



GGE biplot for stability and adaptability in cashew tree clones

GGE Biplot para estabilidade e adaptabilidade em clones de cajueiro

Gilberto Ken-Iti Yokomizo^{1*}, Francisco das Chagas Vidal Neto², Kuang Hongyu³, Levi de Moura Barros⁴

Abstract: The interaction genotype versus environment makes it difficult the genetic improvement of the species for the selection of more adapted and stable genotypes. Thus, the objective of this work was to evaluate new clones of early dwarf cashews, in terms of stability and adaptability, employing the GGE biplot methodology. The experimental design was based on randomized blocks with four replications and 15 treatments (different clones). The variables evaluated were cashew production per plant (PCP), average mass of chashew (MMC) and early harvest (PRE). The clones G1 and G3 for MMC, G15, G2, G14 and G8 for PRE and G3, G10 and G2 for PCP approached the ideotype; the clones identified as top for each characteristic were not coincident; the majority of the clones were stable for MMC, while for PRE and PCP were not stable; the clone G4 had the best average in PRE, but with low stability; in the GGE biplot the environments A3 for MMC, A4 to PRE and A5 for PCP were the most discriminating; all environments had greater contribution in the differentiation of clones in PRE and MMC, for PCP were the environments A4 and A5; in relation at the average representativeness the environments A1 in MMC and A2 for PRE and PCP stood out.

Key words: *Anacardium occidentale* L.. Interaction genotype versus environment. Plant breeding.

Resumo: A interação genótipos versus ambientes dificulta o melhoramento genético das espécies para a seleção de genótipos adaptados e estáveis. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar novos clones de cajueiro-anão precoce, quanto a estabilidade e adaptabilidade, empregando a metodologia Biplot GGE. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e 15 tratamentos (diferentes clones). As variáveis avaliadas foram produção de castanha por planta (PCP), massa média de castanha (MMC) e precocidade de colheita (PRE). Os clones G1 e G3 para MMC; G15, G2, G14 e G8 para PRE e, G3, G10 e G2 para PCP se aproximaram do ideótipo; os clones identificados como superiores para cada característica não foram coincidentes; a maioria dos clones foram estáveis para MMC, enquanto que para PRE e PCP não foram estáveis; o clone G4 teve a melhor média em PRE, mas com baixa estabilidade; no GGE Biplot os ambientes A3 para MMC, A4 para PRE e A5 para PCP foram os mais discriminadores; todos os ambientes tiveram maior contribuição na diferenciação dos clones em PRE e MMC, para PCP foram os ambientes A4 e A5 e; em relação a representatividade média os ambientes A1 em MMC e A2 para PRE e PCP se destacaram.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L.. Interação genótipos x ambientes. Melhoramento de plantas.

*Corresponding author

Submitted for publication on 14/03/2018 and approved 22/08/2018

¹Eng. Agrônomo, Doutor, Embrapa Amapá, Rod JK, 2600, Universidade, CEP: 68.903-419, Macapá, AP; gilberto.yokomizo@embrapa.br

²Eng. Agrônomo, Doutor, Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, Pici, CEP: 60.020-181, Fortaleza, CE; vidal.neto@embrapa.br

³Matemático, Doutor, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78060-900 Cuiabá-MT. kuang_hongyu@hotmail.com

⁴Eng. Agrônomo, Doutor, Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, Pici, CEP: 60.020-181, Fortaleza, CE; levi.barros@embrapa.br

INTRODUCTION

Cashew cultivation has high economic and social importance for the Northeast region of Brazil, because, in addition to obtaining foreign exchange by exporting its main products (almonds and cashew nut shell liquid), it generates more than 300, 000 jobs which are distributed in the agricultural, industrial and service sectors (VIANA *et al.*, 2016).

Brazilian production of cashew nuts reached 118,004 tons in 2017 with a harvested area of 607,379 hectares, the Northeast region being responsible for 98.7% of production. Ceará state stands out as the largest producer in Brazil, with an annual production of 42,597 tons, followed by Rio Grande do Norte with 33,912 tons (IBGE, 2018).

The cashew has genetic variability divided according to the plant weight; it may be common or dwarf. The common type, which cultivated the most, presents a height of between 8 and 15 m, and a crown diameter reaching between 12 and 16 m and heterogeneous crown format. The cashew yield per plant varies from less than 1 kg to 100 kg per harvest. The dwarf type has a short stature, height of less than 4 m, crown format homogeneous, both diameter from stem and crown lower than the common type, flowering that starts between 6 and 18 months (early) and maximum productivity of 43 kg per plant, but with greater productive capacity in relation to the cashew by having the largest number of plants per area (BARROS, 1988).

There are several initiatives of the plant breeding research involving cashews, whose efforts require viable tools to evaluation, with agility and employing representative sampling, the main characteristics of fruit quality of cashew, helping the programs of selection of cultivars (RIBEIRO *et al.*, 2016).

The interaction of genotype versus environment (GxE) is one of the biggest challenges in plant breeding, particularly with regard to selecting cultivars when stable genotypes with good performance in terms of a particular characteristic are typically required' (RAMALHO *et al.*, 2012; CRUZ *et al.*, 2014).

The presence of the interaction GxE causes the need to study more carefully the adaptability and genotypic stability of different genetic materials involved in the research, in order to predict the behavior of these genotypes in later generations. The cited interaction complicates the selection process and, it is usually expressed as inconsistent responses of some genotypes in relation to others. The interaction GxE can to change the genotypic classification, or to change the absolute differences between genotypes without change of classification (ARAÚJO *et al.*, 2012; GAUCH, 2013).

INTRODUÇÃO

O cultivo do cajueiro possui elevada importância econômica e social para o Nordeste brasileiro, pois, além de obter divisas externas pela exportação de seus principais produtos (amêndoas e líquido da casca da castanha), gera mais de 300 mil empregos, distribuídos nos setores agrícolas, industrial e de serviços (VIANA *et al.*, 2016).

A produção brasileira de amêndoas de caju atingiu 118.004 toneladas em 2017, com área colhida de 607.379 hectares, sendo a região Nordeste responsável por 98,7% da produção. O estado do Ceará destaca-se como o maior produtor brasileiro, com produção de 42.597 toneladas, seguido por Rio Grande do Norte com 33.912 toneladas (IBGE, 2018).

O cajueiro possui variabilidade genética dividida de acordo com o porte, sendo comum ou anão. O tipo comum, mais cultivado, apresenta altura entre 8 e 15 m e envergadura da copa atingindo entre 12 e 16 m e copa heterogênea. A produtividade de castanha por planta varia de menos de 1 até 100 kg por safra. O tipo anão possui porte baixo, altura inferior a 4 m, copa homogênea, diâmetro do caule e envergadura inferiores ao do tipo comum, florescimento iniciado entre 6 e 18 meses (precoce) e produtividade máxima de 43 kg por planta, mas com capacidade produtiva maior em relação ao cajueiro comum pelo maior número de plantas por área (BARROS, 1988).

Há diversas iniciativas de pesquisas envolvendo o cajueiro, cujos esforços exigem ferramentas viáveis para avaliar, com agilidade e empregando amostragem representativa, as principais características de qualidade dos frutos de caju, ajudando os programas de seleção de cultivares (RIBEIRO *et al.*, 2016).

A interação genótipos *versus* ambientes (GxA) é um dos maiores desafios no melhoramento de plantas, tanto nos procedimentos de seleção quanto na recomendação de cultivares, sendo que normalmente se procura por genótipos estáveis e com melhor desempenho em relação a um determinado caráter (RAMALHO *et al.*, 2012; CRUZ *et al.*, 2014).

A presença da interação GxA gera a necessidade de avaliar a adaptabilidade e estabilidade genotípica e a predição em gerações posteriores, pois a sua manifestação complica o processo de seleção e normalmente é expresso como respostas inconsistentes de alguns genótipos em relação a outros, devido à mudança de classificação genotípica, ou como mudanças nas diferenças absolutas entre genótipos sem mudança de classificação (ARAÚJO *et al.*, 2012; GAUCH, 2013).

