

COMPORTAMENTO DE ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE CLONES DE CAJUEIRO PARA CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS E PRODUTIVAS

Gilberto Ken Iti Yokomizo¹, Kuang Hongyu², Francisco das Chagas Vidal Neto³, Levi de Moura Barros³

RESUMO

O cajueiro tem elevada importância econômica e social para o Nordeste. A presença de interação genótipos *versus* ambientes faz necessário a avaliação de adaptabilidade e estabilidade, para a seleção de novos cultivares. Portanto o objetivo foi avaliar por AMMI novos clones de cajueiro-anão precoce. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, 15 tratamentos, quatro repetições. Foram avaliados: altura de planta (ALP), diâmetro de copa (DIC) e produtividade de castanhas por planta (PCP). Os resultados foram que G13 em ALP; G10 em DIC e; G3 para PCP, apresentaram maiores valores médios. Foram mais estáveis G4 e G7 para ALP; G8, G11 e G15 para DIC e; G1 e G14 para PCP, comportamento distinto foi observado para DIC em AMMI2. Na especificidade adaptativa em AMMI1 os melhores foram G10 e G11 para ALP; G13 em DIC e; G2, G7 e G10 para PCP. No modelo AMMI2 os clones G10 e G11 para ALP, foram adaptados ao sétimo ano agrícola; G5, G7 e G11 com o quarto e; com o quinto G2, G10 e G13 em PCP, não havendo nenhum para DIC. Os anos foram os principais constituintes da variação, gerando as diferenças da manifestação fenotípica dos clones.

Palavras-chave: AMMI, *Anacardium occidentale* L., Análise de Componentes Principais, Interação Genótipo-Ambiente.

STABILITY AND ADAPTABILITY BEHAVIOUR FROM CASHEW TREES CLONES FOR VEGETATION AND YIELD CHARACTERISTICS

ABSTRACT

The cashew tree is a fruit with high economic and social importance for northeastern. The presence of interaction genotype versus environment makes necessary the evaluation of adaptability and stability, for the new cultivars selection. Therefore the objective was to evaluate by AMMI new clones of cashew-early dwarf. The experimental design was in randomized blocks, 15 treatments, four replicates. Were evaluated: plant height (ALP), canopy diameter (DIC) and productivity of nuts per plant (PCP). The results were that G13 in ALP; G10 in DIC; and G3 for PCP, showed highest average values. Were more stables G4 and G7 for ALP; G8, G11 and G15 for DIC and; G1 and G14 for PCP, a distinct behavior has been observed to DIC in the AMMI2. To adaptive specificity in AMMI1 the best were G10 and G11 for ALP; G13 in DIC and; G2, G7 and G10 for PCP. To AMMI2 the clones G10 and G11 for ALP, have been adapted to the seventh year of agriculture; G5, G7 and G11 with the fourth; to fifth G2, G10 and G13 in PCP, there were none for DIC. The years were the principal constituents of variation, generating the differences of phenotypic expression of clones.

Keywords: AMMI, *Anacardium occidentale* L., Principal Components Analysis, Genotype-Environment Interaction.

INTRODUÇÃO

O cajueiro anão é uma espécie da família Anacardiaceae que tem sua origem na América tropical, sendo utilizada na medicina tradicional. É uma espécie encontrada no Cerrado, na Caatinga e na Amazônia. O cultivo do caju é uma atividade de maior importância econômica e social para a região do Nordeste brasileiro, pois, além de empregar grande contingente de pessoas participa, de forma expressiva, na geração de divisas externas (SANTOS, 2011; IBGE, 2017).

A produção brasileira de caju atingiu 120.399 toneladas em 2019, correspondendo a uma área colhida de 438.083 hectares, sendo a região nordeste responsável por 99,1% da produção. O estado do Ceará destaca-se como o maior produtor brasileiro, com uma produção de 65.172 toneladas, seguido por Rio Grande do Norte com 16.317 toneladas (IBGE, 2019). O Brasil na safra 2017/2018 exportou um total de 12.469 toneladas com um valor de US\$ FOB 116 milhões (MDIC, 2019).

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, ocorrendo também em cajueiros, sendo que os melhoristas normalmente procuram por genótipos estáveis e com melhor desempenho em relação a um determinado caráter (RAMALHO et al., 2012; CRUZ et al., 2014). Estudos de interação GxA em cajueiros são escassos no Brasil

No momento em que surgem novas cultivares faz-se necessária a verificação do comportamento em novos ambientes, pois pode existir um comportamento diferencial das cultivares frente às variações ambientais denominado de interação genótipos x ambientes (GxA) e a bananeira também sofre estes efeitos, os quais podem dificultar a seleção de genótipos com adaptação ampla ou estáveis. Visando a obtenção de informações pormenorizadas sobre o comportamento dos genótipos sob efeito deste tipo de interação, métodos de adaptabilidade e estabilidade tornam-se extremamente importantes e necessários (CRUZ et al., 2014), pois as mesmas proporcionam informações sobre

o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. Estas análises possibilitam a identificação de cultivares de comportamento previsível e que respondam às variações ambientais, em condições específicas ou amplas.

