



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**INGRID PINHEIRO MACHADO**

**ESTIMATIVAS DE REPETIBILIDADE E PREDIÇÕES DE GANHOS**  
**GENÉTICOS EM CLONES DE CAJUEIRO-ANÃO**

**FORTALEZA**

**2018**

INGRID PINHEIRO MACHADO

ESTIMATIVAS DE REPETIBILIDADE E PREDIÇÕES DE GANHOS  
GENÉTICOS EM CLONES DE CAJUEIRO-ANÃO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Fitotecnia. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

Orientador: Prof. D.Sc. Júlio César do Vale  
Silva  
Coorientador: D.Sc. Francisco das Chagas  
Vidal Neto

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M131e Machado, Ingrid Pinheiro.  
Estimativas de repetibilidade e predições de ganhos genéticos em clones de cajueiro-anão / Ingrid Pinheiro Machado. – 2018.  
56 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Júlio César do Vale Silva.
1. Anacardium occidentale L. 2. Medidas repetidas. 3. Valor de melhoramento. 4. Seleção de clones. 5. REML/BLUP. I. Título.

CDD 630

---

INGRID PINHEIRO MACHADO

ESTIMATIVAS DE REPETIBILIDADE E PREDIÇÕES DE GANHOS  
GENÉTICOS EM CLONES DE CAJUEIRO-ANÃO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Fitotecnia. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

Aprovada em: 23/07/2018

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. D.Sc. Júlio César do Vale Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

D.Sc. Francisco das Chagas Vidal Neto (Coorientador)  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

---

D.Sc. Dheyne Silva Melo (Conselheiro)  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

A Deus, primeiramente, por me dar força e coragem durante toda esta caminhada. Aos meus pais e ao meu esposo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, não me desamparando nos momentos em que preciso, minha fonte de amor, sabedoria e proteção.

Aos meus pais, Jonas Machado Araújo e Antônia Ivonilde Pinheiro Pereira que me incentivaram e apoiaram durante todo esse período.

À minha avó, Maria Pinheiro Pereira pelo seu acolhimento e apoio.

Ao meu esposo, Irisval Leite de Freitas Soares pela ajuda, apoio, dedicação e paciência. Sem o seu apoio teria sido infinitamente mais difícil.

Ao Professor Júlio César do Vale Silva, pela sua ótima orientação, pelas suas contribuições, pelos conhecimentos a mim transmitidos, pela paciência e pelo exemplo de compromisso com a docência.

Ao coorientador Dr. Francisco das Chagas Vidal Neto, pela paciência e humildade em repassar seus conhecimentos.

Ao Dr. Dheyne Silva Melo, por aceitar participar e contribuir neste trabalho.

Às amigas que estiveram comigo contribuindo de alguma forma e compartilhando momentos de alegria e aperseio, Jéssica, Fernanda Carla, Tamiris e Liliana.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso, assim como a todo corpo docente que contribuiu para a construção do meu conhecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À EMBRAPA Agroindústria Tropical, por propiciar condições para realização deste trabalho.

## RESUMO

Os clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) do tipo anão têm possibilitado grande impulso à cajucultura no Nordeste do Brasil, devido à maior produtividade, precocidade e uniformidade, tanto da castanha quanto do pedúnculo, além de apresentarem menor porte em relação ao tipo comum, facilitando a colheita manual e a retenção de frutos. Tendo em vista a importância do cajueiro, o principal desafio do melhoramento genético corresponde à geração de clones que propiciem a maximização da produção de amêndoas, bem como o aproveitamento do pedúnculo, de forma a atender às necessidades da indústria e dos consumidores. Pelo fato do cajueiro ser uma planta perene, uma das principais limitações para a disponibilização de novas cultivares é o tempo gasto para o seu desenvolvimento. Assim, o coeficiente de repetibilidade é um parâmetro imprescindível ao melhorista, pois permite determinar quantas observações fenotípicas devem ser feitas para que a seleção de genótipos seja feita de forma acurada, otimizando tempo e recursos. Como as espécies perenes exigem avaliações mais duradouras e a perda de informações é comum, tem-se buscado metodologias mais eficientes de seleção, como o procedimento REML/BLUP, a fim de aumentar a acurácia seletiva e obter maiores ganhos genéticos. Assim, objetivou-se nesse trabalho i) verificar a existência de variabilidade genética em uma população de cajueiro-anão para alguns caracteres agrônômicos; ii) inferir sobre o tipo de interação entre clones de cajueiro-anão e safras; iii) estimar os coeficientes de repetibilidade e os ganhos com a seleção para os caracteres mais relevantes do cajueiro-anão e iv) identificar clones com potencial genético para dar continuidade no processo de obtenção de novas cultivares. O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com 35 tratamentos (33 clones de cajueiro-anão + 2 testemunhas comerciais), oito repetições e uma planta por parcela. Adotou-se o espaçamento de 8 metros entre linhas e 6 metros entre plantas. Os caracteres analisados foram altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), produtividade de castanha (PROD), peso médio de castanha (PMC), porcentagem de castanha furadas (%CF) e ocorrência de doenças, como reação a antracnose (ANT), ao mofo preto (MP), presença de oídio na inflorescência (OI) e presença de oídio na castanha (OC). Utilizou-se o REML/BLUP para predição dos valores genéticos e estimação dos parâmetros genéticos. Os clones apresentaram variabilidade genética para a maioria dos caracteres avaliados; detectou-se ausência de interação entre clones e safras; observou-se que são suficientes duas medições, para produtividade de castanha, e três medições para peso médio de

castanha, altura de planta e diâmetro de caule; e os clones 12, 13, 16, 19, 25, 26 e 31 devem ser indicados para darem continuidade ao processo de obtenção de cultivares.

**Palavras-chave:** *Anacardium occidentale* L. Medidas repetidas. Valor de melhoramento. Seleção de clones. REML/BLUP.

## ABSTRACT

The cashew clones (*Anacardium occidentale* L.) of the dwarf type have allowed a great boost to cashews in Northeast Brazil, due to the higher productivity, precocity and uniformity of both the chestnut and peduncle, besides being smaller in relation to the common type, facilitating manual harvesting and fruit retention. Considering the importance of cashew, the main challenge of genetic improvement corresponds to the generation of clones that maximize the production of almonds, as well as the use of the peduncle, to meet the needs of industry and consumers. Because cashew is a perennial plant, one of the main limitations for the availability of new cultivars is the time it takes to develop them. Thus, the repeatability coefficient is an essential parameter for the breeder, since it allows determining how many phenotypic observations must be made in order to select genotypes accurately, optimizing time and resources. Since perennial species require more long-term evaluations and information loss is common, more efficient selection methodologies, such as the REML / BLUP procedure, have been sought in order to increase selective accuracy and obtain greater genetic gains. Thus, the objective of this work was to verify the existence of genetic variability in a dwarf cashew population for some agronomic characters; ii) infer about the type of interaction between dwarf cashew clones and crops; iii) to estimate the repeatability coefficients and selection gains for the most relevant characters of the dwarf cashew; and iv) to identify clones with genetic potential to continue the process of obtaining new cultivars. The experiment was conducted at the Experimental Field of Pacajus, belonging to Embrapa Agroindústria Tropical. A randomized block design with 35 treatments (33 clones of dwarf cashew + 2 commercial controls) was used, eight replications and one plant per plot. The spacing of 8 meters between rows and 6 meters between plants was adopted. The analyzed traits were plant height (AP), crown diameter (DC), chestnut productivity (PROD), mean brown weight (PMC), nut percentage (% CF) and disease occurrence, as an anthracnose reaction (ANT), black mold (MP), presence of powdery mildew on inflorescence (OI) and presence of powdery mildew on chestnut (OC). The REML / BLUP was used to predict the genetic values and to estimate the genetic parameters. The clones presented genetic variability for most of the evaluated characters; there was no interaction between clones and crops; it was observed that two measurements are sufficient for chestnut yield and three measurements for average weight of chestnut, plant height and stem diameter; and clones 12, 13, 16, 19, 25, 26 and 31 should be indicated to give continuity to the cultivar cultivation process.

**Keywords:** *Anacardium occidentale* L. Repeated measures. Amount of improvement. Selection of clones. REML / BLUP.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– (A) Amêndoa destruída pela traça-da-castanha. (B) Furo na castanha feito pela traça-da-castanha .....	18
Figura 2	– (A) Sinal de oídio em folhas velhas. (B) Sinal generalizado do oídio na superfície do maturi. (C) Sintoma de oídio no pseudofruto maduro. (D) Castanhas de caju com diferentes intensidades de infestação por oídio .....	19
Figura 3	– (A) Sintomas de antracnose em folhas de cajueiro. (B) Sintomas De antracnose no maturi. (C) Sintomas de antracnose no pedúnculo. (D) Sintomas de antracnose nas castanhas .....	21
Figura 4	– (A) Sinais iniciais de mofo-preto nas folhas de cajueiro. (B) Sinais de mofo-preto nas folhas de cajueiro com alto grau de infestação .....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Pluviosidades da cidade de Pacajus-CE e produtividades médias, nos anos de avaliação do experimento .....	31
Tabela 2	– Identificação dos clones de cajueiro do tipo anão e procedência .....	32
Tabela 3	– Teste da razão de verossimilhança e valores F para os efeitos de clone, ambiente, interação clones por safras e ambiente permanente para os caracteres produtividade de castanhas (PROD), peso médio de castanha (PMC), altura de planta (AP), diâmetro de copa (DC), porcentagem de castanhas furadas (%CF), reação a antracnose (ANT), ao mofo preto (MP), presença de oídio na inflorescência (OI) e presença de oídio na castanha (OC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 .....	36
Tabela 4	– Estimativas dos coeficientes de repetibilidade (r) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter produtividade de castanhas (PROD), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 .....	38
Tabela 5	– Estimativas dos coeficientes de repetibilidade (r) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter peso médio de castanha (PMC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 .....	39
Tabela 6	– Estimativas dos coeficientes de repetibilidade (r) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter altura de planta (AP), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 .....	40
Tabela 7	– Estimativas dos coeficientes de repetibilidade (r) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter diâmetro de copa (DC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 .....	41
Tabela 8	– Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u + a) e ganho genético com a seleção em percentual (GS%) para os caracteres produtividade de	

	castanhas (PROD), peso médio de castanha (PMC) e altura de planta (AP), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.....	43
Tabela 9	– Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u + a) e ganho genético com a seleção em percentual (GS%) para os caracteres porcentagem de castanhas furadas (%CF), diâmetro de copa (DC) e reação a antracnose (ANT), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 .....	45
Tabela 10	– Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u + a) e ganho genético com a seleção em percentual (GS%) para os caracteres reação ao mofo preto (MP), presença de oídio na inflorescência (OI) e presença de oídio na castanha (OC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018 ..	47

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Importância socioeconômica do cultivo do cajueiro.....	15
2.2	Aspectos gerais e fenologia do cajueiro.....	16
2.3	Pragas e doenças do cajueiro.....	17
2.3.1	<i>Traça-da-castanha (Anacamptis phytomiella Busck - Lepidoptera: Gelechiidae)</i> .....	18
2.3.2	<i>Oídio (Oidium anacardii Noack)</i> .....	19
2.3.3	<i>Antracnose (Colletotrichum gloeosporioides (Penz) Penz. &amp; Sacc)</i> .....	20
2.3.4	<i>Mofo preto (Pilgeriella anacardii Arx &amp; Müller)</i> .....	21
2.4	Melhoramento genético do cajueiro no Brasil .....	22
2.4.1	<i>Objetivos do programa de melhoramento da Embrapa</i> .....	22
2.4.2	<i>Estratégias de melhoramento</i> .....	23
2.4.2.1	<u><i>Introdução de germoplasma</i></u> .....	24
2.4.2.2	<u><i>Hibridação</i></u> .....	24
2.4.2.3	<u><i>Seleção recorrente</i></u> .....	25
2.4.2.4	<u><i>Seleção precoce intensiva</i></u> .....	25
2.4.2.5	<u><i>Obtenção e seleção de clones</i></u> .....	26
2.5	Repetibilidade .....	26
2.6	Modelos mistos – REML/BLUP .....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	31
3.1	Área experimental .....	31
3.2	Condução e delineamento experimental .....	31
3.3	Caracteres avaliados .....	33
3.4	Análises estatísticas .....	34
4	RESULTADOS ESPERADOS .....	36
4.1	Análise de Deviance .....	36
4.2	Repetibilidade .....	38
4.3	Valores genotípicos e ganhos com a seleção .....	42
5	CONCLUSÕES .....	47
	REFERÊNCIAS .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

A agroindústria do caju é uma das principais alternativas para a economia de alguns países tropicais. Sua importância econômica se deve, principalmente, ao valor comercial da amêndoa. Por outro lado, a importância do pedúnculo não pode ser desprezada, pois constitui uma importante fonte de alimento, principalmente, no Nordeste do Brasil, seja na forma *in natura* ou processada, sendo recomendado à dieta humana por apresentar um excelente valor alimentar e propriedades medicinais (MAIA *et al.*, 1971; LIMA, 1988). Com isso, os clones de cajueiro do tipo anão têm possibilitado grande impulso à cajucultura, devido à maior produtividade, maior precocidade, maior uniformidade, tanto da castanha quanto do pedúnculo, além de apresentarem menor porte em relação ao tipo comum, facilitando a colheita manual e a retenção de frutos (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995; BARROS *et al.*, 2002)

O principal desafio do melhoramento genético corresponde à geração de clones que propiciem a maximização da produção de amêndoas, bem como o aproveitamento do pedúnculo, de forma a atender às necessidades da indústria e dos consumidores (BARROS *et al.*, 2002; PAIVA; BARROS, 2004). De acordo com Pessoa, Leite e Pimentel (1995) e Cavalcanti *et al.* (2000), o problema mais significativo do cultivo do caju na região Nordeste do Brasil tem sido a baixa produtividade dos pomares. Dessa forma, os programas de melhoramento genético da cultura vêm priorizando a obtenção de clones mais produtivos, dando novas perspectivas para o agronegócio do caju.

Após o processo de geração de variabilidade genética, vem o processo seletivo para identificação de indivíduos superiores. Essa etapa exige muita atenção por possibilitar ganhos expressivos, porém é passível de erros, principalmente quando são eliminados indivíduos portadores de alelos favoráveis. Em se tratando de espécies perenes, como é o caso do cajueiro, a etapa de seleção de clones em experimentos de competição é bastante demorada (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995). Assim, o conhecimento do número mínimo de avaliações com estimativas de alta confiabilidade é bastante importante para qualquer programa de melhoramento, por possibilitar a redução de tempo, recursos físicos, humanos e financeiros. Neste sentido, o coeficiente de repetibilidade é um parâmetro imprescindível ao melhorista, pois permite determinar quantas observações fenotípicas devem ser feitas para que a seleção de genótipos seja feita com eficácia (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

De acordo com Paterniani e Miranda Filho (1987), o sucesso do melhoramento de plantas depende de níveis significativos de variabilidade genética na população base e de um eficiente método de seleção, a fim de se obter combinações genéticas realmente superiores. Em

razão disso, a adoção de procedimentos genético-estatísticos mais refinados é uma tendência no melhoramento genético (PIMENTEL *et al.*, 2014), principalmente quando se trabalha com espécies perenes que exigem avaliações duradouras e a perda de informações é comum.

