Ramalho *et al.* (2012):  $Y_{ijk} = \mu + b_i + P_j + e_{ij} + A_k + (PA)_{ik} + e_{ikj}$ , sendo:  $Y_{ijk}$ : valor observado no i-ésimo bloco, da j-ésima progênie no k-ésimo ano;  $\mu$ : média geral para a característica;  $b_i$ : efeito do i-ésimo bloco;  $P_j$ : efeitos da j-ésima progênie;  $A_k$ : efeito do k-ésimo ano;  $e_{ij}$ : erro do efeito de blocos e progênies; PA: interação entre j-ésima progênie com k-ésimo ano;  $e_{ikj}$ : erro referente

ao efeito blocos, progênies e anos. A análise de variância foi realizada no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS INSTITUTE, 2012)

Foi empregado o método GGE Biplot, que considera o efeito da progênie e da sua interação com os anos (YAN *et al.*, 2000). Nesse método, apenas o efeito principal de progênie e da GxA são importantes e considerados concomitantemente. O modelo GGE biplot não separa G da GxA mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, que pode ser visualizado na seguinte equação:  $Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 + \epsilon_{i1} P_{j1} + y_2 \epsilon_{i2} P_{j2} + \epsilon_{ij}$ , onde  $Y_{ij}$  representa o rendimento médio da i-ésima população no j-ésimo ano;  $\bar{y}_j$  é a média geral das populações no ano j;  $y_1 + \epsilon_{i1} P_{j1}$  é o primeiro componente principal (IPCA1);  $y_2 \epsilon_{i2} P_{j2}$  é o segundo componente principal (IPCA2);  $y_1$  e  $y_2$  são os autovalores associados ao IPCA e IPCA2, respectivamente;  $\epsilon_{i1}$  e  $\epsilon_{i2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, da i-ésima população;  $P_{j1}$  e  $P_{j2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o j-ésimo ano;  $\epsilon_{ij}$  é o erro do modelo associado com i-ésima população e j-ésimo ano (YAN; KANG, 2003). A análise do GGE biplot foi realizada no programa estatístico R (R CORE TEAM, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise de variância de parcelas subdivididas no tempo com os quadrados médios e a significância para o teste F. Não foram

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para três características(a) de 30 progênies de açaizeiros em quatro anos. Anajás, PA

Table 2 - Analysis of variance summary for three characteristics in 30 assai palm progenies. Anajás, PA

FV(b)	GL	Quadrado Médio		
		PMC	PTF	PTC
Blocos (B)	2	858467 <sup>ns</sup>	110.310.103 <sup>ns</sup>	360.447.632*
Progênies (G)	29	329237 <sup>ns</sup>	75.162.814 <sup>ns</sup>	153.418.709*
BxG (Resíduo a)	58	297233**	49.552.654**	87.272.276**
Anos (A)	3	52.994.283**	5.134.789.472**	7.784.830.611**
GxA	87	89.243 <sup>ns</sup>	20.666.719 <sup>ns</sup>	44.090.616 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	180	86.019	22.639.915	43.658.930
Média		2811,7	21751,63	28378,74
CV%		10,43	21,87	23,28

<sup>a</sup> PMC: peso médio dos cachos, em gramas; PTC: peso total de cachos, em gramas e; NTC: número total de cachos. <sup>b</sup> FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; B x G (Resíduo a): interação Blocos com Progênies; GxA: interação Progênies com Ambiente; CV%: coeficiente de variação experimental em %. \*\* e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns não-significativo, pelo teste F.

a PMC: average weight of bunches, in grams; PTC: total weight of bunches, in grams and; NTC: total number of bunches. b FV: source of variation; GL: degrees of freedom; B x G (Residue a): interaction Blocks with Progenies; GxA: interaction Progenies with Environment; CV%: coefficient of experimental variation in%. \*\* and \* significant at 1 and 5% probability, respectively, by the F test; ns by the F test.

observadas diferenças significativas entre as progênies avaliadas (G) nas características PMC e PTF, indicando ausência de variabilidade genotípica e com isso a possível inexistência de indivíduos superiores, enquanto que em PTC foi detectada diferença a 5% de significância. A ausência de variabilidade pode ter sido ocasionada pela pré-seleção realizada no momento de coleta das sementes que originaram as plantas instaladas na área experimental, uniformizando-as de forma subjetiva, contudo este resultado divergiu para PTC ao citado por Galate *et al.* (2014) e em PTF por Oliveira e Fernandes (2001) em açaizeiro, mas em populações diferentes ao deste estudo.