Studies of the GxE interaction in cashew trees are scarce in Brazil. Therefore, it is necessary to undertake analysis of adaptability and stability, allowing identification of genotypes with predictable behaviors in relation to the productive characteristics and which are responsive to environmental variations, because the presence of this interaction difficult the selection of these genotypes (CAMARGO-BUITRAGO *et al.*, 2011; GAUCH, 2013). Thus, selection based on stability and adaptability may be better than using production as the only selection criterion (RESENDE, 2007).

Among the most recent methodologies used for the evaluation of adaptability and stability, the GGE biplot model stands out, as proposed by Yan *et al.* (2000). That considers the genotype main effect sum with the genotype versus environment interaction, being indicated for identification of the mega-environments, to representative and discriminatory environments selection and an to indication of the most adapted and stable genotypes to specific environments (GAUCH *et al.*, 2008; YAN, 2011), enabling inferences regarding the genetic materials and environments performance, with ease in the data view (YAN *et al.*, 2000; HASSANPANA, 2010).

Based on this information, this study aimed to evaluate the agronomic performance of cashew tree clones in the city of Aracati, Ceará. Specifically, the objectives were to identify, from graphical analysis using the GGE biplot, the more responsive clones and those associated with levels of existing environmental variation.

MATERIAL AND METHODS

A 1.8-ha orchard of dwarf cashews was established on 22 February 2000 at Olho D'água Farm, located at 71 km in the BR 304 highway, belonging to the city of Aracati, CE. The soil of the area is classified into Neosol Quartzeneic. During the first year of growth, until the plants were established, all cultivations were conducted in accordance with recommendations for commercial growing of cashew nuts, including watering during critical periods of drought.

The experimental design was based on randomized blocks with four replications. The genetic material consisted of 15 new clones of early dwarf cashew (treatments), identified in Table 1, with good potential for cashew production and pseudo fruit, preliminarily selected. Justifying the presentation of these results since many of these clones are still considered exceptional even today.

Estudos de interação GxA em cajueiros são escassos no Brasil. Assim, faz-se necessário realizar análises de adaptabilidade e estabilidade produtiva, permitindo identificar genótipos com comportamento previsível em relação as características produtivas e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas, pois a presença desta interação dificulta a seleção destes genótipos (CAMARGO-BUITRAGO *et al.*, 2011; GAUCH, 2013). Dessa forma, métodos de seleção que incorporam a estabilidade e a adaptabilidade em uma única estatística podem ser considerados superiores, em comparação àqueles que usam apenas a produção como critério de seleção (RESENDE, 2007).

Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, dentre as metodologias mais recentes, destaca-se o modelo GGE Biplot, proposto por Yan *et al.* (2000), que considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipo e ambiente, sendo indicado 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), possibilitando inferências quanto ao desempenho dos materiais genéticos e ambientes, com facilidade na visualização dos dados (YAN *et al.*, 2000; HASSANPANA, 2010).

Com base nestas informações, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico de clones de cajueiros, no município de Aracati, Ceará, visando identificar, por meio de análises gráficas pelo GGE Biplot, os mais responsivos e associados aos níveis de variação ambiental existentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Um pomar de cajueiro anão, com 1,8 ha, foi estabelecido em 22 de fevereiro de 2000, na Fazenda Olho D'água, localizada no km 71 da BR 304, no Município de Aracati, CE. O solo da área é classificado em Neosolo Quartzarênico. Até o estabelecimento das plantas, no primeiro ano, foram realizados todos os tratos culturais, de acordo com a recomendação para o plantio comercial de caju, bem como suplementação de água, nos momentos críticos de seca.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. O material genético constou de 15 novos clones de cajueiro-anão precoce (tratamentos), identificados na Tabela 1, com bom potencial de produção de castanha e pseudofruto, preliminarmente selecionadas, havendo a presença de materiais genéticos considerados excepcionais ainda na atualidade.

Table 1 - Identity of cashew tree clones used in the experiment

Tabela 1 - Identificação dos clones de cajueiro utilizados no experimento

Clone	Number	Clone	Number	Clone	Number
CAPI 1	G1	CAPI 14	G6	PRO 761/2	G11
CAPI 7	G2	H 9692-2	G7	PRO 805/2	G12
CAPI 11	G3	H 9892-2	G8	PRO 843/1	G13
CAPI 11V	G4	PRO 553/2	G9	AA 112/3	G14
CAPI 12	G5	PRO 555/1	G10	CCP 76	G15

In the period 2002 to 2006, when the plants had completed two years of growth the following characteristics were evaluated: productivity of cashew nuts per plant (PCP), in kilograms; average mass of the cashew nuts (MMC), in grams, obtained after processing of cashew, from a sample with 3 kg of chestnuts per clone, in the factory-school of the Embrapa Tropical Agroindustry; and early harvest (PRE), in stepped yields in a crop, represents the percentage of the first harvest in the quantity of fruits in relation to total harvest.

In statistical treatment of the data, including the analysis of variance beds per year and joint of the years. The agricultural years 2002 to 2006 were regarded as different environments in the model, corresponding to the environments A1, A2, A3, A4 and A5. Climatological data for these environments were obtained from INMET (2018) and are presented in Table 2. The GGE biplot method was used for data analysis, which considers the effect of the genotype and the interaction between genotype and years (YAN *et al.*, 2000). In this method, only the main effect of genotype and of G×A are important and are considered concomitantly. The GGE biplot model is based on the following formula: $Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 \epsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \epsilon_{i2} \rho_{j2} + \epsilon_{ij}$

where Y_{ij} represents the average income of the *i*th population in the *j*-th year; \bar{y}_j is the general average of populations in year *j*; $y_1 \epsilon_{i1} \rho_{j1}$ is the first principal component (IPCA1); $y_2 \epsilon_{i2} \rho_{j2}$ is the second major component (IPCA2); y_1 and y_2 are the eigenvalues associated with IPCA1 and IPCA2, respectively; ϵ_{i1} and ϵ_{i2} are the scores of the first and second main component, respectively, of the *i*-th population; ρ_{j1} and ρ_{j2} are the scores of the first and second main component, respectively, for the *j*-th year; and ϵ_{ij} is the error of the model associated with *i*-th population and *j*-th year (YAN; KANG, 2003). The GGE biplot analysis was performed using the GGE biplot GUI package in the R statistical program (R CORE TEAM, 2016).

No período de 2002 a 2006, quando os clones completaram dois anos, foram avaliadas as seguintes características: produtividade de castanhas por planta (PCP), em quilogramas; massa média das castanhas (MMC), em gramas, obtida após beneficiamento da castanha, a partir de uma amostra com 3 kg de castanhas por clone, na fábrica-escola da Embrapa Agroindústria Tropical; e precocidade (PRE), quantidade relativa que a primeira colheita representa do total colhido na safra, em porcentagem.

O tratamento estatístico dos dados, incluindo-se as análises de variância individuais por ano e conjunta dos anos. Os anos agrícolas de 2002 a 2006 foram considerados como diferentes ambientes no modelo, correspondendo aos ambientes: A1, A2, A3, A4 e A5, cujos dados climatológicos obtidos de INMET (2018) são apresentados na Tabela 2.

Para análise dos dados foi empregado o método GGE Biplot, que considera o efeito do genótipo e da interação entre genótipos e anos (YAN *et al.*, 2000). Neste método, apenas o efeito principal de genótipo e da G×A são importantes e considerados concomitantemente. O modelo GGE biplot é o seguintes: $Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 \epsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \epsilon_{i2} \rho_{j2} + \epsilon_{ij}$

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*; $y_1 \epsilon_{i1} \rho_{j1}$ é o primeiro componente principal (IPCA1); $y_2 \epsilon_{i2} \rho_{j2}$ é o segundo componente principal (IPCA2); y_1 e y_2 são os autovalores associados ao IPCA e IPCA2, respectivamente; ϵ_{i1} e ϵ_{i2} são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, da *i*-ésima população; ρ_{j1} e ρ_{j2} são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o *j*-ésimo ano; ϵ_{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 com o pacote GGE Biplot GUI no programa estatístico R (R CORE TEAM, 2016).