Atualmente, a metodologia REML/BLUP desenvolvida para o melhoramento genético animal é uma realidade nos programas de melhoramento de plantas. O BLUP (melhor predição linear não viciada) é um procedimento recomendado na predição de valores genéticos com o uso de componentes de variância estimados via REML (máxima verossimilhança restrita) (RODRIGUES *et al.*, 2013). Segundo Ramalho e Araújo (2011), essa metodologia, além de ser eficiente em condições de experimentos desbalanceados, permite a predição acurada e não viciada dos valores genéticos, propiciando informações mais fidedignas para a identificação de genótipos superiores.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram: i) verificar a existência de variabilidade genética em uma população de cajueiro-anão para alguns caracteres agronômicos; ii) inferir sobre o tipo de interação entre clones de cajueiro-anão e safras; iii) estimar os coeficientes de repetibilidade e os ganhos com a seleção para os caracteres mais relevantes do cajueiro-anão e iv) identificar clones com potencial genético para darem continuidade ao processo de obtenção de novos cultivares.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância socioeconômica do cultivo do cajueiro

O cultivo do cajueiro possui grande importância socioeconômica, já que a maior parte da produção é realizada por pequenos produtores, contribuindo para a geração de milhares de empregos na região Nordeste, distribuídos entre campo e indústria. A atividade também apresenta potencial para exploração em larga escala e tem sido desenvolvida por empresas agrícolas de médio e grande porte. Essa importância econômica pode ser atribuída à indústria de castanha de caju, voltada para a exportação e, à indústria do pedúnculo, voltada para o mercado interno, em que a maior porção é utilizada para o consumo *in natura* ou na produção de suco integral (LEITE; PESSOA, 2004; FIGUEIREDO JUNIOR, 2006; GUANZIROLI *et al.* 2009; PESSOA; LEITE, 2013).

A produção brasileira de caju atingiu 134.580 toneladas em 2017, em uma área colhida de 535.547 hectares. A região Nordeste foi responsável por 98,84% da produção. E o estado do Ceará destacou-se como o maior produtor brasileiro, com uma produção de 83.996 toneladas, seguido do Rio Grande do Norte, com 20.670 toneladas e do Piauí, com 16.976 toneladas. Já em termos de rendimento, o Brasil alcançou a marca de 251 kg/ha, sendo o Rio Grande do Norte o estado que apresentou o maior rendimento, com 338 kg/ha, seguido do Ceará, com 234 kg/ha e do Piauí, com 222 kg/ha (IBGE, 2018).

No entanto, a cajucultura vem apresentando sinais de declínio, com baixa produtividade e lucratividade. Essa situação foi agravada pelo longo período de seca que assolou a região entre 2012 e 2016, além da ocorrência de pragas e doenças. Dessa forma, a demanda interna de castanha de caju não está conseguindo ser suprida na região (VIDAL, 2017).

Cerca de 30 países ao redor do mundo produzem castanha de caju, porém, poucos são os que apresentam uma produção significativa. De acordo com a FAO (2018), o Vietnã, a Nigéria, a Índia e a Costa do Marfim foram os maiores produtores mundiais de castanha de caju em 2016, com 70,6% da produção global do produto. Já o Brasil, que em 2011 era o quinto maior produtor mundial, em 2016 ocupou a décima quarta posição.

Os preços recebidos pelos produtores de castanha de caju no mercado interno variaram entre R\$4,07 e R\$7,00/kg em 2017. E o valor de exportação Fob Fortaleza-CE alcançou a cotação média de R\$7,02/kg. Já para o mercado do pedúnculo, o preço pago pela caixa de 20 kg foi de R\$40,00, ou seja, R\$2,00/kg (CONAB, 2017). Dessa forma, pode-se

observar o motivo pelo qual a castanha do caju possui maior importância econômica, dentre todos os outros subprodutos.

O caju representa uma indústria de inúmeros produtos, com aproximadamente 30 subprodutos. Com isso, há uma grande perspectiva de crescimento do mercado brasileiro e mundial, havendo uma gama de produtos obtidos com o beneficiamento do caju. Doces, ração animal, líquido da castanha do caju (LCC) e tanino são alguns exemplos de subprodutos do caju (FIGUEIREDO JUNIOR, 2006; OLIVEIRA, 2008).

## 2.2 Aspectos gerais e fenologia do cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L) pertence à família Anacardiaceae. É uma planta perene, subcaducifólia e com ramificação baixa. Em função do porte das plantas, é classificado em dois tipos, o comum ou gigante e o anão (CRISÓSTOMO *et al.*, 2003). O tipo comum é mais encontrado naturalmente e caracteriza-se por apresentar porte mais elevado, podendo chegar a até 20 metros de altura, além de grande variação no formato da copa, na capacidade produtiva, na cor, formato e sabor do pedúnculo. A estrutura das flores que favorecem a polinização cruzada e o hábito de multiplicação por sementes são fatores determinantes que contribuem para essa variabilidade. (PARENTE *et al.*, 1991; CAVALCANTI; BARROS, 2009).

As primeiras formas de exploração do cajueiro foram as extrativistas e os plantios desorganizados nas propriedades (LIMA, 1988). Atualmente, a grande maioria dos pomares, explorados racionalmente, está localizada em pequenas e médias propriedades, por produtores isolados, associações ou assentamentos rurais. O restante concentra-se em grandes plantações com cajueiros comuns de pé-franco, altamente heterogêneos (ROSSETTI; MONTENEGRO, 2012; SERRANO; PESSOA, 2016).

De acordo com Cavalcanti e Barros (2009), o tipo anão, também conhecido por cajueiro de seis meses, é caracterizado por apresentar porte baixo, de 2 a 4 metros de altura, copa homogênea, diâmetro de caule e envergadura da copa inferiores ao tipo comum. Além disso, apresenta maior produtividade que o cajueiro comum, pois permite maior adensamento de plantas por área. Vários clones comerciais desse tipo foram selecionados e desenvolvidos pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), embora os trabalhos iniciais tenham sido realizados pela EPACE (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Ceará) (FREITAS *et al.*, 2014).

O cajueiro apresenta crescimento vegetativo intermitente, exibindo períodos alternados de acentuada atividade e outros de aparente repouso. A periodicidade do cajueiro

pode expressar-se em diversos graus de intensidade, podendo apresentar diferentes exigências em relação aos fatores ambientais (FROTA, 1988). Os fatores climáticos como umidade relativa do ar e intensidade e distribuição das chuvas parecem ser os principais fatores reguladores da periodicidade das fenofases do cajueiro, influenciando tanto as fases vegetativas quanto as reprodutivas (ALMEIDA *et al.*, 1995; FROTA; PARENTE, 1995).

No município de Pacajus, CE, Parente *et al.*, (1991) verificaram que entre os meses de janeiro a abril, tanto o cajueiro-anão quanto o comum, apresentaram escassa ou nenhuma emissão de fluxo de crescimento, período que concentra a maior parte das chuvas nas regiões produtoras do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, conhecido como quadra chuvosa.

De acordo com Barros (1995), observam-se duas fases de crescimento dos ramos do cajueiro, um fluxo vegetativo e um reprodutivo. No fluxo vegetativo observam-se dois tipos de ramificações. Uma intensiva ou produtiva, em que os ramos apresentam uma inflorescência no ápice, e outra extensiva ou vegetativa, em que os ramos crescem com posterior repouso da gema apical, sem emissão de panícula. Conseqüentemente, a predominância de ramos intensivos caracteriza uma planta com maior produção.

A floração do cajueiro comum inicia-se no segundo ou terceiro ano, enquanto que o florescimento do cajueiro-anão ocorre já no primeiro ano (ALMEIDA *et al.* 1995; BARROS; 1995). No cajueiro-anão, tanto as mudas provenientes de sementes como mudas enxertadas tendem a emitir panículas precocemente (SERRANO *et al.*, 2010). Assim como a floração, a frutificação do cajueiro-anão precoce também pode se iniciar no primeiro ano. Porém, não é recomendável mantê-la, já que isto pode afetar negativamente o desenvolvimento da planta (SERRANO; OLIVEIRA, 2013).

De acordo com Barros (1988), o fruto (castanha) é um aquênio reniforme, composto pelo pericarpo e pela amêndoa (semente), que se prende à panícula por um pedúnculo hipertrofiado (pseudofruto). O pseudofruto, pedúnculo, ou caju propriamente dito, refere-se a uma baga carnosa de diversos formatos e cores (LIMA, 1988).

### **2.3 Pragas e doenças no cajueiro**

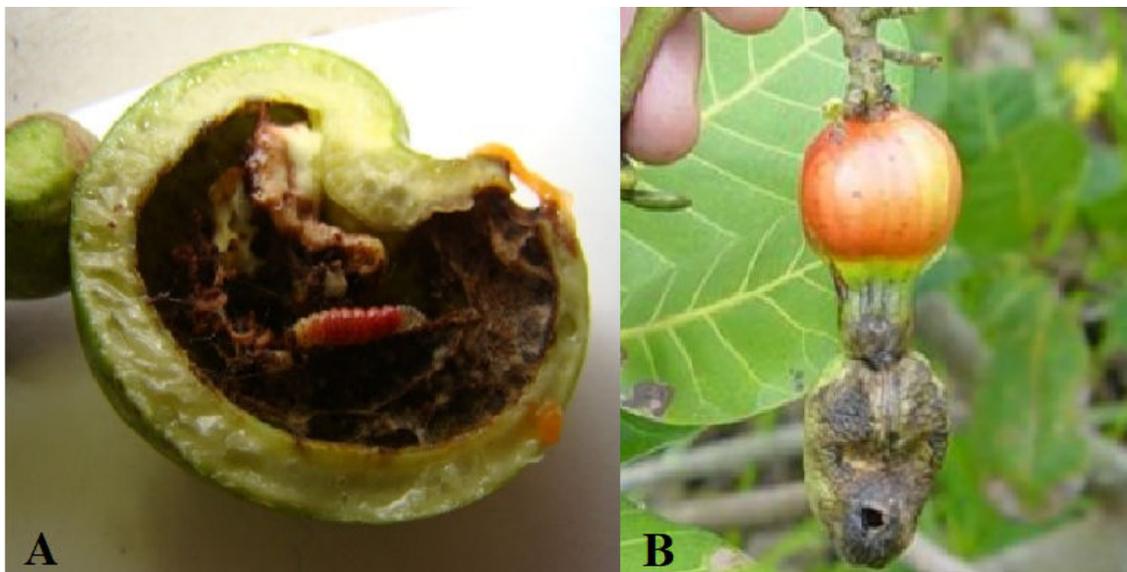
O cajueiro, além de ter grandes áreas plantadas, é uma espécie que ocorre espontaneamente em todas as regiões do Brasil, com uma concentração grande na região Nordeste. Com o lançamento de clones do tipo anão, essa cultura vem apresentando um crescimento acentuado, tanto em área de cultivo quanto em nível tecnológico, devido às modernas técnicas de manejo empregadas. Porém, esse avanço contribuiu para uma redução da

variabilidade genética dos pomares, o que refletiu no aumento da vulnerabilidade das plantas a uma série de patógenos (MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013; CARDOSO *et al.*, 2013).

### 2.3.1 Traça-da-castanha (*Anacamptis phytomiella* Busck - *Lepidoptera: Gelechiidae*)

É considerada a principal praga dos frutos do cajueiro, em função dos graves danos econômicos causados, pois a ação da praga resulta na destruição da amêndoa, em condições de campo. Essa praga pode causar até 30% de perdas na produção caso não seja controlada (EMBRAPA, 2004; MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013).

O inseto adulto é uma mariposa de aproximadamente 13 mm de envergadura. Próximo à fase de pupa, a lagarta apresenta 12 mm de comprimento, de coloração rosa clara e cabeça preta. A lagarta penetra na castanha quando ainda está na fase de maturi, sem deixar vestígios da penetração e, aos poucos, vai consumindo a amêndoa (Figura 1A), tornando-a imprestável para a comercialização. Esta, antes de tornar-se pupa, abre um orifício circular na parte final da castanha, por onde o inseto adulto sairá (Figura 1B). Quando detectada uma porcentagem de 5% de castanhas furadas, o controle químico deve ser realizado (MESQUITA; BRAGA SOBRINHO, 2013).



**Figura 1.** (A) Amêndoa destruída pela traça-da-castanha. (B) Furo na castanha feito pela traça-da-castanha. Fonte: MESQUITA, A. L. M.

### 2.3.2 Oídio (*Oidium anacardii* Noack)

A ocorrência do oídio sobre a produção de pedúnculo e castanha tem sido um dos fatores que mais contribuem para perdas de ordem qualitativa e quantitativa na cajucultura. Essa doença foi descrita pela primeira vez no Estado de São Paulo, em 1898 (NOACK, 1898), sendo, posteriormente, detectada em todas as áreas produtoras de caju no Nordeste do Brasil (SERRANO *et al.*, 2013; CARDOSO *et al.*, 2013).

De acordo com Freire *et al.* (2002), o oídio, até recentemente, manteve-se como uma doença de importância secundária. Porém, nos últimos anos tem se destacado como uma doença de grande importância, não só pela ocorrência endêmica, mas, sobretudo, pelo dano causado. O sintoma apresentado caracteriza-se por um revestimento branco-acinzentado e pulverulento sobre o limbo foliar (Figura 1A). E em outras estruturas da planta, como as inflorescências, maturis (Figura 1B), pedúnculos (Figura 1C) e castanhas (Figura 1D), provocando o abortamento de flores, além de deformações, rachaduras e variolas nos pedúnculos e castanhas (CARDOSO *et al.*, 2013).