Uma ferramenta que vem sendo muito utilizada com sucesso nesse tipo de avaliação é a chamada análise AMMI (“Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model”), sendo que Duarte e Vencovsky (1999) preconizam o método como uma alternativa viável para a interpretação e compreensão dos diferentes padrões de interação GxA. Esta recomendação é apoiada, sobretudo, no fato de a análise permitir a eliminação de ruídos indesejáveis presentes nos dados, além daqueles já expurgados em análises convencionais. O descarte destes ruídos permite caracterizar melhor os fatores genéticos e ambientais envolvidos na interação GxA e, assim, propiciar melhores estimativas das respostas genotípicas nos diferentes ambientes (DUARTE, 2001). O procedimento AMMI é também uma ferramenta apropriada para diagnóstico, em situações em que a interação significativa é acompanhada por não significância dos efeitos aditivos principais, de genótipos e ambientes, ou, quando a estrutura da interação é influenciada por valores anômalos (*outliers*) (SHAFII e PRICE, 1998).

Com os resultados obtidos da análise AMMI pode-se gerar uma representação gráfica dos genótipos e dos ambientes, em diagrama de dispersão multivariado (biplot), sendo plotados simultaneamente. Isto é importante na sumarização dos dados e para facilitar a interpretação das relações de similaridade e de complementaridade entre e dentro de genótipos e ambientes. Assim, a representação gráfica e simultânea de cada genótipo e ambiente fornece informações sobre a estabilidade e a adaptabilidade de ambos, cuja interpretação é feita observando-se a dimensão da dispersão em relação aos eixos de origem (ZOBEL et al., 1988; FERREIRA et al., 2016). Adicionalmente permite a realização de zoneamento agrônomico e a escolha de locais-chave para o processo de avaliação e seleção. Segundo Lavoranti (2003), a representação dos dados em biplot é uma técnica bastante útil na análise de componentes

principais, pois pode indicar a existência de agrupamentos entre as observações, assim como mostrar as variâncias e correlações entre as variáveis. Sob o modelo AMMI1, escores perto de zero são típicos de genótipos e ambientes que contribuem muito pouco para a interação, sendo considerado estável (FERREIRA et al. 2006).

Com base nestas informações o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da interação GxA sobre características morfológicas e produtiva de clones de cajueiros, com base na análise AMMI, possibilitando a diferenciação do comportamento entre os diferentes clones e anos de avaliações. Sendo o primeiro artigo a apresentar este tipo de análise em *Anacardium spp.* no Brasil, podendo servir como parâmetro comparativo em trabalhos futuros, além de fornecer informações importantes aos pesquisadores.

MATERIAL E MÉTODOS

O material genético constou de 15 novos clones de cajueiro-anão precoce, com bom potencial de produção de castanha e pseudofruto, preliminarmente selecionadas. Plantio do experimento: em 22 de fevereiro de 2000, na Fazenda Olho D'água, localizada no km 71 da BR 304, no Município de Aracati, CE. Solo: Neosolo Quartzarênico; pluviosidade média do município no período do experimento (2000 a 2003) foi de 936 mm anuais. Delineamento experimental: blocos ao acaso com 15 tratamentos (clones), quatro repetições, quatro plantas por parcela, no espaçamento de 8 x 6 m e bordadura de contorno, envolvendo cada repetição, com o clone CCP 76.

A área total do experimento: 1,8 ha. Tipo de muda utilizada: mudas de cajueiro em sacos de polietileno; Tratos culturais foram realizados de acordo com a recomendação para o plantio comercial de caju: coroamento das plantas; eliminação de brotações laterais no caule até a altura de 50 cm; suplementação de água, nos momentos críticos de seca, até o estabelecimento das plantas, no primeiro ano da planta. Caracteres avaliados: altura de planta (m), diâmetro de copa (m) e produtividade de castanhas por planta (kg)

O tratamento estatístico dos dados, incluindo-se análises de variância individuais e

conjunta, considerando-se os anos agrícolas de 2001 a 2007 de avaliações nos dados vegetativos da planta e de 2002 a 2006 na produção de castanha, bem como a análise de estabilidade e adaptabilidade via modelo AMMI, foi realizado utilizando-se os procedimentos GLM e IML do aplicativo computacional SAS (Statistical Analysis System) (SAS INSTITUTE, 2012).