Table 2 - Climatological averages for the years 2002 to 2006 in Aracati, CE
Tabela 2 - Médias climatológicas entre os anos de 2002 a 2006 em Aracati, CE

Year	2002	2003	2004	2005	2006
P anual	773.00	999.80	1008.30	493.30	934.90
Tma	33.10	33.56	33.20	34.07	33.35
Tme	27.21	27.46	27.36	27.92	27.53
Tmi	22.76	22.96	23.00	23.29	23.17
UR%	75.41	72.71	72.25	68.52	71.66

P anual: total annual rainfall (mm); Tma: annual average maximum temperature based on monthly (°C); Tme: annual average temperature based on monthly (°C); Tmi: annual average minimum temperatures based on monthly °C; RH%: relative humidity average for the year (%).

P anual: precipitação total anual, em mm; Tma: média das temperaturas máximas no ano, em °C; Tme: temperatura média anual, em °C; Tmi: médias das temperaturas mínimas no ano, em °C; UR%: umidade relativa média do ano, em %.

RESULTS AND DISCUSSION

The GGE biplot analysis is presented in Table 3, in which the cumulative percentage of the variation explained by the first two axes was near 80% in PRE and greater than 96% in MMC and PCP. These values provide high reliability in the explanation of total variation in clone performance, adding the genotype versus year interaction (G + GxE). In this way, the responses of the clones can be explained by the standard withheld in graphical analysis, making it easier to view and interpret the data from both genetic material and years of evaluation.

The accumulated variation explained by first two axes was higher for MMC and PCP and lower for PRE (Table 3), when compared with the average mass per fruit and number of fruits per plant in melons (DEHGHANI *et al.*, 2012), productivity in cassava genotypes (PEPRAH *et al.*, 2016), and number of almonds, yield and weight of kernels in cashews (ALIYU *et al.*, 2014). The PRE values were close to those observed in the characteristics of fruit production in assai palm trees (YOKOMIZO *et al.*, 2017; FARIAS NETO *et al.*, 2018).

In Figure 1 (“which-won-where”), which contains the analysis of mega-environments, the grouping of genetic material is shown. This shows in which environments the dwarf cashew clones showed a better performance and allows the possible existence of distinct mega-environments in a region to be defined. In the evaluation, the 15 clones were identified as G1 to G15 and the five environments as A1 to A5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise GGE Biplot é apresentada na Tabela 3, onde o percentual acumulado da variação explicada pelos dois primeiros eixos foi próximo de 80% em PRE e superior a 96% em MMC e PCP. Tais valores conferem elevada confiabilidade na explicação da variação total do desempenho dos clones, mais a interação com o ano (G+GxA), desta forma, as respostas dos clones podem ser explicadas pelo padrão retido nas análises gráficas, facilitando a visualização e interpretação dos dados tanto do material genético como dos anos de avaliação.

O acumulado nos eixos foi superior para MMC e PCP e inferior para PRE (Tabela 3), quando comparado com a massa média por fruto e número de frutos por planta de melão (DEHGHANI *et al.*, 2012); produtividade em genótipos de mandioca (PEPRAH *et al.*, 2016); e número de amêndoas, produtividade e peso de amêndoas em cajueiros (ALIYU *et al.*, 2014). Já os valores de PRE foram próximos aos observados em características de produção de frutos em açaizeiros (YOKOMIZO *et al.*, 2017; FARIAS NETO *et al.*, 2018).

Na Figura 1 (“which-won-where”), que contém a análise de mega-ambientes, tem-se o agrupamento dos materiais genéticos e estabelece em qual ou quais ambientes os clones de cajueiro anão apresentam melhor desempenho, permitindo definir a possível existência de distintos mega-ambientes em uma região. Na avaliação, os 15 clones foram identificados de G1 a G15 e os cinco ambientes como A1 a A5.

Table 3 - Singular value and accumulated explained variation in four principal components (PCs) in three characteristics of cashew tree clones. Aracati, CE*Tabela 3* - Valor singular e proporção explicada, considerando os quatros componentes principais (PCs), em três características de clones de cajueiros. Aracati, CE

Characteristic	Parameters	Components Axes			
		PC1	PC2	PC3	PC4
MMC	Singular value	20.386	5.757	3.183	1.983
	Explained variation (%)	89.470	7.140	2.180	0.840
PRE	Singular value	83.424	45.880	40.187	18.822
	Explained variation (%)	61.230	18.520	14.210	3.120
PCP	Singular value	5.040	3.115	0.919	0.668
	Explained variation (%)	69.570	26.580	2.310	1.220

MMC: average mass of the cashew nuts, in grams; PRE: early harvest; PCP: productivity of cashew nuts per plant, in kilograms.

MMC - massa média das castanhas (g); PRE - precocidade de colheita (%) e PCP - Produção de castanhas por planta (kg).

In Figure 1a, the vertices of the polygon for MMC were formed by the clones G1, G3, G10, G13 and G15. The lines with the biplot origin divided the five environments into the following two groups: (i) containing the environments A1, A2, A4 and A5; and (ii) containing A3, which presented the highest rainfall. For PRE (Figure 1b), the clones G3, G4, G10, G11 and G15 were the vertices of the polygon. The lines divided the environments into two groups: (i) containing A1, A2 and A4; and (ii) with A3 and A5. In PCP (Figure 1c), the vertices were formed by the clones G2, G3, G4, G7 and G12. The environments were divided into two groups by lines: (i) containing A1, A2, A3 and A5; and (ii) containing A4, which had the lowest rainfall. Therefore, for the three characteristics, the clones were distributed in two mega-environments

The prevalence of the division into two mega-environments was similar to that observed for fruit production of peaches over three years by Citadin *et al.* (2014), number, mass and productivity of cashew nuts per plant by Aliyu *et al.* (2014), and bunches of assai palm trees by Yokomizo *et al.* (2017). A few clones did not fit into any mega-environment (Figures 1a, 1b and 1c). In this study, the cashew tree clones showed a tendency for a higher percentage of clones to be within the mega-environments defined. In strawberry, for productivity, there has already been a distinct behavior in which each site composed a mega-environment (COSTA *et al.*, 2016), as well as in cassava (PEPRAH *et al.*, 2016), in pear tree (BARBOSA *et al.*, 2018) and assai palm trees for fruit yield with the presence of three mega-environments (FARIAS NETO *et al.*, 2018). It may be observed that with the amount of environments studied, the formation of mega-environments is distinct, depending on the type of environments and the characteristics evaluated.

Na Figura 1a os vértices do polígono foram formados para MMC pelos clones: G1, G3, G10, G13 e G15. As linhas com origem do Biplot dividiram os cinco ambientes em dois grupos: (i) contendo os ambientes A1, A2, A4 e A5; e (ii) contendo A3, que apresentou maior pluviosidade. Para PRE (Figura 1b), os clones G3, G4, G10, G11 e G15 constituíram os vértices do polígono. As linhas dividiram os ambientes nos grupos, (i) contendo A1, A2 e A4; e (ii) com A3 e A5. Em PCP (Figura 1c), os vértices foram formados pelos clones: G2, G3, G4, G7 e G12. Os ambientes foram divididos nos grupos pelas linhas, sendo: (i) contendo A1, A2, A3 e A5 e; (ii) contendo A4, que teve a menor pluviosidade. Portanto para as três características, os clones se distribuíram em dois mega-ambientes.

A prevalência da divisão em dois mega-ambientes foi semelhante ao observado para produção de frutos de pêssego, em três anos, por Citadin *et al.* (2014); em número, massa e produtividade de amêndoas por planta em cajueiros, por Aliyu *et al.* (2014), em cachos de açazeiros, por Yokomizo *et al.* (2017). Poucos clones não se enquadraram em nenhum mega-ambiente (Figuras 1a, 1b e 1c). Nesse estudo, os clones de cajueiros apresentaram a tendência de uma porcentagem maior de clones estarem dentro dos mega-ambientes definidos. 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), em pereira (BARBOSA *et al.*, 2018) e em açazeiros para produtividade de frutos com a presença de três mega-ambientes (FARIAS NETO *et al.*, 2018). Podendo-se observar que com o quantitativo de ambientes trabalhados, a formação de mega-ambientes é distinta, em função da espécie, dos ambientes e das características avaliadas.