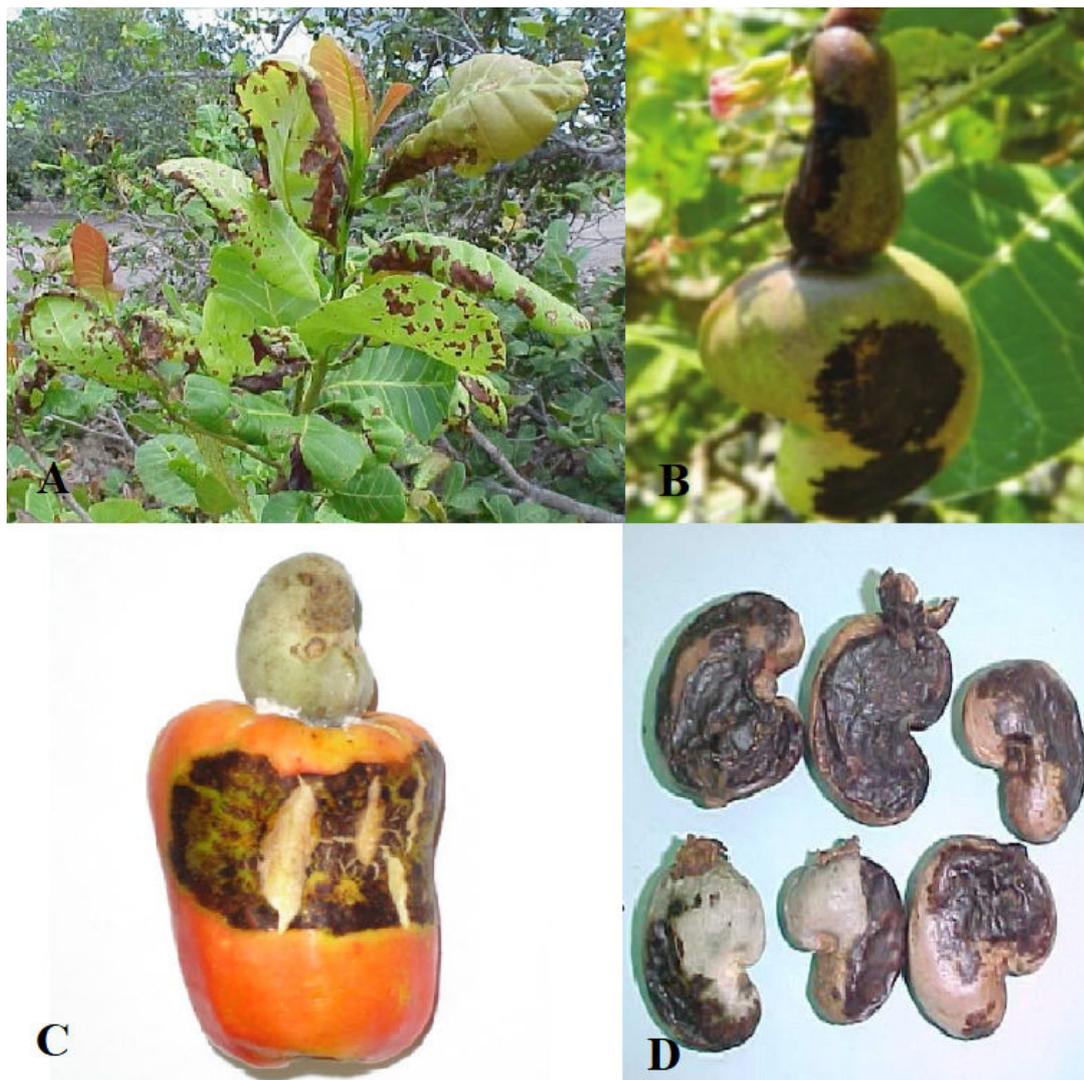
**Figura 2.** (A) Sinal de oídio em folhas velhas. (B) Sinal generalizado do oídio na superfície do maturi. (C) Sintoma de oídio no pseudofruto maduro. (D) Castanhas de caju com diferentes intensidades de infestação por oídio. Fonte: (A) [www.agrolink.com](http://www.agrolink.com); (B) MARTINS, M. V. V.; (C) EMBRAPA; (D) SERRANO, L. A. L.

No Brasil, são poucas as pesquisas acerca dos recentes danos causados pelo oídio na produção de castanha de caju. Porém, observações feitas na Tanzânia atribuem perdas de 50% a 70% na produção causadas por essa doença (MARTIN *et al.*, 1997).

### 2.3.3 Antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz. & Sacc)

A antracnose é a doença mais difundida e conhecida em todas as regiões de cultivo de cajueiro, até mesmo em plantios naturais (FREIRE; CARDOSO, 1995). O fungo é responsável por grandes reduções na produtividade de castanha e pedúnculo, causando prejuízos de grande magnitude. Os sintomas da antracnose podem ser observados em toda parte aérea da planta, porém, são mais comuns nas folhas, com manchas irregulares e de coloração parda nas folhas jovens, tornando-se avermelhadas conforme as folhas envelhecem. Quando os sintomas atingem um grau mais severo, toda a folhagem fica retorcida (Figura 3A) (CARDOSO *et al.*, 2013).

O fungo pode afetar também as inflorescências, onde observam-se lesões da doença sobre quase toda a área. No maturi (Figura 3B), observa-se necrose. Na castanha (Figura 3D) e no pedúnculo, os sintomas principais são lesões escuras, arredondadas e deprimidas. No pedúnculo pode ocorrer rachaduras e apodrecimento total (Figura 3C). Essa doença torna-se importante quando as condições climáticas são favoráveis e o cajueiro encontra-se na fase de lançamento foliar ou floral. Já foram registradas perdas de 40% no volume total da produção. A eliminação de restos culturais, o controle químico preventivo e plantio de clones resistentes ou tolerantes têm permitido estabelecer novas formas de combate a essa doença (PONTE, 1984; CARDOSO *et al.*, 2013).



**Figura 3.** (A) Sintomas de antracnose em folhas de cajueiro. (B) Sintomas De antracnose no maturi. (C) Sintomas de antracnose no pedúnculo. (D) Sintomas de antracnose nas castanhas. Fonte: CARDOSO, J. E.

#### **2.2.1.4 Mofo-preto (*Pilgeriella anacardii* Arx & Müller)**

O mofo-preto foi relatado inicialmente em plantas de cajueiro comum, no estado do Maranhão (BATISTA *et al.*, 1964). Entretanto, é no cajueiro-anão que a incidência e severidade são mais comumente observadas, com danos de até 35% na produção de castanhas no litoral cearense (CARDOSO *et al.*, 2005).

O cajueiro é o único hospedeiro registrado para esse fungo. O sintoma de ocorrência é caracterizado por pequenas manchas arredondadas e amareladas na face inferior da folha madura (Figura 4A), que se tornam pardas e pretas, tomando toda a superfície abaxial, daí a denominação de mofo-preto (Figura 4B). As plantas, também, reduzem sua capacidade fotossintética em decorrência da pronunciada queda foliar (BARROS *et al.*, 1993; CARDOSO

*et al.*, 2000; FREIRE *et al.*, 2002). De acordo com Cardoso *et al.* (2000), esse fungo inicia seu ciclo, em cajueiro-anão, no começo do período chuvoso, atingindo seu ponto máximo no final desse período. Assim, pode-se concluir que a umidade é um importante fator nesse processo.



**Figura 4.** (A) Sinais iniciais de mofo-preto nas folhas de cajueiro. (B) Sinais de mofo-preto nas folhas de cajueiro com alto grau de infestação. Fonte: MARTINS, M. V. V.; CARDOSO, J. E.

## 2.4 Melhoramento genético do cajueiro no Brasil

No Brasil, o melhoramento genético do cajueiro foi iniciado logo após a descoberta dessa espécie como alternativa econômica. No entanto, somente na década de 1950 é que algumas ações com base científica passaram a ser adotadas (VIDAL NETO *et al.*, 2013). O melhoramento genético dessa cultura assumiu um papel importante no sentido de disponibilizar ao mercado, clones superiores que colaboraram para o estabelecimento da cajucultura como atividade rentável e sustentável no Brasil (VALE *et al.*, 2014).

O melhoramento do cajueiro-anão teve início no Ceará em 1965, no Campo Experimental de Pacajus com o cajueiro-anão por meio de seleção fenotípica individual. Embora simples, essa metodologia permitiu o lançamento dos primeiros clones comerciais, CCP 06 e CCP 76, em 1983 e, CCP 09 e CCP 1001, em 1987 (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995).

### 2.4.1 Objetivos do programa de melhoramento da Embrapa

De forma geral, o objetivo de muitos programas de melhoramento é a obtenção de cultivares com alto potencial produtivo, elevada adaptabilidade e estabilidade, expressões fenotípicas superiores no que se refere à altura de planta, precocidade, resistência a pragas e

doenças, qualidades nutricionais e industriais. Visando atender a essas demandas, o programa de melhoramento do cajueiro tem como objetivo o aproveitamento da amêndoa e do pedúnculo. Assim, a seleção tem sido orientada para planta com produtividade de castanha superior a 1.300 kg ha<sup>-1</sup>, com porte baixo (3 a 4 metros), a fim de facilitar a colheita manual e aproveitamento do pseudofruto, com características aceitáveis de cor (variando de vermelho a laranja, porém, no mercado brasileiro a preferência é por pedúnculo com coloração alaranjada ou avermelhada), formato de pera, textura e sabor (doce), maior período de conservação, consistência firme de polpa, baixa acidez e teor de tanino (baixo travo) adequados às preferências do consumidor; castanhas com peso maior que 8 g, que apresentem facilidade de desprendimento do pedúnculo, facilidade na despeliculagem da amêndoa e amêndoas resistentes a formação de “bandas” (VIDAL NETO *et al.*, 2013; MOURA, 2018).

#### **2.4.2 Estratégias de melhoramento**

A escolha do método, bem como a condução de um programa de melhoramento estão diretamente relacionadas com a biologia reprodutiva da espécie. Como o cajueiro se reproduz predominantemente por fecundação cruzada, o método a ser utilizado deve ser inerente a esse grupo de plantas (BARROS *et al.*, 2002).

De acordo com Barros *et al.* (2002), os programas de melhoramento do cajueiro compreendem comumente as seguintes etapas: introdução de germoplasma, teste de progênies, seleção individual e hibridação. As estratégias de melhoramento concentram-se, portanto, na geração e seleção de híbridos superiores, combinados com a propagação vegetativa de clones elite (CAVALVANTI *et al.*, 2007).

Como o cajueiro é uma espécie que também pode ser reproduzida assexuadamente, alguns outros métodos podem ser adotados, tais como: melhoramento populacional, que tem como objetivo aumentar a frequência de alelos favoráveis nas populações, sendo o método de seleção recorrente de famílias de meios-irmãos o mais empregado (CAVALVANTI; RESENDE, 2010); melhoramento clonal, onde os clones são obtidos de plantas selecionadas pela soma dos atributos favoráveis; e melhoramento populacional seguido de melhoramento clonal, em que os clones são obtidos nas famílias formadas a partir das plantas selecionadas (CRISÓSTOMO *et al.*, 1999).

Alguns métodos foram adotados nas pesquisas direcionadas ao cajueiro-anão com o intuito de ampliar a estreita base genética nos clones disponíveis, possibilitando uma maior variabilidade. Dentre eles:

#### **2.4.2.1 Introdução de germoplasma**

Este é o método mais antigo para a obtenção de novas fontes de variação. Por intermédio dele é possível originar novos clones por meio da seleção. Porém, esse método se limita mais à manutenção de germoplasma, funcionando como fonte de novos alelos necessários ao melhoramento genético (BARROS *et al.*, 2002).

Para alcançar êxito com essa metodologia, é necessária a presença de indivíduos superiores para a formação dos clones que entrarão no processo de competição. Dessa forma, o processo de seleção de clones depende da variabilidade genética existente na população base. O melhoramento do cajueiro-anão teve início com a introdução de algumas plantas oriundas do município de Maranguape. Estas plantas se destacaram principalmente pela precocidade e porte reduzido, e deram início ao lançamento de alguns clones de cajueiro do tipo anão (CRISÓSTOMO *et al.*, 1999; VALE, 2012).

#### **2.4.2.2 Hibridação**

A utilização da hibridação para a exploração da heterose apresenta-se como uma estratégia de grande potencial, devendo ser explorada, ainda que apresente baixa porcentagem de sucesso no pegamento dos cruzamentos, em torno de 5% (CAVALCANTI; VIDAL NETO; BARROS, 2013). O cruzamento entre clones de cajueiro resulta em progênies segregantes, em razão de cada indivíduo ser um híbrido em essência. Os indivíduos obtidos segregam já na F1, devendo ser iniciada a seleção dos melhores indivíduos. Obviamente, deve-se ter o cuidado para que não ocorram eliminações drásticas (BARROS *et al.*, 2009) e com isso sejam descartados indivíduos geneticamente superiores.

Os efeitos benéficos da hibridação podem ser expressos geneticamente na heterose ou vigor híbrido. A heterose é o incremento de vigor de uma planta oriunda de um cruzamento, podendo ser observada nos caracteres agrônômicos, como altura da planta, produtividade, competitividade, entre outros (ALLARD, 1971). Segundo Cavalcanti *et al.*, (2000), o desenvolvimento de clones-elite por meio de hibridações artificiais entre cajueiro-anão e cajueiro comum, seguido da seleção de plantas superiores dentro das progênies, é uma estratégia valorosa para a ampliação da variabilidade e para a obtenção de ganhos genéticos nessa cultura.

De acordo com Cavalcanti e Barros (2009), o vigor híbrido do cajueiro presente nas novas combinações é captado, em sua totalidade, logo na primeira geração, pela seleção e clonagem dos indivíduos superiores. Isso é possível devido à propagação vegetativa, permitindo fixação imediata dessas combinações genéticas.

### **2.4.2.3 Seleção recorrente**

O método de seleção recorrente procura melhorar o desempenho das populações de forma contínua e progressiva. Essa melhor performance é obtida por meio do aumento gradativo dos alelos favoráveis dos caracteres sob seleção, sobretudo para o caráter de maior interesse agrônômico que é o aumento da produção, mantendo a variabilidade genética em proporções adequadas, necessária para possibilitar ganhos genéticos nos ciclos subsequentes (RANGEL *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013).

Atualmente a seleção recorrente de famílias de meios-irmãos é o método mais empregado no cajueiro, especialmente pela exploração da heterose, mediante cruzamentos entre os tipos de cajueiro-anão e comum. O cajueiro do tipo comum geralmente é usado por apresentar maior base genética e assim são utilizados genótipos com os melhores desempenhos e as mais altas capacidades específicas de combinação (CAVALCANTI; BARROS, 2009).

A grande maioria dos clones comerciais de cajueiro lançados é produto da seleção fenotípica em populações de meios-irmãos (populações naturais ou melhoradas), com ausência de controle parental ou conhecimento apenas dos genitores femininos (CAVALCANTI *et al.*, 2012). Essas progênies são oriundas de polinizações livres, ao acaso por autofecundação ou cruzamento, resultando em grande variabilidade genética dentro das parcelas (VIDAL NETO, *et al.*, 2013).

### **2.4.2.4 Seleção precoce intensiva**

Pelo fato do cajueiro ser uma planta perene, uma das principais limitações para a disponibilização de novas cultivares ou clones, é o tempo gasto para o seu desenvolvimento. Além disso, necessita de grandes áreas experimentais, em virtude do espaçamento utilizado entre as plantas. Tendo em vista estas limitações, o método de seleção precoce intensiva foi adotado no programa de melhoramento genético do cajueiro, com o intuito de aumentar o ganho genético por área de experimentação e unidade de tempo (CAVALCANTI; RESENDE, 2010).

Esse método se baseia na seleção de caracteres de alta herdabilidade, objetivando a eliminação de indivíduos inferiores em estádios iniciais da cultura, seguida da seleção dos melhores indivíduos, posteriormente, na fase adulta. Para a conclusão do processo seletivo, em razão dos caracteres de baixa herdabilidade necessitarem de um maior período de avaliação, a seleção continua como no método tradicional. Esse método apresentou-se eficiente na cultura do cajueiro, reduzindo o tempo de lançamento de um clone de 14 para 9 anos (CAVALCANTI; RESENDE, 2010).

#### **2.4.2.5 Obtenção e seleção de clones**

No melhoramento de plantas de propagação vegetativa, a seleção de clones é uma etapa utilizada, tanto após a introdução de germoplasma, como quando a hibridação for o processo adotado. A presença de indivíduos superiores para a obtenção dos clones que entrarão no processo de competição é fator determinante para o êxito dessa metodologia. Portanto, o sucesso do processo de seleção clonal depende da variabilidade genética existente na população base (CRISÓSTOMO *et al.*, 1999).

Quando se tem uma população base com grande variabilidade genética, pode-se melhorá-la apenas com o processo de seleção. De acordo com Reis *et al.* (2004), a seleção assume grande importância no progresso genético, pois visa a acumular alelos favoráveis aos caracteres de interesse da cultura.