Na fonte de variação anos (A), foram verificadas diferenças significativas, ou seja, na condição experimental oferecida, os fatores não controláveis isoladamente foram distintos, aspecto interessante pela possibilidade de gerarem diferenças de comportamento entre as progênies, entre as diferentes safras (CRUZ *et al.*, 2012) e a interação GxA não foi significativa em todas as características avaliadas,

indicando que estatisticamente as progênies interagiram de forma semelhante com as condições ambientais de cada ano.

Os coeficientes de variação experimental (CV) foram aceitáveis por envolver características relativas à produtividade. Essa variabilidade pode ser reflexo do processo de domesticação do açaizeiro se encontrar em seu início, sendo a espécie ainda praticamente selvagem, com os programas de melhoramento genético ainda coletando informações morfogênicas e havendo ainda pouca experimentação com seleção efetiva.

Devido a inexistência de significância para a interação GxA observada na Tabela 2, foi escolhida a análise GGE biplot para verificar o comportamento das progênies baseado em dispersão gráfica. Essa metodologia tem como característica a não necessidade da significância da interação.

Na Tabela 3, são apresentados os percentuais acumulados nos quatro eixos dos componentes principais, onde há existência de maior padrão nos dois primeiros

**Tabela 3** - Valor singular e proporção explicada dos quatro eixos dos componentes principais (PCs) para as características peso médio dos cachos (PMC), peso total de cachos (PTC) e peso total de frutos (PTF) em progênies de açaizeiro. Anajás, PA

*Table 3* - Singular value and proportion explained of the four principal components (PCs) for the characteristic average weight of the bunches (PMC), in grams; total fruit weight (PTF), in grams and total weight of the bunches (PTC) in assai palm progenies. Anajás, PA

Caráter	Parâmetros	Eixos componentes			
		PC1	PC2	PC3	PC4
PMC	Valor Singular	1950,44	964,32	736,37	703,10
	Varição Explicada (%)	65,92	16,11	9,40	8,57
PTC	Valor Singular	42376,78	22802,70	18733,44	9745,71
	Varição Explicada (%)	65,03	18,83	12,71	3,43
PTF	Valor Singular	28475,87	17440,16	12445,66	7481,97
	Varição Explicada (%)	61,16	22,94	11,68	4,22

eixos por reterem a informação dos fatores genotípicos e ambientais associados à interação e nos demais eixos há o que se denomina de ruídos, que seriam os fatores não explicáveis que geram alguma variação e que reduzem o poder de predição da análise (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Nos dois primeiros eixos, a soma dos percentuais acumulados foram superiores a 80% nas características estudadas, inferindo elevada confiabilidade na explicação da variação total do desempenho das progênies somada à interação com o ano (G+GxA). Contudo, esses valores foram inferiores quando comparados com a produção de frutos frescos de pimentas (ABU *et al.*, 2011); peso médio por fruto e número de frutos por planta de melão (DEHGhani *et al.*, 2012); número de amêndoas, produtividade e peso de amêndoas em cajueiros (ALIYU *et al.*, 2014); bem como produtividade em genótipos de mandioca (PEPRAH *et al.*, 2016), devido ao sistema de cruzamentos eminentemente

alógamo do açaizeiro associado ao aspecto da espécie apresentar-se em início do processo de domesticação, não estando ainda com base genética estreita, indicando a existência de grande influência de fatores ambientais.

A Figura 1 (“which-won-where”) de análise de mega-ambientes permite o agrupamento dos materiais genéticos, além de permitir visualizar em qual ou quais ambientes esses apresentam melhor desempenho. Possibilitando definir a possível existência de distintos mega-ambientes em uma região. Os anos que se inserirem dentro de um mesmo mega-ambiente são considerados como semelhantes e compondo, portanto, o mesmo mega-ambiente. As 30 progênies foram identificadas de G1 a G30 e os quatro anos como A1 a A4.