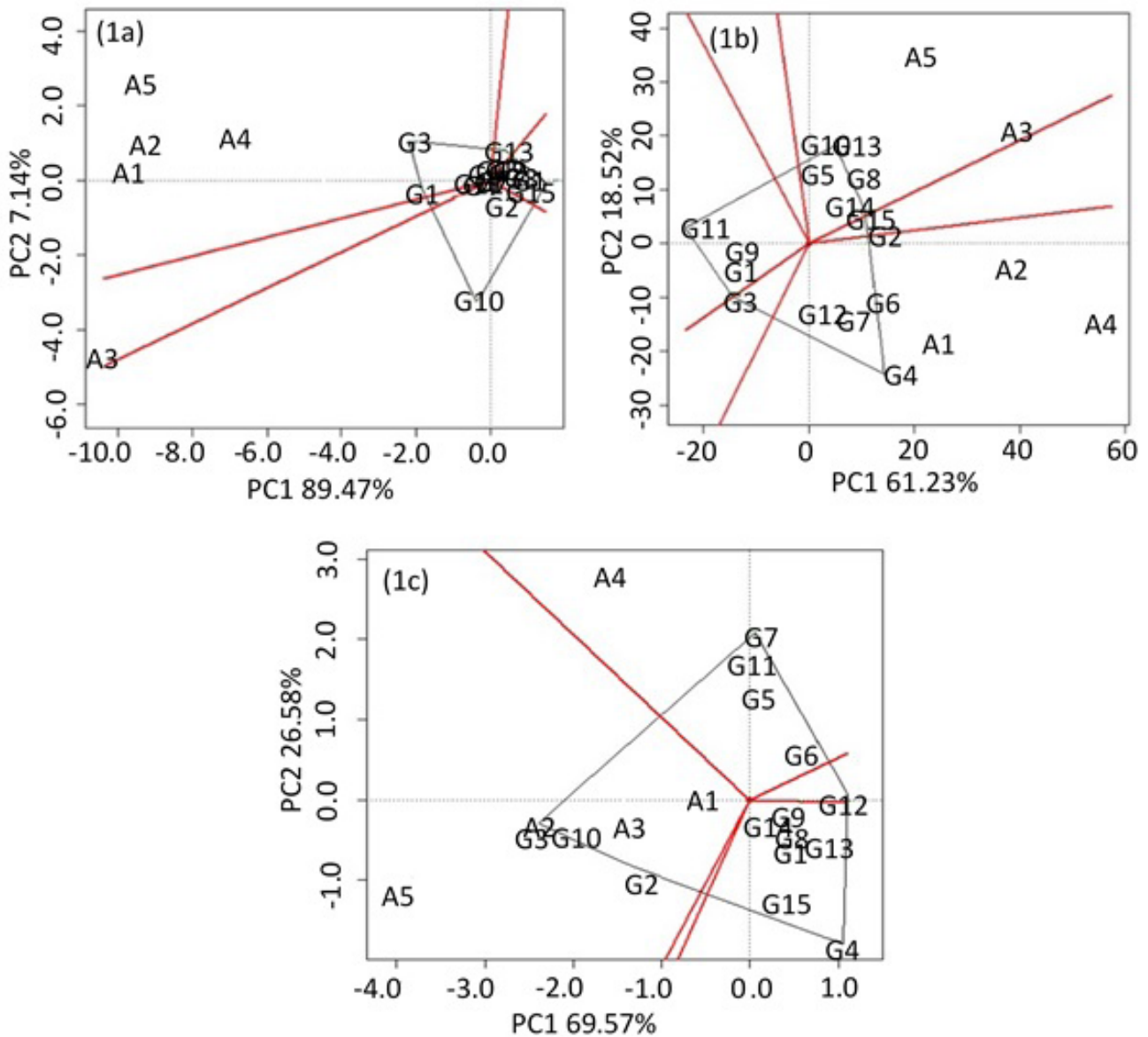


Figure 1 - Performance of 15 dwarf cashew clones in five environments using the GGE biplot (“which-won-where”) in terms of the characteristics average mass of the cashew nuts (MMC, 1a), early harvest (PRE, 1b) and production of cashew nuts per plant (PCP, 1c).

Figura 1 - Desempenho de 15 clones de cajueiro anão em cinco ambientes, empregando GGE Biplot (“Which-won-where”), para as características massa média das castanhas (MMC, 1a), precocidade de colheita (PRE, 1b) e produção de castanhas por planta (PCP, 1c).

Those clones that are situated at the vertices of each sector show a better performance in the environments. Based on this information, for MMC, the clone G3 was the best in the sector composed of environments A1, A2, A4 and A5, followed by G1. For environment A3, which had the highest rainfall, no clone is highlighted (Figure 1a). For PRE, the clone G4 is highlighted for the environments A1, A2 and A4, and G13 for the environments A3 and A5 (Figure 1b). The clone G3 showed the best performance in environments A1, A2, A3 and A5 for PCP, followed by G10. With regard to environment A4, with lower rainfall, clone 7 is highlighted (Figure 1c). The clones that are not in close proximity to any environment are those that had a poorer performance in all environmental conditions.

Figures 1a, 1b and 1c show the existence of clones with better adaptability to certain environments, by proximity, but the majority presented intermediate performance and absence of adaptability to any specific environment. In relation to the observed behavior, the presence of clones adapted specifically to certain environments or seasons is expected fact, also occurring in cashews (ALIYU *et al.*, 2014), and in other species, such as peach (CITADIN *et al.*, 2014), strawberry (COSTA *et al.*, 2016), cassava (PEPRAH *et al.*, 2016), and assai fruit (YOKOMIZO *et al.*, 2017; FARIAS NETO *et al.*, 2018). This is different in comparison to the productivity of pear trees, in which no cultivar showed specificity in any year (BARBOSA *et al.*, 2018). The results show that in a group of genotypes containing variability, there will be those with adaptability to specific environments.

Figures 2a, 2b and 2c illustrate an important concept in relation to stability. The term “high stability” assumes great importance when associated with higher average performance. A stable genotype associated with high average performance is desired (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011), representing the so-called “ideotype”. Therefore, an ideotype is an ideal plant or genotype shape from a particular set of clones for particular years, representing the desired objective, with high performance and high stability. The visualization of the GGE biplot “Average versus Stability” is an effective tool for the evaluation of genotypes in both aspects (YAN *et al.* 2007; YAN, 2011) and, in this case, it identified those that are close to the ideotype. In Figure 2, the small circle represents the “average-environment” and is defined by the average co-ordinates for all test environments in the biplot.

The clones that are above, in a positive direction, of the center of the concentric circles in the EAM axis, which represents the average environment, at the Figure 2 are those with the highest performance. Therefore, the clones located closer to or above the center of the concentric circles are more desirable than those that are more distant in the negative sense.

Aqueles clones que se situam nos vértices de cada setor são de melhor desempenho nos ambientes. Baseado nesta informação, para MMC, o clone G3 foi o melhor no setor composto pelos ambientes A1, A2, A4 e A5, seguido pelo G1. No ambiente A3, que foi o de maior pluviosidade, nenhum clone se destacou (Figura 1a). Para PRE, o clone G4 se destacou para os ambientes A1, A2 e A4 e G13 para os ambientes A3 e A5 (Figura 1b). O clone G3 foi o melhor nos ambientes A1, A2, A3 e A5 para PCP, portanto, seguido por G10. No ambiente A4, com menor pluviosidade, o clone 7 se destacou (Figura 1c). Os clones que não estão em proximidade com qualquer ambiente são os que apresentaram desempenho inferior em todas as condições ambientais.