Recomenda-se que a intensidade de seleção seja menor no início do programa, mesmo quando se busca melhorar caracteres quantitativos. A intensificação da seleção deve ser realizada apenas quando o número de indivíduos for suficientemente reduzido a ponto de possibilitar avaliações com repetições para melhor inferência acerca da variância genética. Isso torna-se possível quando a seleção é realizada com base em dados obtidos a partir de ensaios com repetições, conduzidos em vários locais e em diferentes anos (safras) (CRISÓSTOMO *et al.*, 1999).

Segundo Cavalcanti e Barros (2009), uma das grandes vantagens da seleção clonal é possibilitar ganhos mais rápidos com a seleção, visto que, em qualquer etapa do melhoramento genético do cajueiro, pode-se realizar a multiplicação assexuada dos melhores indivíduos.

### **2.5 Repetibilidade**

No processo de escolha de um genótipo, espera-se que sua superioridade seja conservada durante toda a sua vida. A confiabilidade dessa expectativa pode ser comprovada pelo coeficiente de repetibilidade do caráter estudado, que é possível de ser estimado quando a medição do referido caráter é realizada repetidas vezes em um mesmo indivíduo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). De acordo com DoVale (2011), a análise de repetibilidade retrata a correlação entre medidas sucessivas de um caráter e pode servir como base para que a superioridade ou inferioridade de um genótipo permaneça tanto no tempo quanto no espaço.

A proporção da variância total, que é explicada pelas variações atribuídas ao genótipo e pelas alterações permanentes do ambiente comum, é expressa pela repetibilidade. A natureza do caráter, as propriedades genéticas da população e as condições ambientais as quais

as plantas são mantidas, são fatores que influenciam as estimativas de repetibilidade do indivíduo (ABEYWARDENA, 1972; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Uma grande utilidade do coeficiente de repetibilidade é a possibilidade de determinar quantas observações fenotípicas são necessárias em cada indivíduo para que a discriminação fenotípica entre genótipos seja feita. Neste sentido, permite uma avaliação do dispêndio de tempo e mão de obra necessários. Valores altos do coeficiente de repetibilidade do caráter avaliado indicam que é possível predizer, com precisão, o valor dos indivíduos, com um número relativamente pequeno de avaliações. Isso indica que o acréscimo no número de observações resultará em pouco acréscimo na precisão (FALCONER, 1987; CORNACCHIA *et al.*, 1995). No entanto, quando a repetibilidade é baixa, o aumento no número de avaliações poderá resultar em um acréscimo significativo no ganho de precisão (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

De acordo com Falconer (1987), a repetibilidade representa o limite superior do coeficiente de herdabilidade. Quando a variância induzida pelos efeitos permanentes do ambiente é minimizada, a repetibilidade se aproxima da estimativa de herdabilidade no sentido amplo. No estudo de repetibilidade em genótipos estabilizados, há em alguns casos, a possibilidade de um determinado caráter ser regulado por conjuntos gênicos diferentes, pois os genes podem estar mais ou menos ativos, em razão do estágio de desenvolvimento da planta (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Dessa forma, o número de frutos colhidos de uma planta na última colheita pode ser diferente daquele observado na primeira colheita.

Em café robusta, Fonseca *et al.*, (2004) reportaram que quatro colheitas sucessivas são suficientes para a seleção de genótipos produtivos, com uma precisão de mais de 80% na predição dos valores genotípicos reais. Os autores também concluíram que o incremento obtido para a precisão da seleção de genótipos ao utilizar mais de quatro medições é de baixa magnitude e torna-se insignificante a partir da sexta safra.

Dias e Kageyama (1998) objetivaram estimar o período mínimo de sucessivas medições necessárias para avaliar o potencial de produção do cacaueiro. Os autores observaram estimativas de repetibilidade superiores a 0,84 para número de frutos sadios por planta, número de frutos por planta e número de sementes úmidas por planta e por fruto. Assim, concluíram que é possível selecionar genótipos com precisão de 90% usando apenas dois anos de safras sucessivas. Resultados semelhantes foram relatados por Lopes *et al.* (2001) para comprimento de fruto, diâmetro médio de fruto, peso médio de fruto, vitamina C e acidez titulável em aceroleira. Entretanto, para sólidos solúveis totais e relação peso da polpa/peso do fruto são necessárias bem mais medições para se alcançar a mesma precisão. Portanto, isso reitera a

variação da repetibilidade entre caracteres e que mais estudos devem ser realizados na tentativa de identificar um número de medições que contemple o maior número de atributos por espécie.

No cajueiro, estudos com repetibilidade ainda são pouco explorados. Cavalcanti *et al.* (2000) relataram que três avaliações para o caráter produção de castanha e duas para os caracteres altura de planta e diâmetro de copa são suficientes para selecionar indivíduos de cajueiro-anão com 95% de certeza da predição dos seus valores reais, a partir do segundo ano de idade das plantas. Quando Cavalcanti *et al.* (2007) avaliaram híbridos de cajueiro-anão via REML/BLUP concluíram que quatro medições seriam necessárias para alcançar 80% de precisão para número de castanhas por planta e produção de castanha e, apenas uma medição para peso de castanha, peso de amêndoa e relação entre amêndoa e castanha, a partir do terceiro ano de idade das plantas. Como o coeficiente de repetibilidade muda conforme ambiente e genótipos avaliados, torna-se necessário gerar mais informações a esse respeito para que se estabeleça um número mínimo de medidas a serem realizadas pelos programas de melhoramento do cajueiro.

## **2.6 Modelos mistos- REML/BLUP**

A experimentação a campo envolvendo culturas perenes apresenta certas particularidades, dentre as quais destacam-se o desbalanceamento de dados devido a vários motivos, como perdas de plantas e parcelas, rede de experimentos com diferentes números de repetições por experimento, variabilidade ambiental e heterogeneidade entre medidas repetidas tomadas em uma mesma unidade experimental, dentre outros fatores. Com o intuito de contornar esses problemas, deve-se adotar o procedimento REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood/ Best Linear Unbiased Prediction*) quando os efeitos de tratamentos forem considerados aleatórios (RESENDE, 2004).

A metodologia REML/BLUP conduz à maximização do ganho genético por avaliar e ordenar os indivíduos passíveis de seleção com precisão, e por gerar estimativas não tendenciosas dos parâmetros (HAYES; HILL, 1990). Dentre as vantagens dessa metodologia estão a possibilidade do uso de dados desbalanceados; uso da covariância genética entre as observações; ponderação dos genótipos com número desigual de informações, na mesma ou em diferentes gerações; utilização simultânea de informações de diferentes gerações ou locais, gerando dados acurados; permite a estimação da acurácia seletiva e do intervalo de confiança do valor genético predito para cada indivíduo; corrige os dados para efeitos ambientais; não exige estruturas rígidas de experimentação; prediz os valores genéticos de maneira precisa e

não viesada, levando à maximização dos ganhos com a seleção e permite a inclusão de informações de parentesco (RESENDE & ROSA-PEREZ, 2001).

Para Resende e Duarte (2007), em se tratando de modelos mistos, é possível considerar os efeitos genéticos e ambientais como fixos ou aleatórios dependendo da situação. Em geral, os efeitos de tratamentos genéticos devem ser considerados como aleatórios quando o número de tratamentos for igual ou maior que dez. Estatisticamente, essa consideração minimiza o erro quadrático médio na predição dos valores genéticos. Só assim, pode-se realizar a seleção genética, caso contrário, a seleção é fenotípica (BORGES *et al.*, 2010).

O uso de estratégias de avaliação genética baseadas no modelo REML/BLUP é crucial para a predição de valores genotípicos, que são variáveis não observáveis de natureza aleatória que devem ser preditas pelo melhorista a partir de valores fenotípicos. Sabe-se que os valores genéticos preditos não são iguais aos valores reais dos indivíduos, dessa forma, a correlação entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros pode ser avaliada pela acurácia, que traz inferências acerca da proximidade entre esses valores. Assim, quanto maior for a precisão da avaliação, maior será a acurácia do valor genético (VAN VLECK, 1987).

O procedimento REML/BLUP consiste em estimar os componentes de variância a partir de um modelo estatístico que se baseia fortemente em métodos numéricos, principalmente em álgebra linear numérica, visando à obtenção da iteração das equações de modelo misto, para obtenção do BLUP e, no cálculo numérico de funções de várias variáveis visando à obtenção das estimativas REML (HENDERSON, 1975; RESENDE, 2004).

Na análise de modelos mistos os efeitos do modelo não são testados via teste F, como é o caso da análise de variância. Nesse caso, o teste cientificamente recomendado é o teste da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* – LRT) (STURION; RESENDE, 2010). O teste LRT gera uma tabela denominada de análise de deviance (ANADEV), análoga à ANOVA, em que são expressos valores que representam a qualidade do ajuste entre os dados observados e os gerados pelo modelo (RESENDE, 2007).

De acordo com Resende (2002), em razão do longo prazo e altos custos na condução de programas de melhoramento de culturas perenes, torna-se imprescindível o uso de procedimentos de seleção mais acurados. Em razão disso, essa metodologia vem sendo cada vez mais utilizada em frutíferas, como o cajueiro-anão (MAIA *et al.*, 2009; CAVALCANTI *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013), maracujá azedo (SILVA *et al.*, 2017) e florestais como o açazeiro (FARIAS NETO; RESENDE; OLIVEIRA, 2011), cacauzeiro (RESENDE, 2000), eucalipto (GARCIA; NOGUEIRA, 2005) e pinus (RESENDE *et al.*, 1996). Ultimamente tem

vido empregada em culturas anuais como arroz (BORGES *et al.*, 2009), feijão (COIMBRA *et al.*, 2008) e milho-pipoca (FREITAS *et al.*, 2013).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus (4°19'S; 38°5'O e 60 m de altitude), pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, localizado no Município de Pacajus, litoral leste do Estado do Ceará. A localidade possui clima predominantemente Tropical Quente Úmido (Aw), de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (AGUIAR; BARRETO JÚNIO; LIMA, 2003), com pluviosidade média de 1.100 mm/ano, embora no período de avaliação do experimento, tenha apresentado médias sempre abaixo (Tabela 1). Possui solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA; OLIVEIRA; AQUINO, 2002).

**Tabela 1.** Pluviosidades da cidade de Pacajus-CE e produtividades médias, nos anos de avaliação do experimento.

Meses	Anos					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	38,5	29,3	-	62,4	140,9	16,6
Fevereiro	206,9	95,0	109,8	93,6	62,5	204,2
Março	136,2	76,0	162,2	268,7	55,1	374,1
Abril	39,4	173,7	90,1	248,1	134,5	134,5
Mai	4,0	88,3	133,8	19,7	44,9	94,8
Junho	66,5	76,8	8,7	22,4	25,8	32,4
Julho	17,0	21,5	6,0	102,0	0,0	94,8
Agosto	-	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Setembro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Outubro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Novembro	0,0	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Dezembro	0,0	5,8	-	30,0	20,6	20,8
Total (mm)	508,5	593,5	510,6	846,9	484,3	972,4
PROD Média (kg/ha)	20,56	119,69	252,20	418,93	508,81	1036,90

Fonte: FUNCEME, 2018.

#### 3.2 Condução e delineamento experimental

O experimento foi instalado em 2011 no regime de sequeiro. Foram utilizadas mudas clonadas em tubetes, provenientes de plantas de cajueiro-anão (Tabela 2), previamente selecionados para as condições edafoclimáticas da região litorânea do Ceará.

**Tabela 2.** Identificação dos clones de cajueiro do tipo anão e procedência.

TRATAMENTOS	CLONES/TESTEMUNHAS	PROCEDÊNCIA
1	CAP Pro-105/5	Progênie MI Pacajus 2007
2	CAP Pro-111/3	Progênie MI Pacajus 2007
3	CAP Pro-112/8	Progênie MI Pacajus 2007
4	CAP Pro-121/1	Progênie MI Pacajus 2007
5	CAP Pro-131/2	Progênie MI Pacajus 2007
6	CAP Pro-143/7	Progênie MI Pacajus 2007
7	CAP Pro-145/2	Progênie MI Pacajus 2007
8	CAP Pro-145/7	Progênie MI Pacajus 2007
9	CAP Pro-150/3	Progênie MI Pacajus 2007
10	CAP Pro-155/2	Progênie MI Pacajus 2007
11	CAP Pro-158/8	Progênie MI Pacajus 2007
12	CAP Pro-161/7	Progênie MI Pacajus 2007
13	CAP Pro-163/8	Progênie MI Pacajus 2007
14	CAP HRMG-31	Híbrido MG IC Resinose 2007
15	CAP HRMG-51	Híbrido MG IC Resinose 2007
16	CAP HRMG-71	Híbrido MG IC Resinose 2007
17	CAP HRMG-92	Híbrido MG IC Resinose 2007
18	CAP HRMG-113	Híbrido MG IC Resinose 2007
19	CAP HRMG-120	Híbrido MG IC Resinose 2007
20	CAP HRMG-155	Híbrido MG IC Resinose 2007
21	CAP HRMG-165	Híbrido MG IC Resinose 2007
22	CAP HRMG-170	Híbrido MG IC Resinose 2007
23	CAP H-106/1	Avaliação Híbridos IC 2007
24	CAP H-111/2	Avaliação Híbridos IC 2007
25	CAP H-120/2	Avaliação Híbridos IC 2007
26	CAP H-128/2	Avaliação Híbridos IC 2007
27	CAP H-127/3	Avaliação Híbridos IC 2007
28	CAP Pro-115/5	Progênie MI Paraipaba 2007
29	CAP Pro-120/4	Progênie MI Paraipaba 2007
30	CAP Pro-123/6	Progênie MI Paraipaba 2007
31	CAP Pro-130/1	Progênie MI Paraipaba 2007
32	CAP Pro-157/2	Progênie MI Paraipaba 2007
33	CAP Pro-805/4	Progênie MI Paraipaba 2007
34	CCP 76	Cultivar comercial (Pro MI)
35	BRS 226	Cultivar comercial (Pro MI)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Esse experimento consistiu em um experimento de competição de clones, cujo delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 35 tratamentos – 33 clones experimentais extraídos de outros experimentos + 2 testemunhas comerciais; oito repetições e

uma planta por parcela. Adotou-se o espaçamento de 8 m entre fileiras e 6 m entre plantas, o que totalizou 13.440 m<sup>2</sup> de área útil. As avaliações foram realizadas durante seis safras, isto é, de 2012 a 2017. Todos os tratos culturais foram conduzidos de acordo com a recomendação para o plantio comercial de caju em cultivo de sequeiro na região (BARROS *et al.*, 1993).

As testemunhas utilizadas foram as cultivares CCP 76 e BRS 226. O clone CCP 76 é o mais plantado atualmente devido a sua dupla aptidão (caju de mesa e amêndoa), à atratividade e qualidade do pedúnculo (alto teor de sólidos solúveis, baixo teor de taninos e coloração alaranjada), além da adaptabilidade a diversos ambientes, apesar de não ser um dos mais produtivos. Foi desenvolvido para condições de sequeiro, porém pode ser recomendado também para o cultivo irrigado. Já o clone BRS 226 é recomendado para cultivo comercial, em regime de sequeiro, destinado à produção de castanha, por ser bastante produtivo. Possui pedúnculo de coloração alaranjada, com teor de vitamina C elevado e alto teor de sólidos solúveis. Tem como principal característica a resistência à resinose, doença que afeta bastante a cultura do cajueiro (VIDAL NETO *et al.*, 2013).