A análise AMMI, descrita detalhadamente em Duarte e Vencovsky (1999), baseia-se no seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

em que: Y_{ij} é a resposta média das repetições do i -ésimo clone ($i = 1, 2, 3, \dots, g$) no j -ésimo ano ($j = 1, 2, 3, \dots, a$); μ é a média de todos os clones em todos os anos (média geral); g_i é o efeito principal do clone “ i ”; a_j é o efeito principal do ano “ j ”; λ_k , γ_{ik} e α_{jk} são os termos da decomposição singular (DVS) ou da análise de componentes principais (ACP) da matriz $GE_{g \times a} = \{ (ga)_{ij} \}$, que expressam e capturam o “padrão” associado à interação do clone “ i ” com a ano “ j ”, sendo $(ga)_{ij}$ os desvios de aditividade dos dados (Y_{ij}) em relação aos efeitos principais g_i e a_j ; ρ_{ij} é o ruído adicional a ser eliminado na análise, relativamente ao termo $(ga)_{ij}$ tomado tradicionalmente como a própria interação; e $\bar{\varepsilon}_{ij}$ é o erro experimental médio, em nível de médias de repetições, assumido: $i.i.d. \sim N(0, \sigma^2)$.

Assim, a análise AMMI é realizada em duas etapas sequenciais: 1^a) os efeitos principais, na parte aditiva do modelo (média geral, efeitos de clones e anos), são ajustados por análise de variância (ANOVA), resultando em um resíduo de não aditividade: $(\hat{g}\hat{a})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$, isto é, nas estimativas de quadrados mínimos ordinários de $(ga)_{ij}$; 2^a) a interação (parte multiplicativa do modelo) é ajustada mediante DVS ou ACP aplicada à matriz $GE_{g \times a} = \{ (\hat{g}\hat{a})_{ij} \}$, resultando numa porção denominada “padrão” (a interação propriamente dita – interação AMMI), e noutra de “ruído”, a ser descartada juntamente com o resíduo ANOVA.

Para definição do número de eixos principais a serem retidos a fim de explicar e

representar graficamente o padrão relacionado à interação, foram adotados os critérios utilizados por Gauch e Zobel (1988), levando-se em consideração a proporção da soma de quadrados da interação original ($SQ_{G \times A}$) acumulada até o

$$n\text{-ésimo eixo: } \sum_{k=1}^n \lambda_k^2 / SQ_{G \times A}$$

Dessa forma, o ponto de parada que determina a seleção do modelo na família de modelos AMMI ($AMMI_0, AMMI_1, \dots, AMMI_n$), foi obtido com base na significância dos testes F_{Gollob} , para os sucessivos termos de interação, sendo obtido pela significância de cada componente relacionado ao QM erro médio dos eixos PC a serem retidos no modelo. Neste método, o cálculo dos graus de liberdade são dados por: $GL_{PCn} = g + a - 1 - 2n$, onde g é o número de clones, a é o número de anos e n o número de eixos ou componente principais da matriz de interação. Esse teste distribui os graus de liberdade às Somas de Quadrados $SQ_k = \lambda_k^2$ com $k=1, 2, \dots; p$ e r o número de repetições, contando o número de parâmetros no k -ésimo termo multiplicativo. Logo o teste F é calculado como na análise de variância para modelos lineares e supões a hipótese nula que. O numerador e o denominador da estatística F são distribuídos independentemente como uma variável qui-quadrado (CORNELIUS et al., 1992). O ponto de parada para seleção do modelo é o n -ésimo componente principal da interação significativo pelo teste F, segundo Gollob (1968).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância, contendo a decomposição da interação $G \times A$, para os diferentes anos e clones de cajueiros, revelou significância na interação genótipos com ambientes, indicando que os diferentes genótipos respondem diferenciadamente aos efeitos ambientais e que os anos de teste foram consideravelmente discrepantes na expressão das características ALP, DIC e PCP (Tabela 1), comportamento semelhante ao observado por Aliyu et al. (2014). Também se constata, para

todas as características, que houve a presença de variabilidade genética, indicativo da expressão diferenciada entre as avaliações. A explicação para este comportamento é apresentada por Aliyu (2012) que afirmam a existência de indícios da presença de uma base genética suficiente (fonte de introdução diferencial, nível de domesticação e melhoria) e de polinização livre (meios irmãos) sendo responsáveis para a variabilidade.