Nos vértices do polígono da Figura (1a) são indicadas as progênies de melhor desempenho médio para PMC, sendo: G26, G12, G11, G24, G16, G22 e G18. Os quatro

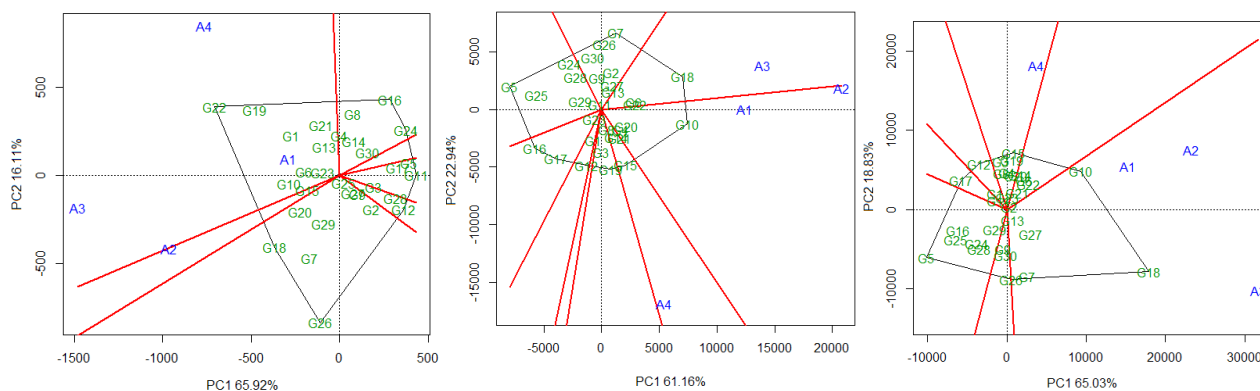


Figura 1 - GGE Biplot (“Which-won-where”) para os dados das características peso médio dos cachos (a), peso total de cachos (b) e peso total de frutos (c) em progênies de açazeiro. Anajás, PA.

Figure 1 - GGE biplot (“Which it won-where”) for the data of characteristics average weight of the bunches (a), total fruit weight (b) and total weight of the bunches (c) in assai palm progenies. Anajás, PA.

anos foram divididos em dois mega-ambientes pelas linhas de coloração vermelha que saíram da origem do biplot, formando i, contendo 2009, 2011 e 2012, onde as condições ambientais reinantes nesses três anos influenciaram de forma semelhante as progênies, diferindo do grupo ii, que foi formado pelo ano 2010.

Na Figura 1b, encontram-se as progênies que apresentaram os melhores resultados para PTC, sendo: G5, G17, G12, G15, G10, G18 e G26, com formação, também, de dois mega-ambientes, o primeiro (i), contendo 2009, 2010 e 2011, e o segundo (ii) com 2012.

Em PTF, os vértices são formados pelas progênies G5, G7, G18, G10, G15, G19, G17 e G16 (Figura 1c). Os quatro anos formaram três mega-ambientes, sendo: (i) 2011; (ii) 2009 e (iii) 2010 e 2012, sugerindo a existência de efeitos ambientais em decorrência desses três grupos sobre o comportamento das progênies.

A prevalência da divisão em dois mega-ambientes foi semelhante ao observado em pimenteiros por três anos por Abu *et al.* (2011); para produção de frutos de pêssego também em três anos por Citadin *et al.* (2014); em número de amêndoas por planta, produtividade e peso em cajueiros por Aliyu *et al.* (2014), havendo também similaridade em relação a existência de genótipos que não se enquadraram em nenhum mega-ambiente nas Figuras 1a, 1b e 1c, em açazeiros. Em morango, para produtividade, já houve um comportamento distinto em que cada local compôs um mega-ambiente (COSTA *et al.*, 2016), assim como em mandioca (PEPRAH *et al.*, 2016). Podendo-se observar que a análise GGE Biplot, independente da espécie, consegue destacar ao menos um ano ou ambiente que apresente influência diferenciada no desempenho das progênies.

Para a característica PMC, a progênie G22 teve o melhor desempenho em relação às demais para o grupo (i) de anos (Figura 1a), seguida por G19, por se situarem mais próximas do vértice existente dentro do mega-ambiente

(i); já no ano de 2010, que apresentou condições muito próximas da média de todos os outros anos, não houve destaque de desempenho de qualquer progênie. Isso mostra que a presença de condições ambientais contrastantes é fundamental para se diferenciar os materiais genéticos nessa característica. Já as progênies G10 e G18, para PTC, estando plotadas nos vértices do polígono dentro do mega-ambiente (i), foram as que tiveram melhor desempenho, com G10 melhor em 2009 e 2010 e G18 em 2011; para o ano 2012, a progênie G15 foi a que teve melhor desempenho (Figura 1b). Para PTF, a progênie G10 apresentou melhor desempenho nos anos 2009 e 2010, a G15 em 2012 e a G18 em 2011 (Figura 1c), ao se situarem nos vértices do polígono.