### 3.3 Caracteres avaliados

As plantas foram avaliadas durante as seis safras quanto aos seguintes caracteres:

- a) Altura de planta (AP): medida, em metros, da base da planta até seu ápice com auxílio de uma régua métrica;
- b) Diâmetro de copa (DC): medida, em metros, da projeção da copa realizada no sentido das entrelinhas com auxílio de uma fita métrica.
- c) Produtividade de castanha (PROD): pesagem, em quilos, da produção de castanha obtida em cada planta constituinte das parcelas, com extrapolação dos valores obtidos para a produção por hectare, expresso em kg.ha<sup>-1</sup>.
- d) Peso médio de castanha (PMC): peso médio, em gramas, de uma amostra de 100 castanhas colhidas em cada planta.
- e) Porcentagem de castanhas furadas (%CF): contagem das castanhas furadas em uma amostra de 100 castanhas colhidas em cada planta.
- f) Ocorrência de doenças: para a avaliação de doenças, em particular a incidência de oídio na inflorescência e na castanha, antracnose e mofo-preto, utilizou-se uma escala de notas descritivas, contendo cinco diferentes notas; em que: Nota 0: Plantas sem sintomas visíveis; Nota 1: plantas com sintomas cobrindo até 10% da estrutura analisada; Nota 2: plantas com sintomas cobrindo até 25% da estrutura analisada; Nota 3: plantas com sintomas cobrindo até 50% da estrutura

analisada; Nota 4: plantas com sintomas cobrindo mais que 50% da estrutura analisada (CARDOSO *et al.*, 2002). Cada planta foi avaliada com uma nota correspondente à incidência da doença, sendo a nota máxima dada para a planta com infecção em todos os pontos, e a nota mínima corresponde à ausência total da doença na planta.

### 3.4 Análises estatísticas

Foi realizada a transformação dos dados com o auxílio do *Software* estatístico RStudio, porém não foi detectada modificação na normalidade dos dados.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de deviance (ANADEV), por meio do método da Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Preditor Linear Não-Viesado (REML/BLUP), onde estabeleceram-se os seguintes pontos, de acordo com (FRITSCHENETO; RESENDE; DoVALE 2012): 1) obtenção do ponto de máximo do logaritmo da função de verossimilhança residual (Log L) para modelos com e sem o efeito a ser testado; 2) obtenção da deviance  $D = -2 \text{ Log L}$  para modelos com e sem o efeito a ser testado; 3) fazer a diferença entre as deviances para modelos com e sem o efeito a ser testado, obtendo a razão de verossimilhança (LR); 4) testar, via LRT, a significância dessa diferença usando o teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

Para a obtenção dos componentes de variância e das estimativas dos parâmetros genéticos, os dados obtidos foram submetidos a análises com auxílio do *Software* Selegen, por meio do seguinte modelo genético-estatístico, conforme descrito por Resende (2006):

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xr} + \mathbf{Zg} + \mathbf{Wi} + \mathbf{e}$$

em que,  $\mathbf{y}$  é o vetor de dados fenotípicos,  $\mathbf{r}$  é o vetor do efeito de repetição (assumido como fixo) somados à média geral,  $\mathbf{g}$  é o vetor do efeito de clone (assumido como aleatório),  $\mathbf{i}$  é vetor do efeito de interação clones x safras (assumido como aleatório) e  $\mathbf{e}$  é o vetor de erros ou resíduos (assumidos como aleatórios). As letras maiúsculas X, Z e W representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor  $\mathbf{r}$  contempla todas as repetições de todos as safras (ajusta combinações repetição-ano). Nesse caso, esse vetor contempla os efeitos de safras e de repetições dentro de anos.

Para a estimação dos ganhos genéticos com a seleção, utilizou-se a expressão:

$$GS(\%) = \left[ \left( \frac{u + a}{\bar{X}_0} \right) - 1 \right] \times 100$$

em que, GS(%) é o ganho genético com a seleção em percentual;  $u + a$  é o valor genético aditivo; e  $\bar{X}_0$  é a média geral considerando o desempenho de todos os clones.

As estimativas dos coeficientes de repetibilidade foram obtidas, também, pelo *Software* Selegen REML/BLUP. Para isso, utilizou-se o seguinte modelo genético-estatístico:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xm} + \mathbf{Zg} + \mathbf{Wi} + \mathbf{Tp} + \mathbf{e}$$

em que,  $\mathbf{y}$  é o vetor de dados fenotípicos,  $\mathbf{m}$  é o vetor do efeito de combinações medição-repetição-ano (assumido como fixo) somados à média geral,  $\mathbf{g}$  é o vetor do efeito de clones (assumido como aleatório),  $\mathbf{i}$  é o vetor do efeito da interação clones x safras (assumidos como aleatórios),  $\mathbf{p}$  é vetor do efeito de ambiente permanente (parcelas) (assumido como aleatório) e  $\mathbf{e}$  é o vetor de erros ou resíduos (assumidos como aleatórios). As letras maiúsculas X, Z, W e T representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor  $\mathbf{m}$  contempla todas as medições em todas as repetições nas várias safras e ajusta, simultaneamente, para todos esses efeitos e suas interações.

Para a obtenção do número de medições necessárias para a predição do valor genotípico dos clones ( $\eta_o$ ) em função da acurácia desejada, utilizou-se a seguinte expressão (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012):

$$\eta_o = \frac{R^2(1-r)}{(1-R^2)r}$$

em que,  $\eta_o$  é o número de medições;  $R^2$  é o coeficiente de determinação; e  $r$  é o coeficiente de repetibilidade.

O coeficiente de repetibilidade foi estimado agrupando-se as safras a fim de identificar um período em que as estimativas propiciassem coeficientes de maior magnitude. Dessa forma, o período em que houver maior estabilidade dos caracteres avaliados, é o que vai permitir predizer, com maior precisão, o número de avaliações (FALCONER, 1987; CORNACCHIA *et al.*, 1995).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises de Deviance

Os clones diferiram estatisticamente para a maioria dos caracteres, exceto para porcentagem de castanhas furadas (%CF), reação a antracnose (ANT) e reação ao mofo preto (MP) (Tabela 3). Isso significa que há variabilidade genética entre os genótipos avaliados, possibilitando assim, a seleção e a obtenção de ganhos genéticos para os caracteres produtividade (PROD), peso médio de castanha (PMC), altura de planta (AP), diâmetro de copa (DC), presença de oídio na inflorescência (OI) e presença de oídio na castanha (OC). Por outro lado, o efeito de ambiente permanente foi significativo apenas para PROD, PMC, AP e DC, indicando que, para esses caracteres, as safras influenciaram no desempenho dos clones. As práticas culturais associadas às condições edafoclimáticas, à incidência de patógenos e a outros fatores que afetam o desenvolvimento das plantas, são denominadas ambiente; ou seja, o ambiente é constituído de tudo aquilo que é externo ao genótipo (ALLARD; BRADSHAW, 1964).

**Tabela 3.** Teste da razão de verossimilhança e valores F para os efeitos de clone, ambiente, interação clones por safras e ambiente permanente para os caracteres produtividade de castanhas (PROD), peso médio de castanha (PMC), altura de planta (AP), diâmetro de copa (DC), porcentagem de castanhas furadas (%CF), reação a antracnose (ANT), ao mofo preto (MP), presença de oídio na inflorescência (OI) e presença de oídio na castanha (OC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

Efeitos	Caracteres								
	PROD	PMC	AP	DC	%CF	ANT	MP	OI	OC
Clone <sup>(1)</sup>	22,74***	52,72***	70,54***	70,07***	2,37 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	16,47***	20,48***
Int C x S <sup>(1)</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Amb. perm. <sup>(1)</sup>	28,6***	3,34*	3,25*	4,27**	0,18 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
AcS	0,83	0,90	0,91	0,90	0,59	0,46	0,24	0,78	0,84
r <sub>gsaf</sub>	0,96	0,98	0,98	0,98	0,82	0,73	0,21	0,96	0,97
Média	480,71	11,27	1,96	2,86	4,09	0,35	0,45	2,05	1,90

<sup>(1)</sup> Valores obtidos pelo teste da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* – LRT). \*\*\*, \*\*, \* significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado com 1 grau de liberdade, respectivamente. <sup>ns</sup> não significativo. Int C x S, interação entre clones e safras; Amb. Perm, ambiente permanente; AcS, acurácia na seleção de genótipos; r<sub>gsaf</sub>, correlação genotípica entre o desempenho dos clones nas diferentes safras.

Em relação à interação clones x safras (CxS), não houve diferenças significativas para os caracteres estudados, o que evidencia uma ausência de interação. A interação ocorre

quando há respostas diferenciais dos genótipos frente as mudanças do ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). No caso em questão, essa ausência de interação indica que o desempenho dos clones foi coincidente ao longo dos anos. Esses resultados são comprovados pelas elevadas magnitudes dos coeficientes de correlação genotípica ( $r_{gsaf}$ ), com exceção do caráter reação ao mofo-preto (MP), em que sua ocorrência é altamente dependente da condição climática. Nem sempre a condição é propícia ao ataque do mofo preto e, em razão disto, as reações das plantas a esse patógeno podem apresentar alteração de uma safra para outra. Observa-se que em períodos de pluviosidade mais intensa, onde há maior umidade, o ataque de mofo-preto nas plantas aumenta (CARDOSO *et al.*, 2013).

Não é comum se observar ausência de interação genótipos por safras em estudos que envolvem um número considerável de genótipos e de safras como é o caso do presente estudo. Barros *et al.* (2000) e Maia *et al.* (2009) conduziram estudos para selecionar clones de cajueiro-anão para o estado do Ceará e observaram interação clones por safras para a maioria dos caracteres analisados. Em casos como estes, o melhorista deve indicar o melhor genótipo para uma dada safra, o que acaba muitas vezes inviabilizando tanto o processo de seleção, como o de recomendação. Entretanto, os resultados presentes aqui indicam que a oscilação no desempenho dos genótipos de uma safra para outra é proporcionada pelo acaso e não deve ter implicações no processo seletivo.

A acurácia seletiva (AcS) expressa a qualidade das informações e dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos. Refere-se à correlação entre os valores genéticos verdadeiros e os valores genéticos preditos dos indivíduos a partir das informações experimentais. Portanto, quanto maior a acurácia seletiva na avaliação de um indivíduo, maior é a confiabilidade dos valores preditos para o mesmo (RESENDE; DUARTE, 2007; PIMENTEL *et al.*, 2014). Sendo esta, mais informativa que a herdabilidade e adequada para medir a qualidade de um experimento (HENDERSON, 1984).

As estimativas das acurácias observadas neste estudo foram no geral classificadas como de alta confiabilidade (RESENDE; DUARTE, 2007), com exceção da %CF, considerada moderada e, MP e ANT, de baixa magnitude. As expressões fenotípicas desses três caracteres dependem de fatores bióticos (pragas ou patógenos) e abióticos (clima) para sua manifestação. A presença/ausência desses fatores foi variável ao longo das safras e se refletiu nas estimativas. Contudo, de forma geral, os resultados indicam elevada confiabilidade das estimativas e que a seleção dos melhores indivíduos será realizada com eficácia.

## 4.2 Repetibilidade

Os caracteres relacionados à fitossanidade das plantas, como %CF, ANT, MP, OI e OC não foram incluídos na análise de repetibilidade pelo fato da incidência ao ataque ser dependente de fatores bióticos (pragas e fungos) e abióticos (clima) imprevisíveis, cuja continuidade dos dados é normalmente afetada; com isso pode haver subestimação ou superestimação dos coeficientes de repetibilidade.

Para o caráter PROD houve grande variação nas estimativas dos coeficientes de repetibilidade, que oscilaram de 0,17 a 0,92 (Tabela 4). Essa variação pode ser explicada pela complexidade do caráter e pela demora em atingir a estabilidade devido à influência de fatores ambientais, pronunciando-se de forma oscilante. O efeito da periodicidade é outro fator que influencia a variação nessas estimativas. A presença de oscilações na produção ao longo do tempo é um importante aspecto biológico que torna o melhoramento das espécies vegetais perenes diferente das espécies anuais (CECON *et al.*, 2008). Em razão disto, optou-se por analisar os dados agrupados por safras na tentativa de minimizar o efeito da bianualidade e assim gerar estimativas mais confiáveis.

**Tabela 4.** Estimativas dos coeficientes de repetibilidade ( $r$ ) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter produtividade de castanhas (PROD), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

SAFRAS	$r$	Número de medidas para obter $R^2$				
		0,8	0,85	0,9	0,95	0,99
1 e 2	0,62	2,5	3,5	5,6	11,9	61,9
2 e 3	0,20	16,4	23,2	36,8	77,7	404,7
3 e 4	0,19	16,5	23,4	37,2	78,5	409,2
4 e 5	0,18	18,0	25,6	40,6	85,7	446,7
5 e 6	0,17	19,4	27,5	43,7	92,3	480,7
Média	0,27	14,6	20,6	32,8	69,2	360,6
1 a 3	0,17	19,0	27,0	42,8	90,4	470,8
2 a 4	0,21	15,4	21,8	34,7	73,2	381,4
3 a 5	0,20	16,0	22,7	36,1	76,1	396,7
4 a 6	0,19	16,8	23,8	37,8	79,7	415,3
Média	0,19	16,8	23,8	37,8	79,9	416,1
1 a 4	0,60	2,6	3,7	5,9	12,5	65,2
2 a 5	0,20	15,9	22,5	35,8	75,5	393,6
3 a 6	0,20	16,4	23,3	37,0	78,1	407,0
Média	0,33	11,7	16,5	26,2	55,4	288,6
1 a 5	0,81	1,0	1,4	2,2	4,6	23,7
2 a 6	0,19	16,7	23,6	37,5	79,1	412,3
Média	0,50	8,8	12,5	19,8	41,8	218,0

1 a 6	0,92	0,3	0,5	0,8	1,6	8,4
-------	------	-----	-----	-----	-----	-----

O período de 1 a 6 safras proporcionou maior coeficiente de repetibilidade (0,92), o que representa alta regularidade na expressão do caráter de uma safra para outra. A partir daí, o número de medidas repetidas deve ser determinado com base na precisão. Para precisão de 90%, as estimativas indicaram a necessidade de apenas uma medição. Para um aumento de mais 5% em precisão, é necessário acrescentar mais uma medida.

A utilização de maior precisão é muitas vezes crucial, pois com o avanço das etapas do programa de melhoramento, a tendência é de que as diferenças genéticas entre os genótipos selecionados tornem-se menores, aumentando, dessa forma, a dificuldade em discriminar genótipos superiores. Entretanto, para alcançar altos níveis de precisão, como de 99%, geralmente necessita-se de muitas medições, o que se torna impraticável do ponto de vista financeiro. Ademais, o tempo e os recursos investidos em relação à precisão desejada devem, portanto, ser levados em consideração (CAVALCANTI *et al.*, 2000; DoVALE *et al.*, 2011).

Em relação ao caráter PMC, alta estabilidade foi alcançada logo nos duas primeiras safras de avaliação (Tabela 5). Acredita-se que isso se deve ao fato do caráter, no geral, apresentar alta herdabilidade, sendo possível nos primeiros anos se fazer inferências precisas. Assim, para uma precisão de 80% são necessárias três medidas e seis mensurações para se ter 90% de segurança. Talvez não seja compensador realizar mais três medições para elevar a precisão em 10%. Isso porque na mensuração desse caráter são amostradas 100 castanhas de cada planta. Quando se trabalha com inúmeros indivíduos, como é o caso dos programas de seleção entre e dentro de progênies de meios irmãos, esse procedimento é moroso e, conseqüentemente, oneroso.