Nas Figuras 1a, 1b e 1c pode se observar que houve a existência de clones com melhor adaptabilidade a determinados ambientes, pela proximidade, mas a maioria apresentou desempenho intermediário e ausência de adaptabilidade específica a qualquer ambiente. No tocante ao comportamento observado, a presença de clones adaptados especificamente a determinados ambientes ou épocas é um fato esperado, também ocorrendo em cajueiro (ALIYU *et al.*, 2014) e, em outras espécies como em pêssego (CITADIN *et al.*, 2014), morangueiro (COSTA *et al.*, 2016), mandioca (PEPRAH *et al.*, 2016), frutos de açaizeiro (YOKOMIZO *et al.*, 2017; FARIAS NETO *et al.*, 2018). Diferentemente em comparação a produtividade de pereiras onde nenhuma cultivar apresentou especificidade com qualquer ano (BARBOSA *et al.*, 2018). Mostrando que em um grupo de genótipos contendo variabilidade, haverá aqueles com adaptabilidade a ambientes específicos.

As Figuras 2a, 2b e 2c ilustram um conceito importante em relação à estabilidade. O termo “estabilidade elevada” assume grande importância quando associado ao desempenho médio superior; o genótipo estável é desejado quando associado a alta performance média (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011), compondo o denominado ideótipo. Portanto um “ideótipo” é uma forma ideal de planta ou genótipo neste conjunto de clones e anos, representando o objetivo almejado, com alto desempenho médio e alta estabilidade. A visualização do GGE Biplot “Média versus Estabilidade” é uma ferramenta eficaz para a avaliação de genótipos em ambos os aspectos (YAN *et al.* 2007; YAN, 2011) e neste caso identificar aqueles que se aproximam do ideótipo. Na Figura 2, o pequeno círculo representa o “ambiente-média” e é definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes de teste no biplot.

Os clones que estão sobre ou acima no sentido positivo ao centro dos círculos concêntrico no eixo EAM da Figura 2, são aqueles com mais alto desempenho. Portanto, os clones localizados mais próximos ou acima do centro dos círculos concêntricos são mais desejáveis do que aqueles que estão mais distantes no sentido negativo.

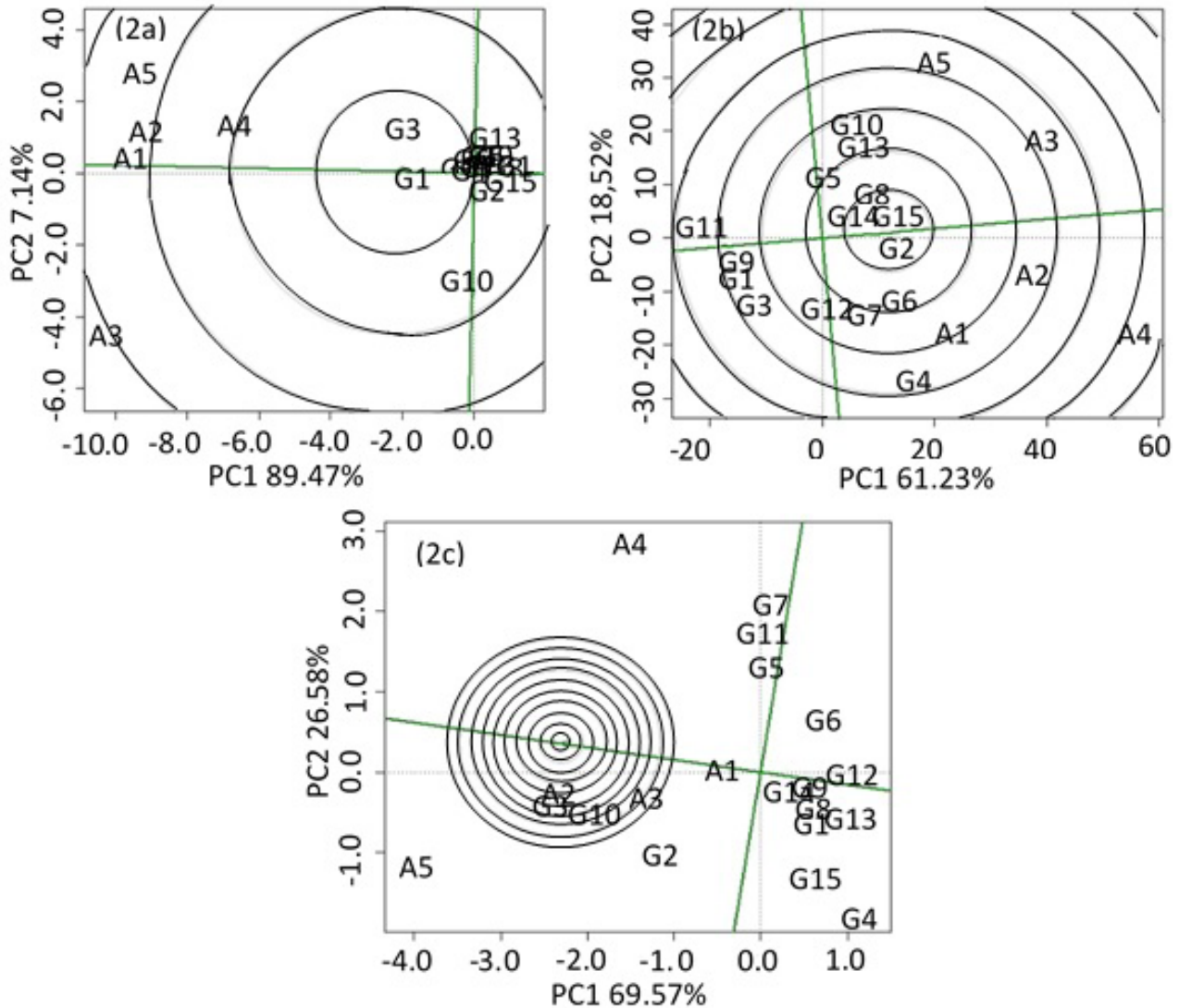


Figure 2 - Classification of 15 clones of dwarf cashew in five environments using the GGE biplot in relation to the ideotype (center of the concentric circles) for the characteristics of average mass of the cashew nuts (MMC, 2a), early harvest (PRE, 2b) and production of cashew nuts per plant (PCP, 2c).

Figura 2 - Classificação de 15 clones de cajueiro anão em cinco ambientes, pelo GGE Biplot em relação ao ideótipo (centro dos círculos concêntricos), para as características massa média das castanhas (MMC, 2a), precocidade de colheita (PRE, 2b) e produção de castanhas por planta (PCP, 2c).

Thus, for the characteristic MMC, G1 was the clone closest to the ideal in this data set, followed by G3 (Figure 2a); for PRE, clone G15 was the closest, followed by G2, G14 and G8 (Figure 2b); for PCP, G3 was the closest, followed by G10 and G2 (Figure 2c). It appears that the clone G2 was among the superior clones for characteristics related to production. Highlighting that most of the clones were consistent in stability, however not associated good averages in the evaluated characteristics, and is therefore distant from being considered as ideotypes. Aliyu *et al.* (2014), in an evaluation of cashew trees, also identified only two clones that were the closest to the ideotype. This was different in assai palm trees in terms of characteristics of bunches (YOKOMIZO *et al.*, 2017) and fruit yield (FARIAS NETO *et al.*, 2018), where lower proximity of genetic material to the ideotype was observed.

An evaluation of the test environments has as objective of identifying which environments can be used to select superior genotypes effectively to a mega-environment. The vector of the test environment selected need to be longer than the vector of the genotypes; it must also result in greater discrimination of genotypes and representativeness in relation to other environments. Environments with short vectors are less discriminating so that all the genotypes become similar and therefore should not be used as test environments (HONGYU *et al.*, 2015).