Os efeitos não controláveis associados aos diferentes anos sobrepujaram a variação genética (clones) e a combinação de clones vs anos, representando entre 58,75 e 76,32% da variação total para PCP, DIC e ALP. A contribuição de ruídos foi a segunda mais constitutiva da soma de quadrados, com valores entre 16,96 e 17,31. Os componentes genéticos provenientes dos diferentes clones e a interação $G \times A$ apresentaram menores contribuições para a variação observada, com valores entre 2,60% a 11,18%, indício de uma base genética, apesar de suficiente para gerar variação, estreita nos clones testados de cajueiros para as condições deste experimento, permitindo verificar a presença de diferenças significativas entre os clones, contudo sendo sempre inferiores aos efeitos ambientais, resultado similar ao apresentado por Oliveira et al. (2014) em maracujá-amarelo, significando, que a maior parte da variação é explicada pelos efeitos de fatores pertencentes ao ambiente e pela interação $G \times A$, então a seleção dos melhores genótipos, não é será um processo fácil. Já, de forma diferente, foram os resultados de Aliyu et al. (2014), cuja contribuição genética foi maior, explicada por estes autores pelo fato do uso de material oriundo de cruzamentos livres, onde o rendimento dentro de diferentes ambientes necessita do desenvolvimento de fenótipos (variedades) com adaptação específica baseado na contribuição genética.

A interação $G \times A$ original (resíduo de não aditividade), com a significância estatística permitiu a decomposição da interação $G \times A$, para os diferentes clones de cajueiros e entre as anos avaliados e, com isso realizar a análise AMMI nestas três características (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância e quadrados médios associados ao desdobramento do efeito de interação GxA para três características^a em clones de cajueiros, safras de 2001 a 2007 de avaliações nos dados vegetativos da planta e de 2002 a 2006 na produção. Aracati, CE.

	QM			QM	
	GL	ALP	DIC	GL	PCP
Ano (A)	6	100,474**	683,06**	4	100,189**
Rep(Ano)	21	0,367**	4,05**	15	1,309**
Clone (G)	14	1,460**	10,69**	14	5,449**
G x A	84	0,212**	2,06**	56	1,245**
Resíduo	1554	0,087	0,60	210	0,551

** , * e ns, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F.

^a Altura da planta (ALP), diâmetro da copa (DIC), produtividade de castanhas por planta (PCP)

Na análise AMMI (Tabela 2) o primeiro eixo principal gerado (PC1), que contém a maior porcentagem do padrão associado à interação GxA para determinada característica em estudo, compreendeu 84,1%, 86,7% e 64,3% da SQ_{GxA} para ALP, DIC e PCP, respectivamente, dentro da variação em PC1 também obtido por Aliyu et al. (2014).

A soma da porcentagem do padrão associado à interação GxA acima de 90% com dois eixos nas características avaliadas, indica quem somente estes são suficientes para se explicar o comportamento genético dos clones. Interessante que somente o primeiro eixo para ALP e DIC, nas condições avaliadas, capturou quase a totalidade da variação relacionada aos desvios de aditividade dos efeitos principais (clones e anos). Além disso, o resultado também indica que um modelo relativamente simples (com poucos termos multiplicativos) pode apresentar boa capacidade preditiva para o comportamento diferencial dos clones, nos anos avaliados.

Pelo teste F_{Gollob} para ALP e DIC apenas o PC1 foi significativo, logo só PC1 conseguiria explicar a parte padrão da interação GxA, com PC2, possivelmente constituído em grande parte por ruídos. Já na característica PCP os eixos PC1 e PC2 foram significativos. Assim a análise foi

realizada considerando o biplot com o modelo AMMI2, pois juntos os dois primeiros termos explicaram a totalidade da SQ_{GxA} . Comportamento dentro do que é tido como o “padrão” associado à interação GxA para o conjunto modelo-dados analisado, onde poucos eixos são significativos, conseguindo capturar a variação em quase sua totalidade. Nessa abordagem, aqui não houve eixos adicionais para a descrição da interação GxA, por serem constituídos de ruídos (Tabela 2), que iriam produzir resultados distorcidos em relação à realidade.

Este quantitativo de eixos principais identificados como necessário para explicar e representar graficamente o padrão de interação GxA está próximo do citado em outros trabalhos, encontrando-se variações, como na cultura da bananeira por Tenkouano e Baiyeri (2007) e em melão Gália para produtividade por Nunes et al. (2011) onde apenas 1 eixo foi suficiente. Dois eixos em Aliyu et al. (2014). No trabalho de Oliveira et al. (2014) os dois primeiros eixos explicaram 81,2% da SQ da interação, mas 3 foram significativos. Já para Aliyu et al. (2014) em caju e para Yokomizo et al. (2016) em bananeiras para produtividade, dois eixos (PC1 e PC2), explicaram a totalidade da SQ da interação, similar ao aqui obtido.

Tabela 2. Porcentagens da soma de quadrados total ($SQ_{G \times A}$) associada a cada eixo principal, individualmente (PI) e acumulada (PA) e Quadrados médios (QM), estimados pela análise AMMI para três características^a em clones de cajueiros, safras de 2001 a 2007 de avaliações nos dados vegetativos da planta e de 2002 a 2006 na produção. Aracati, CE.