**Tabela 5.** Estimativas dos coeficientes de repetibilidade ( $r$ ) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter peso médio de castanha (PMC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

SAFRAS	$r$	Número de medidas para obter $R^2$				
		0,8	0,85	0,9	0,95	0,99
1 e 2	0,60	2,6	3,7	5,9	12,4	64,7
2 e 3	0,17	19,6	27,8	44,2	93,3	486,3
3 e 4	0,18	18,5	26,1	41,5	87,6	456,7
4 e 5	0,23	13,6	19,3	30,6	64,6	336,7
5 e 6	0,18	18,2	25,8	40,9	86,4	450,0
Média	0,27	14,5	20,5	32,6	68,9	358,9
1 a 3	0,52	3,6	5,2	8,2	17,3	90,2

2 a 4	0,18	17,8	25,2	40,0	84,5	440,5
3 a 5	0,21	15,2	21,5	34,2	72,1	375,8
4 a 6	0,22	14,5	20,5	32,5	68,7	357,9
Média	0,28	12,8	18,1	28,7	60,7	316,1
1 a 4	0,38	6,4	9,1	14,4	30,4	158,5
2 a 5	0,21	15,4	21,8	34,6	73,0	380,6
3 a 6	0,21	14,8	20,9	33,2	70,1	365,1
Média	0,27	12,2	17,3	27,4	57,8	301,4
1 a 5	0,35	7,4	10,5	16,7	35,2	183,4
2 a 6	0,21	15,0	21,2	33,7	71,2	371,2
Média	0,28	11,2	15,9	25,2	53,2	277,3
1 a 6	0,34	7,7	10,9	17,4	36,6	190,9

Para AP, os agrupamentos de 1 a 3 e de 1 a 6 anos forneceram estimativas de coeficiente de repetibilidade bem próximas, 0,59 e 0,53, respectivamente (Tabela 4). Logo, opta-se pelo agrupamento de 1 a 3 safras, não sendo necessário avançar as avaliações até o sexto ano, poupando tempo, recursos humanos e financeiros. Assim, para uma precisão de 80% são necessárias três medidas, enquanto que para aumentar a precisão em 5%, é necessário acrescentar mais uma medição.

**Tabela 6.** Estimativas dos coeficientes de repetibilidade ( $r$ ) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter altura de planta (AP), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

SAFRAS	$r$	Número de medidas para obter $R^2$				
		0,8	0,85	0,9	0,95	0,99
1 e 2	0,16	21,3	30,2	48,0	101,4	528,3
2 e 3	0,19	16,7	23,7	37,6	79,4	413,9
3 e 4	0,21	15,2	21,5	34,2	72,2	376,1
4 e 5	0,24	12,9	18,3	29,1	61,5	320,3
5 e 6	0,23	13,4	18,9	30,0	63,4	330,5
Média	0,21	15,9	22,5	35,8	75,6	393,8
1 a 3	0,59	2,8	4,0	6,4	13,4	69,9
2 a 4	0,21	14,8	20,9	33,2	70,1	365,1
3 a 5	0,25	12,1	17,2	27,3	57,6	300,1
4 a 6	0,24	12,7	18,0	28,6	60,4	314,8
Média	0,32	10,6	15,0	23,9	50,4	262,5
1 a 4	0,42	5,6	7,9	12,5	26,4	137,8
2 a 5	0,24	12,7	18,1	28,7	60,6	315,6
3 a 6	0,24	12,5	17,7	28,1	59,2	308,6
Média	0,30	10,3	14,5	23,1	48,7	254,0
1 a 5	0,49	4,2	6,0	9,5	20,1	105,0
2 a 6	0,23	13,0	18,5	29,3	62,0	322,8
Média	0,36	8,6	12,2	19,4	41,0	213,9

1 a 6	0,53	3,5	5,0	7,9	16,6	86,6
-------	------	-----	-----	-----	------	------

No que se refere ao DC, o coeficiente de repetibilidade foi maior nos primeiros anos de avaliação (Tabela 5), assim como no PMC. Porém, provavelmente os clones não alcançaram o diâmetro de copa desejável nesses dois primeiros anos, sendo necessário avançar as avaliações até o terceiro ano, onde há uma estabilização, da mesma forma como aconteceu para o caráter AP. É notável ainda, que não há mudanças significativas na repetibilidade quando se compara a estimada para as safras 1 a 3 com a estimada para as safras 1 a 6 (0,59 e de 0,58, respectivamente). Dessa forma, com o intuito de otimizar tanto tempo quanto recursos, a repetibilidade estimada tomando como base as safras 1 a 3 é a mais adequada, sendo necessárias três medidas para uma precisão de 80% e quatro medições para alcançar uma precisão de 85%.

**Tabela 7.** Estimativas dos coeficientes de repetibilidade (r) e do número de mensurações necessárias para os diferentes coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o caráter diâmetro de copa (DC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

SAFRAS	r	Número de medidas para obter $R^2$				
		0,8	0,85	0,9	0,95	0,99
1 e 2	0,77	1,2	1,7	2,7	5,8	30,2
2 e 3	0,20	16,4	23,2	36,9	77,9	405,9
3 e 4	0,21	14,9	21,1	33,5	70,6	368,1
4 e 5	0,24	12,6	17,8	28,3	59,8	311,7
5 e 6	0,23	13,3	18,9	30,0	63,3	329,7
Média	0,33	11,7	16,5	26,3	55,5	289,1
1 a 3	0,59	2,7	3,9	6,2	13,1	68,0
2 a 4	0,22	14,4	20,4	32,4	68,5	356,8
3 a 5	0,24	12,4	17,6	28,0	59,1	307,7
4 a 6	0,24	12,8	18,2	28,8	60,9	317,1
Média	0,32	10,6	15,0	23,9	50,4	262,4
1 a 4	0,56	3,1	4,4	7,0	14,8	77,2
2 a 5	0,24	13,0	18,4	29,2	61,6	321,2
3 a 6	0,24	12,8	18,2	28,8	60,9	317,3
Média	0,35	9,6	13,7	21,7	45,8	238,5
1 a 5	0,42	5,5	7,8	12,3	26,1	135,8
2 a 6	0,23	13,2	18,7	29,8	62,9	327,5
Média	0,33	9,4	13,3	21,1	44,5	231,7
1 a 6	0,58	2,8	4,0	6,4	13,5	70,4

Diante do exposto, na seleção clonal do cajueiro-anão, devem-se considerar duas medições para o caráter PROD, com 95% de precisão e, três para os caracteres PMC, AP e DC, com 80% de precisão. Trabalhos com estudos de repetibilidade em cajueiro-anão ainda são

escassos na literatura. Cavalcanti *et al.* (2000) verificaram resultados aproximados ao estudarem clones de cajueiro-anão e concluíram que três avaliações para o caráter produção de castanha e duas para a altura de planta e diâmetro de copa são suficientes para selecionar indivíduos com 95% de certeza da predição dos seus valores reais. Contudo, em outro estudo, Cavalcanti *et al.* (2007) avaliaram híbridos de cajueiro-anão e constataram que quatro medições seriam necessárias para alcançar uma precisão de 80% para produção de castanha, e apenas uma medição para peso médio de castanha. Esses resultados demonstram que é possível uma redução considerável do tempo de avaliação, proporcionando um maior ganho genético por unidade de tempo. Assim, as próximas etapas do processo de melhoramento devem levar em consideração esse número de medidas, a fim de torná-lo menos moroso e oneroso.

### **4.3 Valores genotípicos e ganhos com a seleção**

Os testes de comparações múltiplas são utilizados quando o efeito de tratamento é considerado fixo e, dessa forma, comparam-se médias fenotípicas. Ao assumir o efeito de tratamento como aleatório, geralmente são obtidas médias genotípicas e, em razão disto, não se utilizam testes de médias (RESENDE, 2004). O que se obtém a partir da metodologia REML/BLUP é um ordenamento dos genótipos, tomando-se como base valores genotípicos, em ordem crescente ou decrescente, de acordo com os objetivos do programa de melhoramento para cada caráter separadamente (SILVA; VIDAL NETO; DoVALE, 2017).

Dezenove clones se mostraram superiores geneticamente para o caráter PROD, com a média geral do experimento usada como parâmetro (Tabelas 8 e 3). Esses clones, inclusive, desbancaram as testemunhas comerciais (CCP 76 e BRS 226). É muito provável que os mesmos concentrem elevada frequência de alelos favoráveis para a produção. Dentre os caracteres avaliados com o propósito de aumentar a expressão fenotípica, PROD foi o caráter que apresentou os maiores ganhos. Neste sentido, ao simular uma seleção com 20% dos clones superiores (sete clones), os ganhos genéticos ultrapassariam os 18% em relação ao desempenho da população original. Se o clone 31 (CAP Pro-130/1) fosse selecionado com exclusividade, proporcionaria o dobro desse ganho (36,9%). Resultados semelhantes foram encontrados por Maia *et al.* (2009) em cajueiro, no qual observaram ganhos superiores a 15% para PROD nos seis primeiros clones do “ranqueamento”. Isso mostra o alto potencial genético desses genótipos para darem continuidade no programa de melhoramento.

**Tabela 8.** Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u + a) e ganho genético com a seleção em percentual (GS%) para os caracteres produtividade de castanhas (PROD), peso médio de castanha (PMC) e altura de planta (AP), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

Ordem	PROD				PMC				AP			
	Clone	a	u + a	GS (%)	Clone	a	u + a	GS (%)	Clone	a	u + a	GS (%)
1	31	179,825	657,882	36,9	1	0,791	12,059	7,0	24	-0,307	1,649	-15,9
2	17	109,986	588,043	22,3	25	0,770	12,038	6,8	10	-0,183	1,773	-9,6
3	12	97,403	575,460	19,7	15	0,717	11,985	6,3	1	-0,164	1,792	-8,6
4	26	83,394	561,451	16,8	23	0,700	11,968	6,2	27	-0,159	1,797	-8,3
5	19	67,634	545,691	13,5	30	0,547	11,815	4,8	7	-0,140	1,815	-7,4
6	30	54,237	532,294	10,7	26	0,451	11,719	4,0	14	-0,122	1,834	-6,4
7	25	49,027	527,084	9,6	7	0,450	11,718	4,0	29	-0,117	1,838	-6,2
8	32	47,972	526,028	9,4	8	0,424	11,692	3,7	23	-0,103	1,852	-5,5
9	16	46,632	524,689	9,1	12	0,406	11,674	3,6	2	-0,101	1,855	-5,4
10	11	38,839	516,896	7,5	13	0,331	11,599	2,9	11	-0,088	1,868	-4,7
11	4	31,447	509,504	6,0	9	0,288	11,556	2,5	28	-0,078	1,878	-4,2
12	3	30,569	508,626	5,8	22	0,142	11,410	1,2	22	-0,074	1,881	-4,0
13	33	28,592	506,649	5,4	16	0,099	11,367	0,9	6	-0,072	1,883	-3,9
14	13	24,569	502,626	4,6	14	0,094	11,362	0,8	20	-0,071	1,884	-3,9
15	21	20,949	499,006	3,8	29	-0,012	11,257	-0,1	18	-0,065	1,890	-3,6
16	24	18,680	496,737	3,3	6	-0,026	11,242	-0,3	15	-0,061	1,895	-3,3
17	18	16,184	494,241	2,8	33	-0,065	11,203	-0,6	8	-0,006	1,949	-0,6
18	9	7,412	485,469	1,0	20	-0,076	11,192	-0,7	9	0,016	1,971	0,6
19	8	3,536	481,593	0,2	32	-0,097	11,171	-0,9	5	0,039	1,995	1,8
20	23	-16,446	461,611	-4,0	17	-0,143	11,125	-1,3	19	0,039	1,995	1,8
21	14	-17,233	460,825	-4,1	2	-0,183	11,085	-1,6	13	0,057	2,013	2,7
22	15	-25,162	452,895	-5,8	31	-0,227	11,041	-2,0	3	0,060	2,016	2,8
23	5	-33,974	444,083	-7,6	18	-0,320	10,948	-2,9	16	0,064	2,019	3,0
24	2	-36,664	441,393	-8,2	5	-0,329	10,939	-2,9	21	0,068	2,023	3,2
25	7	-42,922	435,135	-9,5	28	-0,367	10,901	-3,3	32	0,079	2,034	3,8
26	20	-44,720	433,337	-9,9	3	-0,406	10,862	-3,6	33	0,103	2,058	5,0
27	22	-50,258	427,799	-11,0	24	-0,524	10,744	-4,7	17	0,111	2,066	5,4
28	6	-65,229	412,828	-14,1	21	-0,659	10,609	-5,9	31	0,149	2,104	7,4
29	29	-86,694	391,363	-18,6	4	-0,692	10,576	-6,2	26	0,199	2,154	9,9
30	27	-105,482	372,575	-22,5	27	-0,706	10,562	-6,3	30	0,204	2,159	10,2
31	10	-109,510	368,547	-23,3	11	-0,765	10,503	-6,8	12	0,220	2,176	11,0
32	28	-118,936	359,121	-25,3	19	-0,897	10,371	-8,0	4	0,250	2,206	12,5
33	1	-146,532	331,525	-31,0	10	-0,992	10,276	-8,8	25	0,355	2,310	17,9
34	34	-59,286	418,771	-	34	0,836	12,104	-	34	-0,124	1,831	-
35	35	2,162	480,219	-	35	0,442	11,710	-	35	0,022	1,977	-
Média			478,057				11,268				1,955	

Um dos principais fatores que influenciam a exploração econômica do cajueiro é a precipitação, fator este que afetou bastante a produção nesse experimento. O cultivo do cajueiro é realizado com sucesso quando a precipitação pluvial anual se encontra entre 800 mm e 1.500 mm, distribuída em 5 a 7 meses e período seco de 5 a 6 meses, concomitante às fases de floração e frutificação (AGUIAR; COSTA, 2002). De acordo com dados da FUNCEME (2018), os anos que apresentaram precipitação anual dentro dessa faixa ótima, em Pacajus, foram apenas 2015 e 2017 (Tabela 1). Porém, sabe-se que apesar de ter havido uma considerável quantidade de

chuvas nesses anos, a recuperação de todo o complexo responsável pelo sucesso produtivo das plantas, demora a se restabilizar, o que reflete nos aspectos produtivos da cultura. Cavalvanti *et al.*, (2008), ao estudarem a fisiologia do cajueiro-anão nas diferentes fases fenológicas quanto ao estresse hídrico, observaram que a fase fenológica mais afetada é a produtiva. Apesar dos resultados apontarem apenas a fase produtiva como afetada pelo estresse hídrico, há a tendência de que todas as fases fenológicas sejam afetadas. Dessa forma, pode-se afirmar que um dos agravantes que contribuíram para a baixa produtividade média desse experimento foi o baixo índice pluviométrico na região, com média de 652,7 mm anuais, tomando como base os anos de avaliação, de 2012 a 2017.

Para o caráter PMC, ganhos de mais de 5% podem ser obtidos ao realizar seleção com intensidade de 20% (Tabela 8). Devido à existência de correlação deste caráter com PROD, os melhores indivíduos que se destacaram para produtividade, apresentaram também, bom peso médio de castanha, como também foi observado por Vale *et al.* (2014), ao detectar correlação entre esses dois caracteres em trabalho realizado com cajueiro-anão. Destaque deve ser dado ao clone 25 (CAP H-120/2), pois além de ser superior à testemunha comercial (BRS 226), proporcionaria ganhos de quase 7% para PMC e 10% para PROD.