Baseado nas Figuras 1a, 1b e 1c, a característica PMC apresenta quantitativo maior de progênies, num total de 21, sem especificidade a qualquer dos ambientes, em relação a PTC e PTF, justificado por Oliveira e Fernandes (2001); Farias Neto *et al.* (2011) e Teixeira *et al.* (2012), cujos resultados mostram variância ambiental superior a genética e com isso apresentam herdabilidades baixas, ou seja, as variações geradas por efeitos ambientais tendem a ser maiores que as de origem genética, assim, há maior interação GxA. Enquanto que para PMC, a variância genética foi muito maior que a ambiental conforme Farias Neto *et al.* (2008) e Yokomizo *et al.* (2016), havendo menor efeito da interação GxA.

No tocante ao comportamento observado, a presença de poucas progênies estáveis e das adaptadas especificamente a determinados anos e também daquelas que não possuem estabilidade e nem adaptabilidade também ocorreu em outras espécies como em pimenteira (ABU *et al.*, 2011), cajueiro (ALIYU *et al.*, 2014), pêssego (CITADIN *et al.*, 2014), morangueiro (COSTA *et al.*, 2016) e mandioca (PEPRAH *et al.*, 2016). Esses resultados demonstram que em um grupo de progênies contendo variabilidade, são

poucas as que demonstram adaptabilidade e estabilidade aos anos que apresentem fatores intrínsecos peculiares que os diferenciam dos demais anos.

As Figuras 2a, 2b e 2c ilustram um conceito importante em relação à estabilidade, que é a “estabilidade elevada”, estando associada ao desempenho médio elevado. Assim, a progênie estável é desejada apenas quando apresenta alta performance média (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011), compondo um ideótipo, que seria a forma ideal de planta ou genótipo para determinado ambiente, que neste caso seria ano. Nas Figuras, as progênies localizadas mais

próximas do centro dos círculos concêntricos são as de melhor desempenho para a característica e com melhor adaptabilidade em relação àquelas que estão mais distantes. Assim, para a característica PMC, a progênie G22 foi a que mais se aproximou do ideótipo almejado, seguida por G19, G1 e G10 (Figura 2a), destacando-se que G22 e G19, entre as quatro citadas, tiveram as melhores médias para a característica. Apesar das progênies G6 e G23 apresentarem alta estabilidade, não tiveram as melhores médias. A progênie G10 foi a melhor para PTC, seguida por G14, G18 e G22 (Figura 2b), onde G18, apesar de seu desempenho,

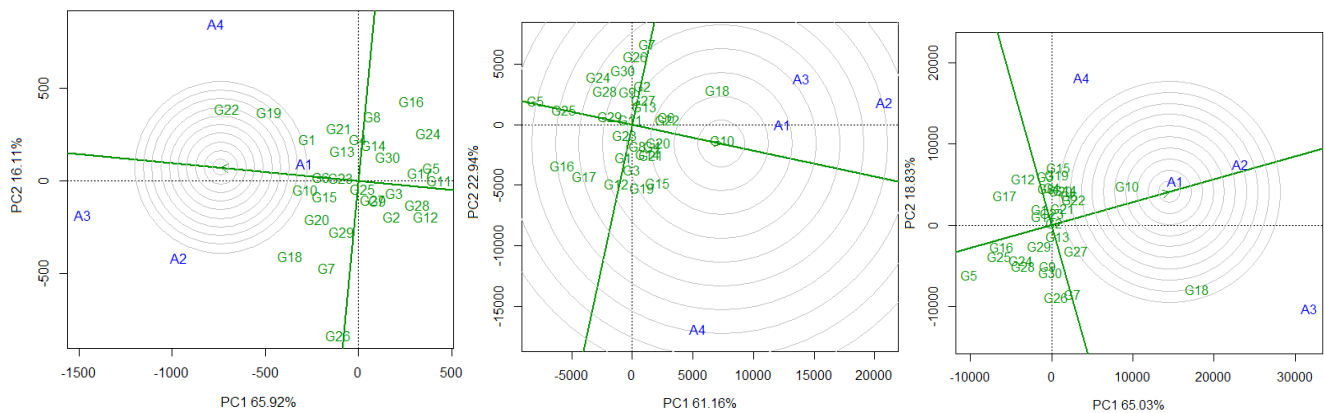


Figura 2 - O GGE Biplot com eixo do ambiente-média (EAM) para classificar as progênies em relação ao ideótipo (no centro dos círculos concêntricos) para as características peso médio dos cachos (a), peso total de cachos (b) e peso total de frutos (c) em açazeiro. Anajás, PA.