	ALP			DIC			PCP		
	%	%acum	QM	%	%acum	QM	%	%acum	QM
PC1	84,1	84,1	0,1971**	86,7	86,7	1,9728**	64,3	64,3	2,6386**
PC2	7,0	91,0	0,0183 ^{ns}	7,7	94,4	0,1965 ^{ns}	30,8	95,2	1,4323**
PC3	4,3	95,3	0,0127 ^{ns}	3,2	97,6	0,0914 ^{ns}	3,1	98,2	0,1642 ^{ns}
PC4	2,8	98,1	0,0094 ^{ns}	1,4	99,0	0,0478 ^{ns}	1,8	100,0	0,1119 ^{ns}
PC5	1,1	99,2	0,0045 ^{ns}	0,5	99,5	0,0208 ^{ns}	-	-	-
PC6	0,8	100,0	0,0041 ^{ns}	0,5	100,0	0,0226 ^{ns}	-	-	-

** , * e ns, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste $F_{G_{ollob}}$.

^a Altura da planta (ALP), diâmetro da copa (DIC), produtividade de castanhas por planta (PCP)

Após a análise estatística realiza-se a plotagem gráfica, onde os clones ou anos cujos pontos se situam mais próximos à origem do eixo PC1 no modelo AMMI1 são considerados mais estáveis (DUARTE e VENCOSKY, 1999; GUZMAN e ALEJANDRO, 2002; LAVORANTI, 2003) e no modelo AMMI2 são os pontos mais próximos da origem de ambos os eixos. Assim, nos gráficos dos modelos AMMI1 apresentados nas Figuras 1a, 1b e 1c e, AMMI2 nas Figuras 2a, 2b e 2c, os clones apresentaram relativa dispersão em todas as características, sendo indício de interação com os anos (adaptações específicas). No biplot AMMI1 (médias vs. PC1) os clones mais estáveis, isto é, com menor contribuição para a interação $G \times A$ captada pelo primeiro eixo principal (PC1), foram G4 e G7 para ALP (Figura 1a); G8, G11 e G15 para DIC (Figura 1b) e; G1 e G14 para PCP (Figura 1c). Portanto, para cada característica houve presença de diferentes clones mais estáveis e estes podem ser considerados amplamente adaptadas aos anos agrícolas de avaliação, haja vista a pequena interação $G \times A$ que manifestaram em suas respostas fenotípicas. Entre estes, independentemente de suas

estabilidades e adaptabilidades, os clones G13 em ALP; G10 em DIC e; G3 para PCP, destacaram-se por apresentar os maiores valores médios para as respectivas características, mas associado também a especificidade a determinados ambientes. Para especificidade aos anos os clones G1, G5, G9, G10 e G11 em ALP (Figura 1a); G5, G6, G10 e G14 em DIC (Figura 1b) e; G4 e G15 na característica PCP (Figura 1c), foram adaptados a determinados anos agrícolas de avaliação. Assim como em Nunes et al. (2011) para melão Gália, em maracujá-amarelo para Oliveira et al. (2014) e para Yokomizo et al. (2016) em bananeiras, onde foram observados genótipos mais estáveis e aqueles com melhor adaptabilidade específica, mais próximos do eixo PC1, observando-se também a presença daqueles com comportamento intermediário e os instáveis também.

Convém citar que os mais produtivos tiveram contribuições significativas da interação $G \times A$, assim como também foi detectado por Aliyu et al. (2014) e, diferindo do citado por Maia et al. (2009) onde os mais produtivos não sofreram influência significativa do ambiente.