In the characteristic MMC, all environments presented long vectors, meaning that they were more discriminating in relation to clones (Figure 3a). However environment A3, with higher rainfall, stood out for presenting the longest vector among the environments. To PRE the vectors of all environments also were longest in relation at the clones (Figure 3b). Environment A4, with the lowest rainfall and highest temperatures, possessed a greater capacity for discrimination. In terms of PCP, the environment with greatest power for discrimination of clones was A5; this had rainfall and temperatures that were similar to average of the all environments (Figure 3c). In general, all environments can distinguish the behavior of the genetic material, similar to that observed by Peprah *et al.* (2016) for productivity characteristics in cassava, with most environments possessing vectors longer than the genotypes, but with some exceptions. With regard to the characteristics of kernel number, weight and yield per plant in cashews (ALIYU *et al.*, 2014), bunch characteristics in assai palms (YOKOMIZO *et al.*, 2017), assai palm fruits (FARIAS NETO *et al.*, 2018) and pears (BARBOSA *et al.*, 2018), all the environments were discriminating, without any genotype with a longer vector.

Assim, G1, para a característica MMC foi o clone mais próximo do ideal neste conjunto de dados, em seguida tem-se G3 (Figura 2a); para PRE foi o clone G15, seguido por G2, G14 e G8 (Figura 2b) e; para PCP foi G3, seguido por G10 e G2 (Figura 2c). Verifica-se que o clone G2 esteve entre os superiores nas características relacionadas a produção. Ressaltando que a maioria dos clones foram consistentes na estabilidade, contudo não associaram boas médias nas características avaliadas, estando, portanto, distantes de serem considerados como ideótipos. Os autores Aliyu *et al.* (2014), avaliando cajueiros, também conseguiram identificar apenas dois clones como os mais próximos ao ideótipo, de forma distinta em açazeiros, Yokomizo *et al.* (2017) em características de cachos e Farias Neto *et al.* (2018) em produtividade de frutos, observaram menor proximidade dos materiais genéticos ao ideótipo.

Na avaliação do ambiente de teste tem-se como objetivo identificar aqueles que podem ser utilizados para selecionar genótipos superiores de forma eficaz para um mega-ambiente. O ambiente de teste selecionado possui vetor mais longo que o dos genótipos, também deve apresentar maior discriminação dos genótipos e representatividade em relação aos demais ambientes. Os ambientes com vetores curtos são menos discriminantes, o que significa que todos os genótipos se tornam semelhantes, portanto, não devem ser utilizados como ambientes de teste (HONGYU *et al.*, 2015).

Na característica MMC, todos os ambientes apresentaram vetores longos, significando que são mais discriminantes em relação aos clones (Figura 3a), contudo o ambiente A3, com maior pluviosidade, se destacou apresentando o vetor mais longo dentre os ambientes, semelhantemente quanto aos vetores de todos os ambientes foi observado para PRE (Figura 3b), contudo o ambiente A4, o de menor pluviosidade e maiores temperaturas, possuiu maior capacidade de discriminação e; em PCP o ambiente com maior poder de discriminação de clones foi A5, que teve pluviosidade e temperaturas na média dentre todos os ambientes (Figura 3c). No geral todos os ambientes conseguem distinguir o comportamento dos materiais genéticos, semelhantemente ao observado por Peprah *et al.* (2016) para a característica produtividade em mandioca, com a maioria dos ambientes possuindo vetores mais longos que os genótipos, existindo algumas exceções. Já para as características número, peso e produtividade de amêndoas por planta em cajueiro (ALIYU *et al.*, 2014), em características de cachos de açazeiro (YOKOMIZO *et al.*, 2017), de frutos de açazeiros (FARIAS NETO *et al.*, 2018) e em pereiras (BARBOSA *et al.*, 2018) todos os ambientes foram discriminantes, sem qualquer genótipo com vetor mais longo.

Figure 3 can also be used to indicate the environment(s) that can represent all the others. To MMC characteristic the test environments A1 and A2 (Figure 3a), which had lower angles with EAM (axis of environment-average), are the most representative environments. While that for PRE, environment A2 (Figure 3b) was most representative and, for the PCP characteristic (Figure 3c), A1 and A2 were most representative. These test environments have combined the capacity for discrimination and representativeness, ideal for the selection of adapted clones.

Uma segunda utilidade da Figura 3 é indicar ambiente(s) que consiga(m) representar todos os demais. Os ambientes de teste A1 e A2, na Figura 3a, correspondente a característica MMC, que tiveram menores ângulos com EAM (eixo do ambiente-média) são os ambientes mais representativos. Enquanto que para PRE foi o ambiente A2 (Figura 3b). Na característica PCP (Figura 3c) foram os ambientes de teste A1 e A2. Estes ambientes de teste conjugaram a capacidade de discriminação e representatividade, ideais para a seleção de clones adaptados.

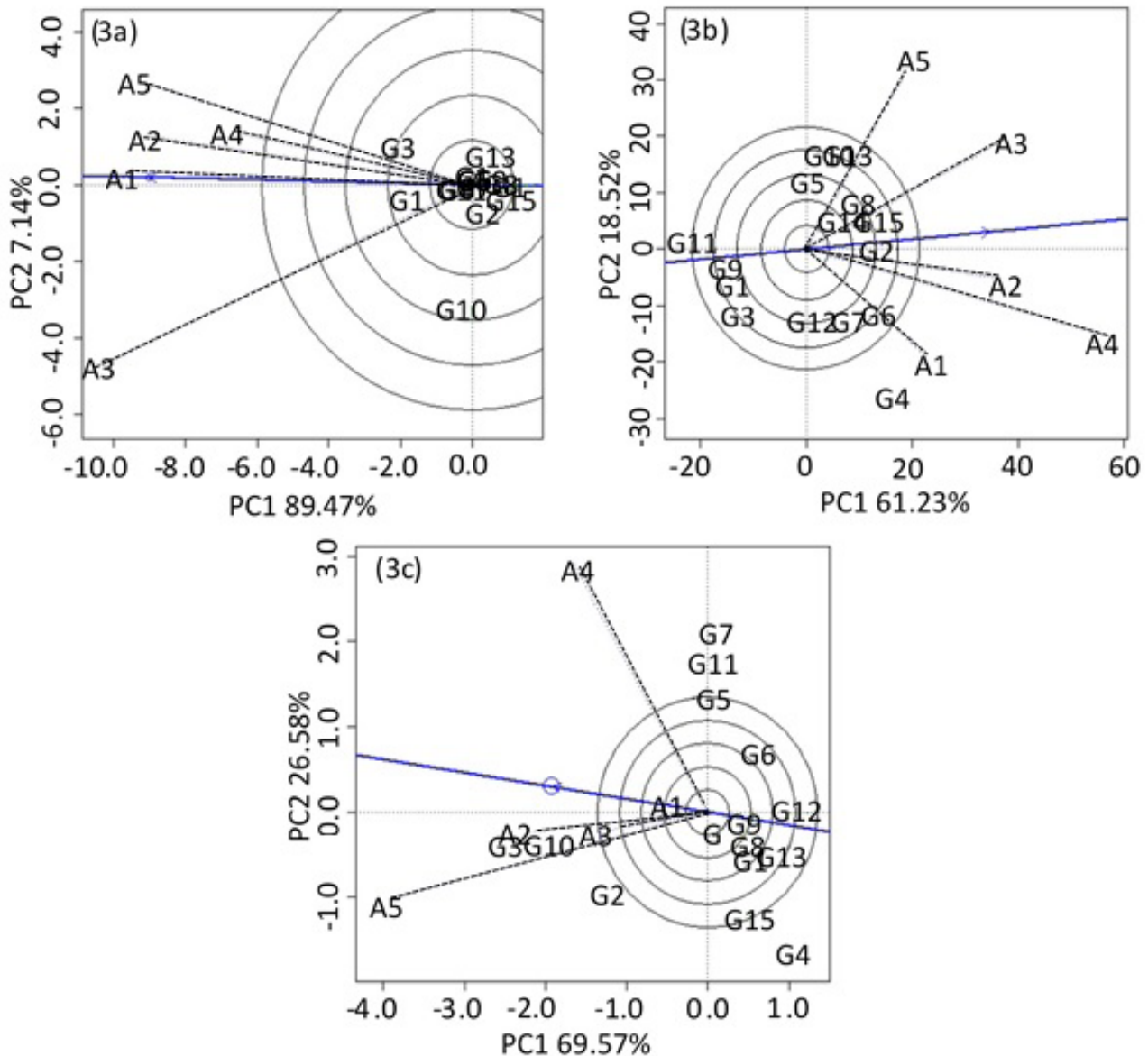


Figure 3 - Discrimination and representativeness of the five environments using the GGE biplot in 15 clones of dwarf cashew for the characteristics of average mass of cashew nuts (MMC, 3a), early harvest (PRE, 3b) and production of cashew nuts per plant (PCP, 3c).