Plantas com boa envergadura e porte baixo fazem parte dos objetivos do melhoramento do cajueiro-anão (BARROS *et al.*, 1993). Assim, selecionando-se 20% dos clones superiores, podem ser alcançados ganhos de aproximadamente 9% para AP (Tabela 8) e 12% para DC (Tabela 9), apesar dos clones avaliados já apresentarem médias de altura satisfatórias, se comparados às testemunhas. Observa-se também, que há uma correlação positiva entre PROD e DC, pois a maioria dos clones que foram superiores para um caráter, também o foram para o outro, com ganhos expressivos, de até 18% para PROD, sendo estes superiores às testemunhas comerciais. Por outro lado, aqueles clones que apresentaram as menores alturas foram os que produziram menos (Tabela 8). As mesmas observações foram feitas no trabalho de Vale *et al.* (2014), que constataram que o maior número de castanhas produzidas esteve relacionado a maior estatura e ao maior diâmetro de planta. E as maiores alturas relacionaram-se positivamente aos maiores diâmetros de copa, concordando com outros autores que realizaram trabalhos semelhantes (BARROS *et al.*, 2000; TAVARES *et al.*, 2011).

**Tabela 9.** Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo ( $u + a$ ) e ganho genético com a seleção em percentual (GS%) para os caracteres porcentagem de castanhas furadas (%CF), diâmetro de copa (DC) e reação à antracnose (ANT), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

%CF				DC				ANT			
Clone	a	u + a	GS (%)	Clone	a	u + a	GS (%)	Clone	a	u + a	GS (%)
28	-0,859	3,235	-20,9	26	0,506	3,367	17,7	27	-0,040	0,307	-12,3
15	-0,491	3,602	-11,9	30	0,496	3,356	17,4	5	-0,033	0,313	-10,5
27	-0,469	3,625	-11,4	32	0,355	3,215	12,4	10	-0,033	0,313	-10,5
12	-0,451	3,643	-10,9	17	0,333	3,193	11,7	16	-0,033	0,313	-10,5
16	-0,410	3,684	-9,9	25	0,319	3,179	11,2	21	-0,033	0,313	-10,5
22	-0,390	3,704	-9,4	9	0,282	3,142	9,9	33	-0,033	0,313	-10,5
13	-0,320	3,774	-7,7	31	0,211	3,072	7,4	29	-0,025	0,321	-8,2
2	-0,311	3,783	-7,5	5	0,171	3,032	6,0	18	-0,025	0,322	-8,0
4	-0,308	3,786	-7,4	12	0,169	3,030	5,9	26	-0,020	0,326	-6,8
25	-0,258	3,835	-6,2	3	0,158	3,018	5,5	32	-0,015	0,331	-5,4
7	-0,232	3,862	-5,6	21	0,142	3,003	5,0	8	-0,015	0,332	-5,2
31	-0,210	3,884	-5,0	33	0,125	2,985	4,4	24	-0,013	0,334	-4,7
3	-0,199	3,894	-4,8	19	0,103	2,964	3,6	12	-0,009	0,337	-3,6
33	-0,192	3,902	-4,6	4	0,075	2,936	2,6	13	-0,009	0,338	-3,4
26	-0,165	3,929	-3,9	16	0,074	2,934	2,6	14	-0,007	0,339	-3,1
20	-0,137	3,957	-3,3	8	0,050	2,910	1,8	4	-0,005	0,342	-2,3
19	-0,097	3,997	-2,3	11	-0,044	2,816	-1,5	19	-0,005	0,342	-2,3
32	-0,090	4,004	-2,1	18	-0,099	2,761	-3,4	1	0,002	0,349	-0,4
23	0,106	4,200	2,7	15	-0,109	2,752	-3,8	22	0,005	0,351	0,3
11	0,137	4,231	3,4	14	-0,113	2,748	-3,9	31	0,006	0,352	0,7
5	0,158	4,252	3,9	13	-0,125	2,736	-4,4	30	0,007	0,353	0,8
9	0,168	4,262	4,2	10	-0,153	2,708	-5,3	28	0,013	0,359	2,6
24	0,215	4,309	5,4	7	-0,190	2,671	-6,6	17	0,015	0,362	3,3
10	0,241	4,334	6,0	22	-0,198	2,662	-6,9	3	0,017	0,364	3,9
14	0,286	4,379	7,1	20	-0,206	2,655	-7,2	2	0,019	0,365	4,3
6	0,334	4,428	8,3	29	-0,214	2,646	-7,5	7	0,024	0,370	5,8
18	0,341	4,435	8,4	27	-0,221	2,639	-7,7	20	0,026	0,372	6,3
17	0,484	4,577	11,9	24	-0,228	2,632	-8,0	11	0,028	0,374	6,9
30	0,489	4,582	12,0	1	-0,246	2,615	-8,6	6	0,028	0,375	7,0
1	0,677	4,770	16,6	23	-0,273	2,588	-9,5	9	0,029	0,375	7,2
29	0,747	4,841	18,4	6	-0,276	2,585	-9,6	15	0,031	0,377	7,7
21	0,768	4,861	18,9	2	-0,316	2,545	-11,0	23	0,045	0,392	11,9
8	1,682	5,775	41,2	28	-0,352	2,508	-12,3	25	0,062	0,408	16,7
34	-0,649	3,445	-	34	-0,179	2,681	-	34	-0,018	0,329	-
35	-0,597	3,496	-	35	-0,028	2,832	-	35	0,016	0,362	-
Média		4,094				2,860				0,346	

Para os caracteres relacionados à fitossanidade das plantas, têm-se %CF, ANT, MF, OI e OC (Tabelas 9 e 10). Assim como para AP, espera-se que, para estes caracteres, o valor genético aditivo seja o menor possível, pois deseja-se reduzir a expressão dos mesmos (ausência de sintomatologia). Dessa forma, recomenda-se identificar os indivíduos que proporcionam os maiores ganhos negativos (SILVA; VIDAL NETO; DoVALE, 2017). Assim, ao selecionar

simultaneamente 20% dos clones que apresentam superioridade para os caracteres em questão, podem se obter ganhos de 6% para %CF, 5% para ANT, 9% para OI, 8% para OC e de 1% para MF. É importante ressaltar que todos os clones se mostraram superiores às testemunhas para o caráter OC e para ANT, MP e OI a grande maioria destes indicaram potencial.

Busca-se a indicação de clones que reúnam fenótipos desejáveis para todos ou para a maioria dos caracteres estudados. Assim, os ganhos preditos com a seleção de indivíduos superiores, com base no efeito aditivo, foram mais expressivos nos clones 12, 13, 16, 19, 25, 26 e 31. Os clones 12 e 26 estiveram presentes entre os mais promissores para os caracteres PROD, PMC, %CF, DC, ANT e MP. Dentre estes caracteres, o clone 16 só não se destacou para MP, mas em compensação proporcionou ganhos para OC. Por outro lado, o clone 13 só não gerou ganhos satisfatórios para DC. O clone 25 apresentou ganhos para os caracteres PROD, PMC, DC, OI e MP e o clone 19 se destacou, principalmente, para PROD e OC, com ganhos, também, para o caráter ANT. Por último, o clone 31 foi o que mais se sobressaiu para PROD e apresentou bons resultados para %CF, DC e MP. Apesar de não ter se destacado para os demais caracteres, este merece destaque por proporcionar os maiores ganhos para PROD (36,9%).

**Tabela 10.** Efeito genético aditivo (a), valor genético aditivo (u + a) e ganho genético com a seleção em percentual (GS%) para os caracteres reação ao mofo preto (MP), presença de oídio na inflorescência (OI) e presença de oídio na castanha (OC), em 35 clones de cajueiro-anão. Fortaleza, Ceará, 2018.

MP				OI				OC			
Clone	a	u + a	GS (%)	Clone	a	u + a	GS (%)	Clone	a	u + a	GS (%)
25	-0,013	0,434	-3,6	22	-0,434	1,615	-21,2	24	-0,320	1,580	-16,8
29	-0,009	0,438	-2,7	15	-0,363	1,686	-17,8	29	-0,224	1,676	-11,8
4	-0,009	0,438	-2,7	3	-0,295	1,754	-14,5	22	-0,199	1,701	-10,5
21	-0,008	0,439	-2,5	33	-0,256	1,793	-12,6	19	-0,175	1,724	-9,2
3	-0,008	0,439	-2,5	29	-0,241	1,808	-11,8	15	-0,175	1,725	-9,2
1	-0,008	0,439	-2,5	20	-0,200	1,849	-9,8	7	-0,129	1,771	-6,8
15	-0,007	0,440	-2,3	5	-0,172	1,877	-8,4	3	-0,104	1,796	-5,5
8	-0,006	0,440	-2,2	8	-0,163	1,886	-8,0	5	-0,097	1,803	-5,1
5	-0,004	0,442	-1,7	1	-0,160	1,889	-7,9	23	-0,077	1,823	-4,1
27	-0,004	0,442	-1,7	7	-0,085	1,964	-4,2	27	-0,067	1,833	-3,5
31	-0,004	0,442	-1,7	25	-0,030	2,019	-1,5	6	-0,059	1,841	-3,1
6	-0,004	0,442	-1,7	23	-0,019	2,031	-1,0	10	-0,057	1,843	-3,0
13	-0,004	0,443	-1,6	24	-0,012	2,037	-0,6	20	-0,052	1,848	-2,7
32	-0,003	0,443	-1,5	19	-0,012	2,038	-0,6	21	-0,044	1,856	-2,3
26	-0,001	0,446	-1,0	18	-0,011	2,038	-0,6	11	-0,042	1,858	-2,2

33	-0,001	0,446	-0,9	21	0,008	2,057	0,4	14	-0,038	1,862	-2,0
17	0,000	0,446	-0,8	27	0,008	2,057	0,4	8	-0,030	1,870	-1,6
14	0,000	0,447	-0,7	30	0,010	2,059	0,4	16	-0,025	1,875	-1,3
2	0,001	0,448	-0,5	26	0,038	2,087	1,8	18	-0,021	1,879	-1,1
12	0,002	0,448	-0,4	14	0,066	2,115	3,1	25	0,004	1,904	0,2
24	0,003	0,450	-0,1	17	0,066	2,115	3,2	30	0,048	1,948	2,5
10	0,003	0,450	-0,1	28	0,071	2,120	3,4	12	0,055	1,955	2,9
23	0,003	0,450	-0,1	6	0,073	2,122	3,5	9	0,063	1,963	3,3
28	0,003	0,450	0,0	9	0,083	2,132	4,0	33	0,097	1,997	5,1
7	0,004	0,450	0,1	16	0,122	2,171	5,9	26	0,114	2,014	6,0
20	0,005	0,452	0,3	13	0,155	2,204	7,5	28	0,118	2,018	6,2
18	0,006	0,452	0,5	11	0,155	2,204	7,5	1	0,119	2,018	6,2
11	0,007	0,453	0,7	10	0,178	2,227	8,6	2	0,153	2,053	8,0
9	0,007	0,454	0,8	12	0,187	2,236	9,1	17	0,172	2,072	9,1
22	0,008	0,455	1,0	2	0,209	2,258	10,1	4	0,186	2,086	9,8
30	0,009	0,456	1,3	31	0,283	2,332	13,7	31	0,198	2,098	10,4
16	0,011	0,457	1,6	32	0,313	2,362	15,2	13	0,278	2,178	14,6
19	0,011	0,457	1,6	4	0,348	2,397	16,9	32	0,290	2,190	15,3
34	0,002	0,449	-	34	0,229	2,278	-	34	0,100	2,000	-
35	0,007	0,454	-	35	-0,147	1,902	-	35	-0,060	1,840	-
Média		0,447				2,049				1,900	

Os sete clones foram superiores às testemunhas para o caráter PROD. Resultado bastante promissor, principalmente em relação ao clone 35 (BRS 226), recomendado por ser considerado bastante produtivo em condições de sequeiro (VIDAL NETO *et al.*, 2013). Entretanto, os clones apresentaram efeitos aditivos inferiores aos presentes nas testemunhas para os caracteres %CF e AP. Contudo, as plantas no geral apresentaram altura dentro do que é desejado pelos produtores e os ganhos simulados reduziram ou aumentariam a expressão deste caráter em poucos centímetros, o que não acarretaria em sérios problemas, uma vez que o manejo com podas poderia promover esse ajuste.

As predições evidenciaram que os clones 12, 13, 16, 19, 25, 26 e 31 são os que detêm a maior frequência de alelos favoráveis para a maioria dos caracteres avaliados. Isso mostra que a seleção pode de fato ser eficiente e atender aos objetivos propostos pelo programa, devendo estes serem levados para compor as unidades demonstrativas ou unidades de observação, a fim de observar o comportamento desses clones em outras localidades, como em municípios produtores de caju no Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. É importante ressaltar que estes clones também podem participar na formação de novas progênies do programa de melhoramento populacional do cajueiro conduzido pela Embrapa Agroindústria Tropical.

## 5 CONCLUSÕES

- Há variabilidade genética entre os clones de cajueiro-anão para os caracteres PROD, PMC, AP, DC E OC;
- Há ausência de interação entre clones e safras;
- Devem-se considerar, na seleção de clones, duas medições para o caráter PROD e três medições para os caracteres PMC, AP e DC;
- Os clones 12, 13, 16, 19, 25, 26 e 31 devem ser indicados para dar continuidade ao processo de obtenção de cultivar.

## REFERÊNCIAS

- ABEYWARDENA, V. An application of principal component analysis in genetics. **Journal of Genetics**, v.61, p.27-51, 1972.
- AGUIAR, M.J.N.; BARRETO JÚNIO, J.H.C.; LIMA, M.W. Dados climatológicos: Estação de Pacajus, 2003. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 16 p. (**Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 85**).
- AGUIAR, M. de J. N.; COSTA, C. A. R. Exigências climáticas. In: BARROS, L. de M. (Org). **Caju. Produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 21-25, 2002. (Frutas do Brasil, 30).
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype x environmental interactions in applied breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./oct. 1964.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1971. 381 p.
- ALMEIDA, F. A. G.; ALMEIDA, F. C. G.; NUNES, R. P.; CARVALHO, P. R.; MENESES JÚNIOR, J. Estudos fenológicos de plantas enxertadas de cajueiro-anão sob condições de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 71-84, 1995.
- BARROS, L. M. Botânica, origem e distribuição geográfica. In.: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Org). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPc, p. 55-71. 1995.
- BARROS, L. M. Melhoramento. In: LIMA, V. P. M. S. A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil. Fortaleza: BNB/ETENE, p. 321-356. (**BNB/ETEME. Estudos Econômicos e Sociais, 35**). 1988.
- BARROS, L. M.; CAVALCANTI, J. J. V.; PAIVA, J. R.; CRISÓSTOMO, J. R. Hibridação de caju. In: BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. 2ª Ed, Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa-Viçosa-MG, p. 214-250. 2009.
- BARROS, L. M.; CAVALCANTI, J. J. V.; PAIVA, J. R.; CRISÓSTOMO, J. R.; CORRÊA, M. P. F.; LIMA, A. C. Seleção de clones de cajueiro-anão para o plantio comercial no estado do Ceará. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2197-2204, nov. 2000.
- BARROS, L.M.; PIMENTEL, C.R.M.; CORRÊA, M.P.F.; MESQUITA, A.L.M. Recomendações técnicas para a cultura do cajueiro-anão-precoce. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1993. 65p. (**Embrapa-CNPAT. Circular Técnica, 1**).
- BARROS, L. M.; CRISÓSTOMO, J. R. Melhoramento genético do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Org.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 73-93. 1995.
- BARROS, L. M.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; ARAÚJO, J. P. P. Cajueiro. In: BRUCKNER, C. H. (Ed). **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa: UFV, p. 159-176, 2002.