*Figure 2 - GGE biplot with axis of the environment-average (EAM) for classification of progenies in relation to the ideotype (in the center of the concentric circles) to the characteristics for the characteristic average weight of the bunches (a), total fruit weight (b) and total weight of the bunches (c) in assai palms. Anajás, PA.*

teve baixa estabilidade. Na característica PTF, destacou-se a G10, seguida por G18, G6 e G22 (Figura 2c), apesar das duas últimas apresentarem estabilidade, não tiveram valores de média superiores.

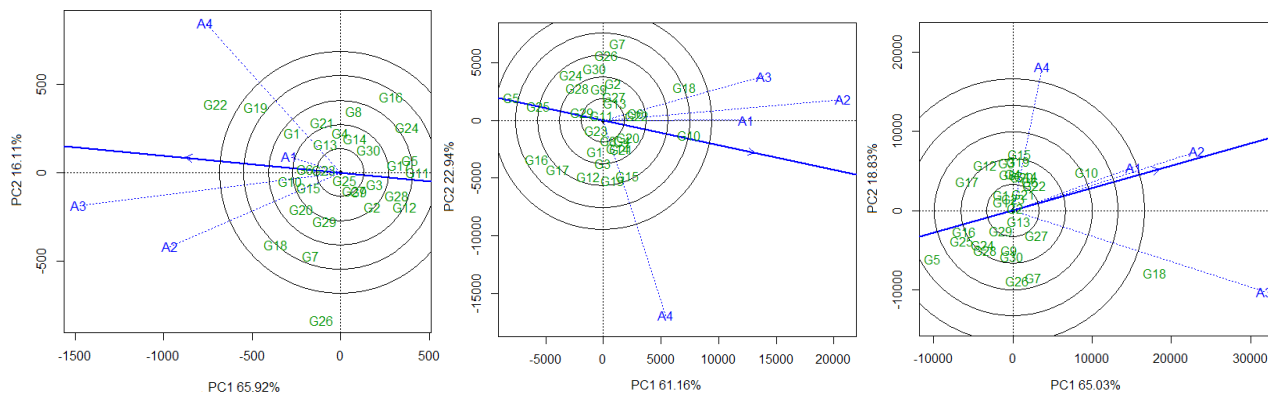
Existiram progênies com alta estabilidade, contudo não apresentaram valores de médias bons, não podendo ser consideradas como ideótipos, neste caso, para PMC, estão G6 e G23, enquanto que para PTC foram G2, G11, G13, G22 e G23 e para PTF foram G6 e G22 (Figuras 2a, 2b e 2c).

O objetivo da avaliação do ambiente de teste (ano) é identificar aqueles que permitem diferenciar as progênies superiores de forma eficaz em um mega-ambiente. Um ambiente de teste deve apresentar maior discriminação das progênies e ser representativo. Isso é possível ao observar aqueles ambientes que possuem vetores mais longos, indicando serem mais discriminantes em relação às progênies; os que apresentam vetores curtos são menos discriminantes, o que significa que todas as progênies

se tornam semelhantes, não conseguindo diferenciar os materiais genéticos de forma eficaz (HONGYU *et al.*, 2015).

Na característica PMC, os anos 2010, 2011 e 2012 foram os que apresentaram vetores longos, superior à das progênies (Figura 3a). Já para PTC, foram os anos 2010 e 2011 (Figura 3b); e 2009, 2011 e 2012 para PTF (Figura 3c). Esses anos apresentaram fatores específicos que permitiram que a interação GxE pudesse gerar diferenças no comportamento das progênies, mais especificamente o ano de 2011, que apresentou o vetor mais longo entre todos os anos para PMC e PTC, possuindo maior poder discriminante e, considerando que o solo, o manejo, a adubação e a irrigação complementar foram semelhantes, resta apenas a precipitação total como fator ambiental que tenha maior influência nesta diferenciação. Já para PTF foi o ano 2010 que apresentou maior temperatura média.