Figura 3 - Discriminação e representatividade dos cinco ambientes, pelo GGE Biplot, para 15 clones de cajueiro anão nas características massa média das castanhas (MMC, 3a), precocidade de colheita (PRE, 3b) e produção de castanhas por planta (PCP, 3c).

The other environments are useful only for the selection of clones adapted specifically to mega-environments, or for selection of unstable clones if the test environment is a single mega-environment (Figure 3a, 3b and 3c). Similarly, Aliyu *et al.* (2014) noted the occurrence of environments that were more and less representative with cashews, as did Yokomizo *et al.* (2017) and Farias Neto *et al.* (2018) with assai palms.

Evaluation of genotype performance using the GGE biplot is based on the dispersion analysis of the genotype by ‘axis of environment-average’ (EAM); this is a straight line with a directional arrow which passes through the origin of the biplot and the average environment. This arrow points to a greater average performance between the evaluated genotypes. When there is also the dispersion in relation to the origin of the biplot and not adjacent to the EAM line, this is indicative of greater variability of performance, i.e., less stability (YAN, 2002; 2011).

Thus, when clones were classified according to their MMC values, the materials that performed above the overall average were G1 and G3, being that the first clone presented stability. The largest part of the material presented stability, but remained close to the average for this characteristic (Figure 4a). With regard to the characteristic PRE, the clone G4 is highlighted with a higher average, however, was showed less stability; G2 and G15 were superior to the average and also stable. The clone G9 was also one of the clones with greater stability, but performed poorly in terms of PRE. With regard to PCP, the clones G3 and G10 stood out with higher averages and presented relative stability. The clones G9 and G12 were those with greater stability but had lower performance in PCP than the average all clones average. The clone G7, that showed high stability in terms of other characteristics, with PCP was less stable.

There were the presence of clones with specific stability to certain years, and also of those that did not present stability and nor adaptability, This behavior was also observed in cashew genotypes observed by Aliyu *et al.* (2014), and in other species, such as peach trees (CITADIN *et al.*, 2014), strawberry (COSTA *et al.*, 2016), cassava (PEPRAH *et al.*, 2016) and assai palm (YOKOMIZO *et al.*, 2017; FARIAIS NETO *et al.*, 2018). The exception to this was the pear, with all genotypes showing stability (BARBOSA *et al.*, 2018). These results demonstrate that, in a set of genetic material, there is a tendency for a few genotypes to show adaptability and stability in those years that have peculiar factors, such as different annual rainfall or temperatures, which distinguish these genotypes from others.

Os demais ambientes possuem utilidade apenas para a seleção de clones adaptados especificamente em mega-ambientes; ou para seleção de clones instáveis se o ambiente teste é um único mega-ambiente (Figura 3a, 3b e 3c). Assim da mesma forma, Aliyu *et al.* (2014), observaram em cajueiros a ocorrência de ambientes mais e menos representativos e, em açaizeiros também Yokomizo *et al.* (2017) e Farias Neto *et al.* (2018).

A avaliação do desempenho dos genótipos baseada no GGE Biplot é baseada pela análise de dispersão dos genótipos pelo “eixo do ambiente-média” ou EAM, que é a linha reta com uma seta direcional que passa pela origem do biplot e do ambiente médio. Essa seta aponta para um maior desempenho médio entre os genótipos avaliados. Quando existe também a dispersão em relação a origem do Biplot e não adjacente à linha EAM, tem-se o indicativo de maior variabilidade de desempenho, ou seja, menor estabilidade (YAN, 2002; YAN, 2011).

Assim, os clones foram classificados de acordo com seus valores de MMC, onde os materiais que se destacaram com desempenho acima da média geral, foram G1 e G3, sendo que o primeiro clone apresentou estabilidade. A maior parte dos materiais apresentaram estabilidade, mas ficaram próximas da média para a característica (Figura 4a). Para a característica PRE o clone G4 se destacou com média superior, contudo foi o material de menor estabilidade; G2 e G15 foram superiores à média e estáveis. O G9 também foi um dos clones de maior estabilidade, mas teve baixo desempenho. Para PCP os clones G3 e G10 se destacaram com médias superiores, e apresentaram relativa estabilidade. Os clones G9 e G12 foram os de maior estabilidade, mas tiveram desempenho inferior à média. O clone G7 que apresentou alta estabilidade nas demais características, aqui foi o de menor estabilidade.

No tocante a presença de variação em relação ao quantitativo de clones com estabilidade, aqueles com adaptabilidade específica a determinados anos e, também daqueles que não possuem estabilidade e nem adaptabilidade, também ocorreu em genótipos de cajueiro observado por Aliyu *et al.* (2014) e, em outras espécies como pessegueiro (CITADIN *et al.*, 2014), morangueiro (COSTA *et al.*, 2016), mandioca (PEPRAH *et al.*, 2016) e açaizeiro (YOKOMIZO *et al.*, 2017; FARIAIS NETO *et al.*, 2018). Havendo exceção em pereiras onde todos os genótipos apresentaram estabilidade (BARBOSA *et al.*, 2018). Esses resultados demonstram que há a tendência em um conjunto de materiais genéticos contendo variabilidade, de que poucos apresentem adaptabilidade e estabilidade a anos que apresentem fatores intrínsecos peculiares, como diferentes pluviosidades anuais ou temperaturas, que os diferenciam dos demais anos.