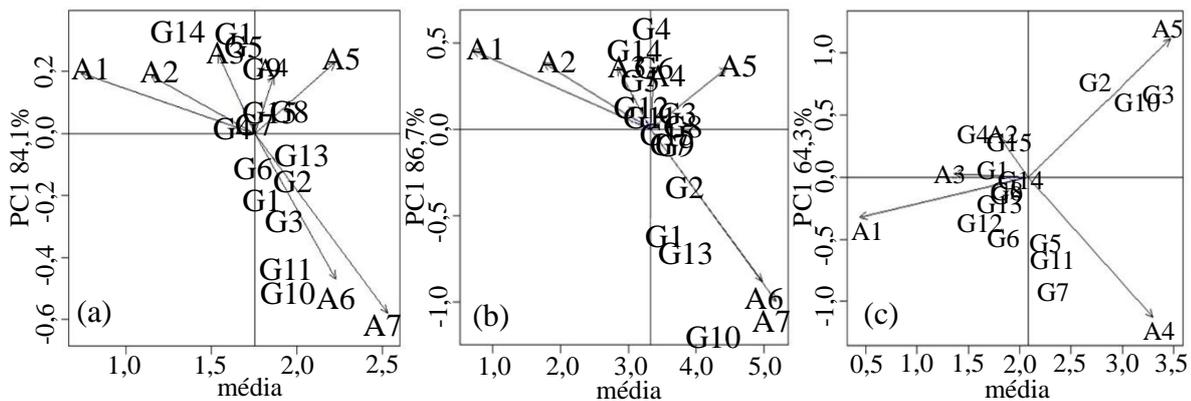


Figura 1. Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y), com os ambientes correspondentes à anos e clones, para altura de planta (ALP), diâmetro da copa (DIC) e produção de castanhas por planta (PCP) em 15 clones de cajueiros. Município de Aracati, CE, safras de 2001 a 2007 nos dados vegetativos da planta e de 2002 a 2006 na produção. Letras G correspondentes aos clones e A correspondentes aos Anos.

No biplot AMMI2 (Figuras 2a e 2c), de modo geral, pôde-se ratificar o comportamento genotípico observado na análise anterior, havendo pouca distinção. Significando que o primeiro eixo principal de interação (PC1) capturou grande parte do padrão da interação GxA presente em ALP e PCP, havendo diferenciação apenas para DIC, cujo biplot permitiu a distinção em relação a uma maior dispersão a partir dos eixos de origem, havendo com isso a não confirmação de estabilidade antes observada no modelo AMMI1, portanto nesta característica o ponto de corte do PC1, em geral, não foi significativo para que se possa inferir sobre a previsibilidade dos clones quanto ao comportamento, por tratar-se de variável que possivelmente sofra maior influência ambiental em relação às outras duas características. A

informação capturada pelo segundo eixo (PC2) pode ser útil para corrigir possíveis distorções na análise ou na interpretação produzida sob uma única dimensão. Portanto, confirmam-se o comportamento estável (baixa contribuição para interação GxA) e a ampla adaptabilidade produtiva do clone G7 para ALP (Figura 2a), enquanto que o clone G4 para ALP; G11 e G15 para DIC aparentemente estáveis na análise do modelo AMMI1, revelaram agora contribuição para a interação GxA capturada no segundo eixo principal, o que contraria sua estabilidade inicial. A estabilidade é importante para avaliar a confiabilidade da classificação dos genótipos em um determinado ambiente em relação à média geral dos ambientes, conforme afirmam Rocha et al. (2007).

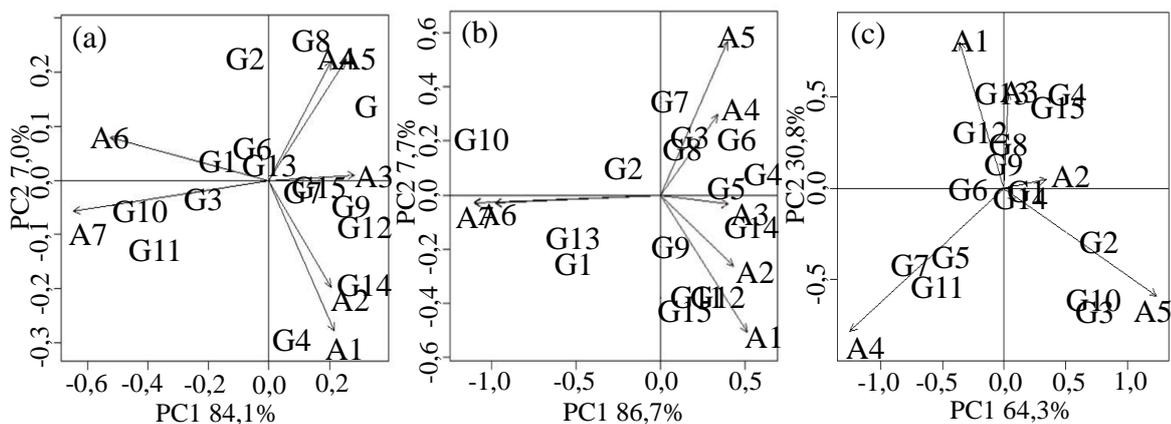


Figura 2. Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), com os ambientes correspondentes à anos e clones, para altura de planta (ALP), diâmetro da copa (DIC) e produção de castanhas por planta (PCP) em 15 clones de cajueiros. Município de Aracati, CE, safras de 2001 a 2007 de avaliações nos dados vegetativos da planta e de 2002 a 2006 na produção.