Esse mesmo comportamento foi observado por Peprah *et al.* (2016) em produtividade de mandioca, com ambientes possuindo vetores mais longos que os genótipos,



**Figura 3** - O GGE Biplot para mostrar a capacidade de discriminação e representatividade dos ambientes de teste nas características peso médio dos cachos (a), peso total de cachos (b) e peso total de frutos (c) em progênies de açaizeiro. Anajás, PA.

*Figure 3* - GGE biplot of the discriminatory capacity and representativeness of test environments on the characteristic average weight of the bunches (a), total fruit weight (b) and total weight of the bunches (c) in assai palm progenies. Anajás, PA.

excetuando-se apenas um destes com vetor superior aos ambientes, já para número, peso e produtividade de amêndoas por planta em cajueiro, somente os ambientes, com vetores maiores, foram discriminantes (ALIYU *et al.*, 2014), não existindo genótipo mais discriminante que ambientes.

Uma segunda utilidade da Figura 3 é indicar ambientes que representam um comportamento médio de todos os ambientes em avaliação. Os anos 2009 e 2011, para PMC (Figura 3a), tiveram pequenos ângulos com EAM (eixo do ambiente-média), representando melhor o comportamento médio de todos os ambientes, sendo esses anos mais representativos que os demais. Para PTC (Figura 3b) e PTF (Figura 3c), foram os anos 2009 e 2010, estando mais próximos, portanto, da média de todos os ambientes envolvidos nesta pesquisa. Ideais para a seleção de progênies adaptadas, quando considerados isoladamente.

Os demais anos podem ser considerados discriminantes, contudo não representam o comportamento esperado da média geral, tendo utilidade para a seleção de progênies adaptadas especificamente naquelas condições (Figuras 3a, 3b e 3c). Assim, da mesma forma que em cajueiros (ALIYU

*et al.*, 2014), ocorreram ambientes distantes e aqueles mais próximos da média de todos os ambientes.

## CONCLUSÕES

As progênies G22 e G19 para PMC; G10 e G14 para PTC e G10 para PTF são as que mais se aproximam do ideótipo desejado pelo melhoramento genético;

Há a tendência de todas as progênies com maiores valores médios para a característica mostrarem menor estabilidade, com exceção da progênie G10 em PTC e PTF;

As variações ambientais de anos, principalmente em relação à precipitação pluviométrica, geram respostas diferenciadas das progênies, ocasionando pouca coincidência entre os materiais superiores identificados para cada característica avaliada;

O GGE Biplot permite verificar que o ano que melhor discrimina as progênies é 2011 para PMC e PTC e 2010 para PTF. Para aquele que seria um ambiente que representaria a média de todos os anos, tem-se o ano de 2009 em todas as características, havendo também 2010 em PTC.

## LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

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**. 2011;3:382-390. doi:10.5897/JPBCS11.050

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**. 2014;2:354-369. doi:10.9787/PBB.2014.2.4.354