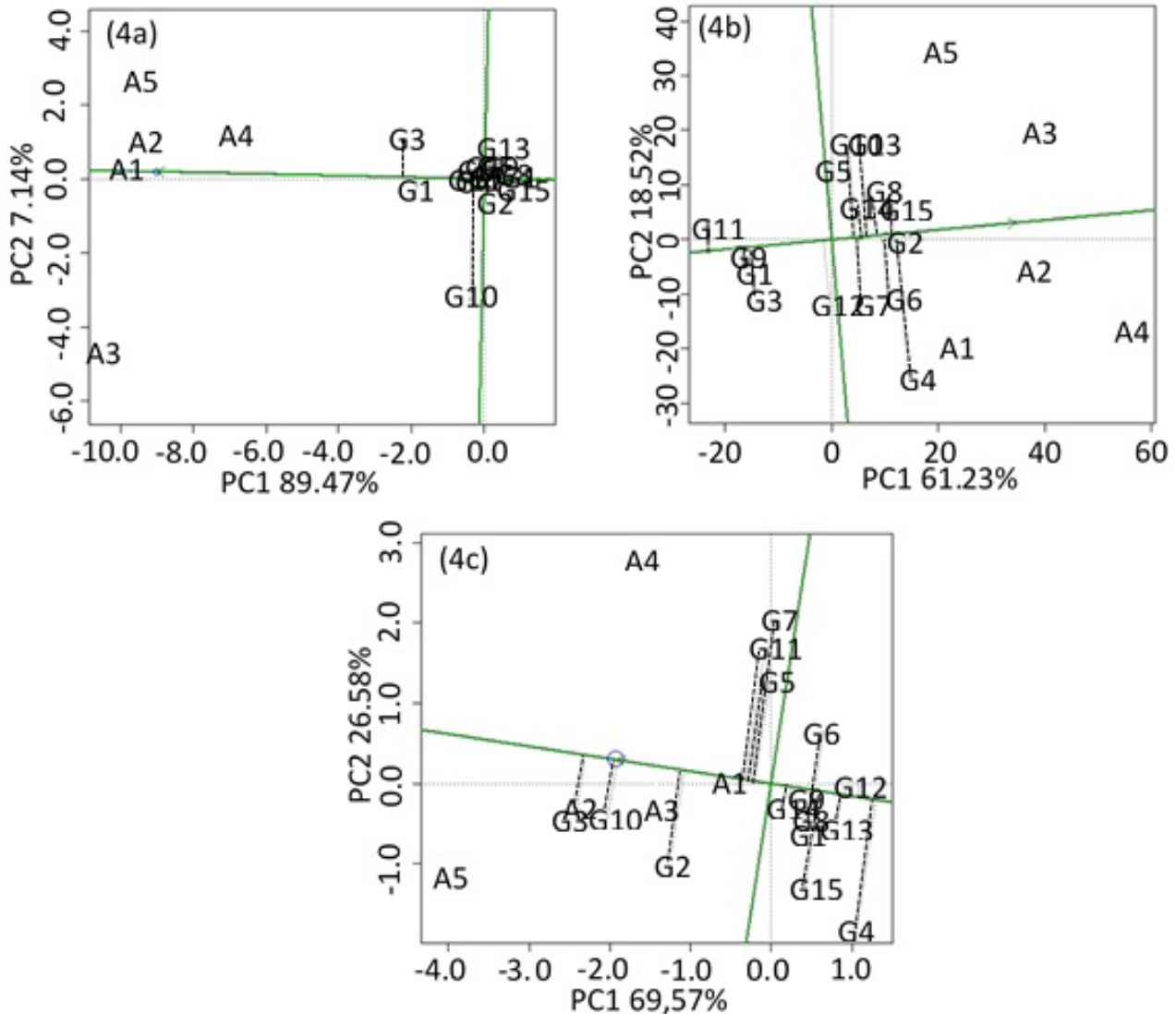


Figure 4 - Average performance and stability of 15 clones of dwarf cashew in five environments using the GGE biplot ("Medium versus Stability") for the characteristics of average mass of the cashew truts (MMC, 4a), early harvest (PRE, 4b) and production of cashew nuts per plant (PCP, 4c).

Figura 4 - Desempenho médio e estabilidade de 15 clones de cajueiro anão em cinco ambientes, pelo GGE Biplot ("Média versus Estabilidade"), para as características massa média das castanhas (MMC, 4a), precocidade de colheita (PRE, 4b) e produção de castanhas por planta (PCP, 4c).

CONCLUSIONS

With regard to MMC, the clones G1 and G3 represented performances close to the ideotype; G15, G2, G14 and G8 for PRE; and G3, G10 and G2 for PCP. There was little overlap between the superior clones for MMC, PRE and PCP. There are also clones that performed poorly throughout the evaluation period;

Most of the clones were stable for MMC, while for PRE and PCP the majority of evaluated clones were not stable. However, with these three characteristics, clones did not have good average values.

CONCLUSÕES

Os clones G1 e G3 para MMC; para PRE os clones G15, G2, G14 e G8 e, para PCP os clones G3, G10 e G2 representam desempenhos próximo do ideótipo. Pouca coincidência ocorreu entre os clones superiores de MMC, PRE e PCP. Há também clones que se mostram inferiores em todos os anos de avaliação;

A maioria dos clones foram estáveis para MMC, enquanto que para PRE e PCP os clones em sua maioria não foram estáveis, porém nestas três características não tiveram médias boas.

The GGE biplot enabled the environment that best discriminates the clones to be identified as A3 (higher rainfall) for MMC, A4 (lower rainfall and higher temperatures) for PRE, and A5 (representing the average of the environments) for PCP. All the environments were involved in differentiation of clones in terms of PRE and MMC, while, for PCP, only the environments A4 and A5 were involved. For the average representation of all environments, A1 was the most representative in MMC and A2 for PRE and PCP.

With regard to MMC, the clones G1 and G3 had the best averages for this characteristic. In the case of PRE the best average associated with low stability was shown by G4; G2 and G15 had good averages and were stable to PRE. With regard to PCP, the clones G3 and G10 had higher averages and relative stability for this characteristic.

O GGE Biplot permite verificar que o ambiente que melhor discrimina os clones é identificado como A3, com maior pluviosidade, para MMC; A4, com menor pluviosidade e maiores temperaturas, para PRE e; A5, na média dos ambientes, para PCP. Todos os ambientes possuíram maior responsabilidade pela diferenciação dos clones em PRE e MMC, enquanto que para PCP foram os ambientes 4 e 5 apenas. Para a representatividade média de todos os ambientes é o A1 em MMC e A2 para PRE e PCP.

Para MMC os clones G1 e G3 tiveram as melhores médias. Para PRE o clone G4 teve a melhor média associada a baixa estabilidade; G2 e G15 tiveram médias boas e foram estáveis. Para PCP os clones G3 e G10 tiveram médias superiores e relativa estabilidade.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

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**, v. 2, n. 4, p. 354-369, 2014.

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 x environments interaction matrix. **Interciencia**, v. 37, n. 7, p. 515-519, 2012.

BARBOSA, C. M. de A.; PIO, R.; SOUZA, F. B. M. de; BISI, R. B.; BETTIOL NETO, J. E.; FARIAS, D. H. Phenological evaluation for determination of pruning strategies on pear trees in the tropics, **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 326-332, 2018.

BARROS, L. de M. Melhoramento. In: LIMA, V. P. M. S. **A cultura do Cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil/ETENE, 1988. p. 321-355.

CAMARGO-BUITRAGO, I.; INTIRE, E. Q. M.; GORDÓN-MENDOZA, R. Identificación de megaambientes para potenciar el uso de genótipos superiores de arroz em Panamá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 9, p. 1601-1069, 2011.

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**, v. 71, n. 2, p. 133-138, 2014.

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**, v. 15, n. 3, p. 1-9, 2016.

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**, v. 92, n. 1, p. 77-85, 2012.

FARIAS NETO, J. T.; YOKOMIZO, G. K. I.; OLIVEIRA, M. S. P. de; HONGYU, K. GGE Biplot para estabilidade e adaptabilidade em progênies de açaizeiro de Anajás, PA. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 1, p. 409-417, 2018.

GAUCH, H. G. A Simple Protocol for AMMI Analysis of Yield Trials. **Crop Science**, v. 53, n. 5, p. 1860-1869, 2013.

GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. **Crop Science**, v. 48, n. 3, p. 866-889, 2008.

HASSANPANAH, D. Analysis of GxE interaction by using the additive main effects and multiplicative interaction in potato cultivars. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**, v. 4, p. 23-29, 2010.

- 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**, v. 33, n. 2, p. 139-155, 2015.
- IBGE **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, 2017. 81 p.
- INMET **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 09 ago. 2018.
- MDIC **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior (Alice Web)**. Disponível em: <<http://alicesweb.mdic.gov.br//consulta-ncm/consultar>>. Acesso em: 19 jan 2018.
- 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**, v. 23, p. 613-616, 2001.
- 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**, 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. 2016. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 04 jan 2018.
- 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.
- RESENDE, M. D. V. **SELEGENREML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas. 2007. 359 p.
- RIBEIRO, L. P. D.; SILVA, A. P. M. da; LIMA, A. A. de; SILVA, E. de O.; RINNAN, A.; PASQUINI, C. Non-destructive determination of quality traits of cashew apples (*Anacardium occidentale* L.) using a portable near infrared spectrophotometer. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 24, n. 1, p. 77-82, 2016.
- SAPATA, M. M.; FERREIRA, A.; ANDRADA, L. Secagem do pseudofruto de caju para alimentação humana. **Vida Rural**, v. 1828, p. 30-31, 2017. Disponível em: <http://www.inia.pt/fotos/editor2/secagem_do_pseudofruto_de_caju.pdf>, acesso em 06 ago. 2018.
- VIANA, F. M. P.; CARDOSO, J. E.; MARTINS, M. V. V.; FREIRE, F. das C. O. Doenças do cajueiro. **Informe Agropecuário**, v. 37, n. 290, p. 34-46, 2016.
- YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.
- YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on GGE biplot. **Crop Science**, 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. 271 p.
- YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE Biplots vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, 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**, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.
- YOKOMIZO, G. K. I.; FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. S. P.; HONGYU, H. Análise GGE Biplot na avaliação de características de cachos em açaizeiros da região Amazônica. **Mundo Amazônico**, v. 8, n. 1, p. 115-130, 2017.