O refinamento na interpretação do AMMI, ao se agregar a informação do segundo eixo apesar de ausência de significância, permite corrigir ou ratificar possíveis distorções da análise e interpretação obtidas numa única dimensão, contudo é conveniente salientar também a possibilidade do risco de incluir ruídos que podem dificultá-las. Desta forma, os clones G10 e G11 para ALP, que tiveram valores acima da média e apresentaram contribuições relevantes para a interação GxA nos dois eixos, agora mostraram adaptabilidades mais específicas; todos com o sétimo ano agrícola de avaliação, cujos pontos dos clones e de ambientes situaram-se no mesmo quadrante e próximos (Figura 1a e Figura 2a). Os clones G5, G7 e G11 com o quarto ano agrícola de avaliação e G2, G10 e G13 com o quinto ano em PCP (Figura 1c e Figura 2c), a proximidade entre determinados genótipos com ambientes também é citado no trabalho de Aliyu et al. (2014). Já para DIC não foi observado este comportamento por nenhum dos clones. Adicionalmente pode se afirmar que nenhum genótipo conseguiu simultaneamente se adaptar a todas as condições ambientais, aspecto igualmente citado por Aliyu et al. (2014).

Interações negativas ou positivas dos clones com determinados anos também são ratificadas no biplot AMMI2. É possível confirmar, por exemplo, a existência de baixa adaptação a determinados anos agrícolas, que puderam ser notados na análise AMMI1 e confirmados em AMMI2. Isso ocorreu porque tais clones tiveram escores de interação de elevada magnitude nos dois eixos (instabilidade), estando distantes da origem dos eixos e, distribuíram-se em quadrantes distintos a esses anos agrícolas (Figuras 2a, 2b e 2c). Os comportamentos coincidentes nos dois gráficos, conforme já reportado, indicam que o primeiro eixo conseguiu capturar a parcela mais importante do padrão da interação GxA para as características em estudo, essa distribuição é semelhante ao comportamento citado por Sethi et al. (2016), porém difere parcialmente de Oliveira et al. (2014) que no modelo AMMI2 teve a confirmação do comportamento de somente

alguns genótipos, sendo estáveis apenas em AMMI1.

Os efeitos de alguns anos agrícolas avaliados individualmente tenderam a contribuir mais para a interação GxA do que os clones nas características ALP e PCP. Isso pode ser constatado pela maior dispersão dos pontos ou vetores associados aos anos agrícolas em geral, em relação aos vetores associados aos clones, em ambos os biplots (médias x PC1 e; PC1 x PC2), onde essa tendência pode ser observada reiteradas vezes em outras pesquisas com espécies vegetais diferente, como no trabalho de Nunes et al. (2011), Oliveira et al. (2014) e Yokomizo et al. (2016). O que justifica segundo Aliyu et al. (2014) estudos que identifiquem fatores ambientais específicos envolvidos na manifestação desse tipo de interação nos diferentes anos de avaliação. Já para DIC apenas o clone G10 contribuiu mais para a interação GxA do que os ambientes.

Adicionalmente Oliveira e Godoy (2006) sugerem que os ambientes com baixos escores de IPC (alta estabilidade) são de interesse como locais para a seleção de genótipos nas primeiras etapas de melhoramento, pois há pouca quantidade de sementes ou material de propagação, limitando a extensão dos testes para vários ambientes, baseado neste aspecto, somente o ambiente A2 foi mais promissor para PCP, enquanto que nas demais características todos os anos tiveram altos escores de IPC (Figuras 1a, 1b, 1c, 2a, 2b e 2c).

Os anos foram contrastantes na análise AMMI2 (Figuras 2a, 2b e 2c) para todas as características, situando-se em quadrantes distintos, sendo indicativo de que os fatores causadores de distinção entre os anos agrícolas foram determinantes na interação associada ao primeiro eixo principal, sendo provável que essa contribuição seja decorrente das diferenças climáticas e de manejo. Diferindo do que é citado por Aliyu et al. (2014) onde houve a tendência de serem mais semelhantes entre si.

Com os resultados observados nas Tabelas e Figuras, devido à dispersão dos clones e a ausência de adaptabilidade específica em geral, há indicativo da necessidade de desenvolvimento de uma tecnologia de produção eficiente

integrada adaptada para as peculiaridades e ecológicas. Semelhantemente ao citado por Aliyu et al. (2014) de que há a exigência de tecnologias adaptadas para ótima resposta da planta para as especificidades de cada ambiente, além do desenvolvimento de diferentes genótipos de cajueiros.

CONCLUSÕES

Os clones mais estáveis foram G4 e G7 para ALP; G8, G11 e G15 para DIC e; G1 e G14 para PCP, não havendo coincidências entre as características. Confirmado no modelo AMMI2 em ALP e PCP, mas gerando comportamento distinto em DIC.

Os maiores valores médios foram apresentados pelos clones G13 em ALP; G10 em DIC e; G3 para PCP, independente de estabilidade e adaptabilidade.