- ARAÚJO, M. F. C.; ARAÚJO, L. B.; FARIA, P. N.; DIAS, C. T.S. Statistical test for genotype and environment contribution in the genotype and environment contribution in the genotypes  $\times$  environments interaction matrix. **Interciencia**. 2012;37:7:515-519. <<http://www.redalyc.org/pdf/339/33925376005.pdf>>
- CAMARGO-BUITRAGO, I.; INTIRE, E. Q. M.; GORDÓN-MENDOZA, R. Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genótipos superiores de arroz em Panamá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2011;46:9:1601-1069. doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900013
- CEPLAC Dados Agrometeorológicos. Disponível em: <[http://www.ceplacpa.gov.br/site/wp-content/uploads/2010/04/Dados%20climatologicos%20Tome\\_Assu%20.pdf](http://www.ceplacpa.gov.br/site/wp-content/uploads/2010/04/Dados%20climatologicos%20Tome_Assu%20.pdf)> Acesso em: 15 set. 2017.
- 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**. 2014;71:2:133-138. doi:10.1590/S0103-90162014000200007
- 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**. 2016;15:3:1-9. doi:10.4238/gmr.15038919
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.
- DEHGhani, 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**. 2012;92:1:77-85. doi.org/10.4141/cjps2010-046
- DIMENSTEIN, L.; FARIAS NETO, J. T. Dados preliminares para a produção de frutos em açaizeiros sob irrigação em terra firme no Estado do Pará. In: DIMENSTEIN, L; FARIAS NETO, JT. Irrigação e fertirrigação em fruteiras. Fortaleza: Instituto Frutal, 2008. p. 139-144.
- FARIAS NETO, J. T.; MÜLLER, A. A.; OLIVEIRA, M. S. P; ESPÍRITO SANTO, D. E.; SILVA, M. A. Variabilidade genética entre duas procedências de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martus). **Boletim de Pesquisa Florestal**. 2003;46:97-104. <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPf-2009-09/38559/1/pag-97\\_104.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPf-2009-09/38559/1/pag-97_104.pdf)>
- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P. Seleção simultânea em progênes de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2011;33:2:532-539. doi: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 progênes de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2008;30:4:1051-1056. doi:10.1590/S0100-29452008000400035
- GALATE, R. S.; MOTA, M. G. D. A. C; GAIA, J. M. D.; COSTA, M. D. O. S. S. Distância fenotípica entre matrizes de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) procedentes do nordeste do Pará. **Semina: Ciências Agrárias**. 2014;35:4:1667-1682. doi:10.5433/1679-0359.2014v35n4p1667
- GAUCH, HGA. Simple Protocol for AMMI Analysis of Yield Trials. **Crop Science**. 2013;53:5:1860-1869. doi:10.2135/cropsci2013.04.0241
- GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. **Crop Science**. 2008;48:3:866-889. doi: 10.2135/cropsci2007.09.0513
- HASSANPANAH, D. Analysis of G $\times$ E interaction by using the additive main effects and multiplicative interaction in potato cultivars. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**. 2010;4:23-29. doi:10.3923/ijpbg.2010.23.29
- 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**. 2015;33:2:139-155. <[aguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33\\_n2/A2\\_Resumo.pdf](http://aguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33_n2/A2_Resumo.pdf)>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2013. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. v. 28, 66 p.
- OHASHI, S. T.; KAGEYAMA, P. Y. Variabilidade genética entre populações de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) do estuário amazônico. In: Mourão L, Jardim MA; Grossmann M (eds). Açaí: possibilidade e limites em processos de desenvolvimento sustentável no estuário amazônico. Belém, CEJUP, 2004. p. 11-26.
- OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2003;38:357-364. doi:10.1590/S0100-204X2003000300004



- OLIVEIRA, M. S. P. de; FERNANDES, G. L. C. Repetibilidade de caracteres do cacho de açaizeiro nas condições de Belém, PA. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2001;23:613-216. doi:10.1590/S0100-29452001000300034
- 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**. 2016;9:8157-167. doi:10.5897/jpbcs2016.0581
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. 3.ed. Lavras: UFLA, 2012. 305 p.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>> Acesso em: 02 fev. 2017.
- SAS Institute Inc. 2012. SAS/STAT® 12.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- TEIXEIRA, D. H. L.; OLIVEIRA, M. S. P.; GONÇALVES, F. M. A.; NUNES, J. A. R. Correlações genéticas e análise de trilha para componentes da produção de frutos de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2012;34:4:1135-1142. doi.org/10.1590/S0100-29452012000400022
- VALENTE, M. A.; WATRIN, O. S.; CASTRO, A. R. C. Mapeamento Detalhado dos Solos da Fazenda Experimental da Embrapa Amazônia Oriental em Tomé-Açu, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 33 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 405).
- YAN, W.; KANG, M. S. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2003. 271 p.
- YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**. 2011;65:2:181-193. <<http://www.agr.gc.ca/eng/abstract/?id=22721000000661>>
- YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and Mega-environment investigation based on GGE biplot. **Crop Science**. 2000;40:3:597-605. doi:10.2135/cropsci2000.403597x
- YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**. 2006;86:3:623-645. doi.org/10.4141/P05-169
- YOKOMIZO, GK; FARIAS NETO, JT; OLIVEIRA, MSP. de. Ganho esperado na seleção de progênies de polinização aberta de Euterpe oleracea para produção de frutos. **Scientia Forestalis**. 2016;44:241-248. doi:10.18671/scifor.v44n109.23