Para especificidade adaptativa no modelo AMMI1 os clones que se destacaram foram G10 e G11 para ALP; G13 em DIC e; G2, G7 e G10 para PCP. Já no modelo AMMI2 os clones G10 e G11 para ALP, mostraram adaptabilidades específicas com o sétimo ano agrícola de avaliação. Os clones G5, G7 e G11 com o quarto ano agrícola de avaliação e G2, G10 e G13 com o quinto ano em PCP, não havendo nenhum para DIC.

Os anos foram os principais constituintes da variação, índice de maior influência de fatores não controláveis na expressão das características. Estes mesmos anos foram contrastantes na análise AMMI2, situando-se em quadrantes distintos e portanto foram responsáveis em gerar as diferenças da manifestação fenotípica dos clones.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIYU, O.M. Genetic diversity of the Nigerian cashew germplasm. In: CALISKAN, M. (Ed.) **Genetic Diversity in Plants**. Rijeka: InTech Publisher, 2012, p. 163-184.

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. <http://dx.doi.org/10.9787/PBB.2014.2.4.354>

CORNELIUS, P.L.; SEYEDSADR, M.; CROSSA, J. Using the shifted multiplicative model to search for "separability" in crop cultivar trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.84, n.1-2, p.161-172, 1992.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

DUARTE, J. B. Aspectos gerais da interação genótipos x ambientes com ênfase na formação de redes de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., Goiânia, 2001. **Resumos**. Goiânia: SBMP, 2001.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999.

FERREIRA, D.F.; DEMETRIO, C.G.B.; MANLY, B.F.J.; MACHADO, A.A.; VENCOVSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, v. 12, p. 373-388, 2006.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.76, n.1, p.1-10, 1988.

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, v. 33, n. 1, p. 73-115, 1968.

GUZMAN, P. S.; ALEJANDRO, F. R. Searching for better white corn genetics for marginal uplands in the Philippines. **Proceedings of the 8th Asian Regional Maize Workshop**, Bangkok; Thailand, 2002. p. 156-164.

IBGE **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Maio 2019. Disponível

em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R. de; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. de M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 43-50, 2009

MDIC **Comex Vis: Principais Produtos Exportados**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-ppe?ppe=1130>>. Acesso em: 27 jun 2019.

NUNES, G.H.S.; SANTOS JÚNIOR, H.; GRANGEIRO, L.C.; BEZERRA NETO, F.; DIAS, C.T.S.; DANTAS, M.S.M. Phenotypic stability of hybrids of Gália melon in Rio Grande do Norte state, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, n. 4, p. 1421-1433, 2011.

OLIVEIRA, E.J de; FREITAS, J.P.X. de; JESUS, O.N. de. AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 2, p. 139-145, 2014.

OLIVEIRA, E.J.; GODOY, I.J. Pod yield stability analysis of runner peanut lines using AMMI. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.6, p. 311-317. 2006.

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

ROCHA, M.M.; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; CARVALHO, H.W.L. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região Nordeste do Brasil. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v.42, p. 1283-1289. 2007.

SANTOS, F. O. **Atividades biológicas de Anacardium occidentale (Linn)**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Sistema Agrosilvopastoris) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SAS Institute Inc. 2012. **SAS/STAT® 12.1 User’s Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc

SETHI, K.; TRIPATHY, P.; MOHAPATRA, K.C. Variability and heritability of important quantitative characters in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Environment & Ecology**, v.34, n.4, p.1795-1798. 2016.

SHAFIL, B.; PRICE, W. J. Analysis of Genotype-by-Environment Interaction Using the Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model and Stability Estimates. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, v. 3, n.3, p. 335-345, 1998.

TENKOUANO, A.; BAIYERI, K. P. Adaptation pattern and yield stability of banana and plantain genotypes grown in contrasting agroecologies in Nigeria. 8th African Crop Science Society Conference, El-Minia, Egypt, 27-31 October 2007. **Proceedings**, v. 8, p. 337-384, 2007.

YOKOMIZO, G.K.I.; DIAS, J.S.A.; DIAS, C.T.S.; HONGYU, K. Análise AMMI em caracteres vegetativos de genótipos de bananeiras no Amapá. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 1-8, 2016. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1845>

ZOBEL, R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 388-393, 1988.

¹ Autor correspondente. Agrônomo, Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amapá, Rodovia Juscelino Kubitschek, 2600, Bairro Universidade, CEP 68903-419, Macapá-AP. Email: gilberto.yokomizo@embrapa.br

² Matemático, Doutor, Estatística e Experimentação Agrônômica, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá-MT

³ Agrônomo, Doutor, Fitotecnia, Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Drª. Sara Mesquita, nº 2.270, Bairro Planalto do Pici, CEP 60511-110, Fortaleza-CE.