BATISTA, A. C.; BEZERRA, J. L.; CSTRILLÓN, A. L.; DA MATTA, E. A. F. Novos ascomycetes foliícolas e caulinares. **Publi. Inst. Micol. Univ. Recife**, v. 431, p. 1-22, 1964.

BORÉM, A.; **Melhoramento de Plantas. Viçosa: UFV 2001.**3ª ed. P. 500.

BORGES, V.; FERREIRA, P. V.; SOARES, L.; SANTOS, G. M.; SANTOS, M. M. Seleção de clones de batata-doce pelo procedimento REML/BLUP. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 4, p. 643-649, 2010.

BORGES, V.; SOARES, A. A.; RESENDE, M. D. V.; REIS, M. S.; CORNÉLIO, V. M. O.; SOARES, P. C. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de minas gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**. Lavras-Mg, v. 27, p. 478-490, 2009.

BRUNA, E. D.; MORETO, A.L.; DALBÓ, M. A. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 1, p. 206-215, Março, 2012.

CARDOSO, J. E.; FELIPE, E. M.; CAVALCANTE, M. J. B.; FREIRE, F. C. O.; CAVALCANTI, J. J. V. Precipitação pluvial e progresso da antracnose e do mofo preto do cajueiro (*Anacardium occidentale*). **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 26, n. 4, p. 413-416, 2000.

CARDOSO, J. E.; SANTOS, A. A.; BEZERRA, M.A.; SOUZA NETO, J.; SOUZA, R.N.M. Epidemiologia do mofo-preto e danos na produção do cajueiro. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical. 2005. 16p. (**Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 23**).

CARDOSO, J. E.; SANTOS, A. A.; FREIRE, F. C. O.; VIANA, F. M. P.; VIDAL, J. C.; OLIVEIRA, J. N.; UCHOA, C. N. Monitoramento de doenças na cultura do cajueiro. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 22 p. 2002.

CARDOSO, J. E.; VIANA, F. M. P.; FREIRE, F. C. O.; MARTINS, M. V. V. Doenças do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. **Agronegócio Caju: Práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 217-238. 2013.

CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. de. Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do Cajueiro no Brasil. In: VIDAL, F.C. das; BERTINI, C. H. C. M. de; ARAGÃO, F. A. S.; CAVALCANTI, J. J. V. **I simpósio Nordeste de Genética e Melhoramento de Plantas: O melhoramento Genético no Contexto Atual**. Fortaleza. p. 83-101. 2009.

CAVALCANTI, J.J.V. Cruzamento dialélico parcial para avaliação de híbridos interpopulacionais de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). Lavras : UFLA, 1997. 67p. **Dissertação de Mestrado**.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G. Fisiologia do cajueiro-anão precoce submetido ao estresse hídrico em fases fenológicas. **Revista de biologia e ciências da terra**. Sergipe. v. 9, n. 1, p. 42-53, 2008.

CAVALCANTI, J. J. V.; PAIVA, J. R. de.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J. R.; CORREA, M. P. F. Repetibilidade de caracteres de produção e porte da planta em clones de

cajueiro-anão precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.4, p.773-777, 2000.

CAVALCANTI, J. J. V.; PINTO, C. A. B.; CRISÓSTOMO, J. R.; FERREIRA, D. F. Análise Dialética para Avaliação de Híbridos Interpopulacionais de Cajueiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília. v.35, n.8, p.1567-1575. 2000.

CAVALCANTI, J.J.V.; RESENDE, M.D.V. Seleção precoce intensiva: uma nova estratégia para o programa de melhoramento genético do cajueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.4, p.1279-1284, 2010.

CAVALCANTI, J.J.V.; RESENDE, M.D.V.; CRISÓSTOMO, J.R.; BARROS, L.M.; PAIVA, J.R. Genetic control of quantitative traits and hybrid breeding strategies for cashew improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v.7, p.186-195, 2007.

CAVALCANTI, J.J.V.; RESENDE, M.D.V.; SANTOS, F. H. C.; PINHEIRO, C. R. Predição simultânea dos efeitos de marcadores moleculares e seleção genômica ampla em cajueiro. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 3, p. 840-846, Setembro, 2012.

CAVALCANTI, J. J. V.; VIDAL NETO, F. das C.; BARROS, L. de M. Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil. In: VIDAL NETO, F. das C.; CAVALCANTI, J. J. V. (Ed.). **Melhoramento genético de plantas no Nordeste**. Brasília, DF: Embrapa, p. 151-174, 2013.

CECON, P. R.; SILVA, F. F.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R. G.; CARNEIRO, A. P. S.; DETMANN, E.; FARIA, P. N.; MORAIS, T. S. S. Análise de medidas repetidas na avaliação de clones de café 'Conilon'. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1171-1176, set. 2008.

COIMBRA, J. L. M.; BARILI, L. D.; VALE, N. M.; GUIDOLIN, A. F.; ROCHA, F.; TOALDO, D. Seleção para caracteres adaptativos em acessos de feijão usando REML/BLUP. **Magistra**. p. 177-185, 2008.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análise mensal. Castanha de Caju**. Setembro, 2017.

COQUE, M.; GALLAIS, A. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 112, n. 7, p. 1205-1220. 2006.

CORNACCHIA, G.; CRUZ, C. D.; LOBO, P. R.; PIRES, I. E. Estimativas do coeficiente de repetibilidade para características fenotípicas de procedências de *Pinus tecunumanii* (Schw.) Eguluz, Perry e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret, Golfari. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 333-345, 1995.

CRISÓSTOMO, J. R.; BARROS, L. M.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V. Melhoramento genético do cajueiro. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido/Embrapa/Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. Disponível em endereço eletrônico:

<http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livroorg/cajumelhoramento.pdf>. Acesso em 01 ago. 2017.

CRISÓSTOMO, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. de; ALVES, R. E.; CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 4. ed., Viçosa, MG: UFV, 2012, 514 p.

CRISÓSTOMO, J. R.; SANTOS, F. J. S.; OLIVEIRA, V. H.; VAN RAIJ, B.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A.; SOARES, I. Cultivo do cajueiro-anão precoce: aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e na irrigação. Fortaleza: Embrapa agroindústria Tropical, 2003. 8 p. (**Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 08**).

CRUZ, C.D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 4. ed., Viçosa, MG: UFV, 2012, 514 p.

DIAS, L. A. S.; KAGEYAMA, P. Y. Repeatability and minimum harvest period of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Southern Bahia. **Euphytica** 102:29-35, 1998.

DoVALE, J. C.; SILVA, P. S. L.; FIALHO, G. S.; MARIGUELE, K. H.; FRITSCHÉ-NETO, R. Repeatability and number of growing seasons for the selection of custard apple progênies. **Crop Breeding and Applied biotechnology** 11: 59-63, 2011.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Testada substância para controle da traça-da-castanha de caju. 2004. Disponível em endereço eletrônico: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17915596/testada-substancia-para-controle-da-traca-da-castanha-de-caju>. Acesso em 08 junho de 2018.

FALCONER, D. S. **Introdução a genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.

FAO, 2018. FAOSTAT- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em endereço eletrônico: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15 Jun, 2018.

FARIAS NETO, J. T. de; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 2, p. 532-539, Junho. 2011.

FERREIRA, F. M.; BARROS, W. S.; SILVA, F. L.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, D.; BASTOS, I. T. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 605-610, 2007.

FIGUEIREDO JUNIOR, H. S. Desafios para a cajucultura no Brasil: O comportamento da oferta e da demanda da castanha de caju. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 37, n. 4, 2006.

FONSECA, A. F. A., SEDIYAMA, T., CRUZ, C. D., SAKIYAMA, N.S., FERRÃO, R. G., FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. Repeatability and number of harvests required for selection in robusta coffee. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, 4: 325-329. 2004.

- FREIRE, F. C. das O.; CARDOSO, J. E. Doenças do cajueiro. In: ARAÚJO, J.P.P.; SILVA, V.V. (Ed.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1995. p. 249-267.
- FREIRE, F. C. O.; CARDOSO, J. E.; SANTOS, A. A.; VIANA, F. M. P. Diseases of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Brazil. **Crop Protection**. v. 21, p. 489-494, 2002.
- FREITAS, I. L. J.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIANA, A. P.; PENA, G. F.; CABRAL, P. S.; VITTORAZZI, C.; SILVA, T. R. C. Ganho genético avaliado com índices de seleção e com REML/Blup em milho-pipoca. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.11, p.1464-1471, nov. 2013.
- FREITAS, G.F.; OLIVEIRA, J. N. Melhoramento do cajueiro-anão-precoce: avaliação da qualidade do pedúnculo e a heterose dos seus híbridos. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 2, p. 477-480, agosto 2002.
- FREITAS, B. M.; SILVA, C. I.; LEMOS, C. Q.; ROCHA, E. E. M.; MENDONÇA, K. S.; PEREIRA, N. O. Plano de manejo para polinização da cultura do cajueiro: conservação e manejo de polinizadores para agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica. **Funbio**, Rio de Janeiro, 2014.
- FRITSCHÉ-NETO, R.; RESENDE, M. D. V.; MIRANDA, G. V.; DoVALE, J. C. Seleção genômica ampla e novos métodos de melhoramento do milho. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, p. 794-802, nov/dez, 2012.
- FROTA, P. C. E. Clima e fenologia do cajueiro. In LIMA, V. P. M. S. (Org.). **A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: BNB/ETENE, p. 63-80, 1988.
- FROTA, P. C. E.; PARENTE, J. I. G. Clima e fenologia do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Org). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, p. 43-54, 1995.
- FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em endereço eletrônico: <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/anual>. Acesso em: 21 de maio de 2018.
- GARCIA, C. H.; NOGUEIRA, M. C. S. Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**. v. 68, p. 107-112. 2005.
- GUANZIROLI, C. E.; SOUZA, H. M.; VALENTE JÚNIOR, A. S.; BASCO, C. A. Entraves ao desenvolvimento da cajucultura no Nordeste: margens de comercialização ou aumentos de produtividade e de escala? **Revista Extensão Rural**, v. 16, n. 18, p. 96-122, jul./dez. 2009.
- HAYES, J. F.; HILL, W. G. A reparameterization of a genetic selection index to locate its sampling properties. **Biometrics**, Washington, v. 36, p. 237-248, 1980.
- HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding**. University of Guelph, Guelph, 1984, 462 p.

HENDERSON, C.R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Washington, v.31, p.423-447, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Maio, 2018. Disponível em endereço eletrônico: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 26 de junho, 2018.

LEITE, L. A. de S.; PESSOA, P. F. A. de P. Cultivo do cajueiro no nordeste brasileiro: o agronegócio caju. In: AGRINORDESTE – SEMINÁRIO SOBRE A MODERNIZAÇÃO DO SETOR PRIMÁRIO DA ECONOMIA NORDESTINA, 12, 2004, Olinda. **Anais...** Pernambuco: [s.n.], 2004.

LIMA, A.A.C.; OLIVEIRA, F.N.S.; AQUINO, A.R.L. Classificação e Aptidão Agrícola dos Solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a Agricultura. Fortaleza-Ce: Embrapa Agroindústria Tropical. 2002. 20 p. (**Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 53**).

LIMA, J. S. Epidemiologia quantitativa do oídio do cajueiro no clone BRS 189. 82 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia/ Fitotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

LIMA, V. P. M. S.de. Botânica. In: LIMA, V. P. M. S. de. **A Cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: BNB/ETENE,1988. P.15-61.

LOPES, R.; BRUCKNER, C. H.; CRUZ, C. D.; LOPES, M. T. G.; FREITAS, G. B. Repetibilidade de características do fruto de aceroleira. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 507-513, mar. 2001

MAIA, G. A.; HOLANDA, L. F. F.; MARTINS, C. B. Características físicas e químicas do caju. **Cienc. Agron.**, Fortaleza, v. 1, n.2, p. 115-120, 1971.

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

MARTIN, P. J.; TOPPER, C. P.; BASHIRU, R. A.; BOMA, F.; DeWAAL, D.; HARRIES, H. C.; KASUGA, L. J.; KATANILA, N.; KIKOKA, L. P.; LAMBOLL, R.; MADDISON, A. C.; MAJULE, A. E.; MASAWA, P. A.; MILLANZI, K. J.; NATHANIELS, N. Q.; SHOMARI, S. H.; SIJAONA, M. E.; STATHERS, T. Cashew nut production in Tanzania: constraints and progress through integrated crop management. **Crop Protection**, v. 16, p. 5-14, 1997.

MESQUITA, A. L. M.; BRAGA SOBRINHO, R. Pragas do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. **Agronegócio Caju: Práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 195-215. 2013.

MOURA, C. F.H. Qualidade e produção de alimentos seguros (PAS). **Embrapa**. Disponível em endereço eletrônico: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/caju/arvore/CONT000fr3r29q102wyiv80084arl9b3ji8d.html>. Acesso em julho de 2018.

NOACK, F. Cogumelos parasitos das plantas de pomar, horta e jardim. **Boletim do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, Campinas, v. 9, p. 75-88, 1898.

OLIVEIRA, V. H. Cajucultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.1-3, 2008.

PAIVA, J. R.; BARROS, L. M. Clones de cajueiro: obtenção, características e perspectivas. Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 26p. (**Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 82**).

PARENTE, J. I. G.; FROTA, P. C. E.; MELO, F. I. O.; COSTA, J. T. A. Comportamento de crescimento e desenvolvimento de cajueiros precoce e comum no litoral do Ceará. **Rev. Bras. Frutic.**, Cruz das almas, v. 13, n. 2, p. 107-111, out., 1991.

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (eds.) **Melhoramento e produção de milho**. Fundação Cargill, Campinas, vol.1, p. 217-274. 1987.

PESSOA, P.F.P.; LEITE, L.A.S. Desempenho do agronegócio caju brasileiro. In: ARAÚJO, J. P. P. **Agronegócio Caju: Práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 21-40. 2013.

PESSOA, P.F.P.; LEITE, L.A.S.; PIMENTEL, C.R.M. Situação atual e perspectivas da agroindústria do caju. In: ARAÚJO, J.P.P.; SILVA, V.V. (Ed.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: Embrapa- CNPAT, 1995. p.23-42.

PIMENTEL, A. J. B.; GUIMARÃES, J. F. R.; SOUZA, M. A.; RESENDE, M. D. V.; MOURA, L. M.; RIBEIRO, G. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 882-890, 2014.

PONTE, J. J. **Doenças do cajueiro no Nordeste brasileiro**. Brasília, DF: EMBRAPA/DDT, 51 p. (EMBRAPA/DDT. Documentos, 10), 1984.

RAMALHO, M. A. P.; ARAÚJO, L. C. A. Breeding self-pollinated plants. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 1-7, 2011.

RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GONÇALVES, L. S. A.; FREITAS JÚNIOR, S.P. de.; CÂNDIDO, L. S.; Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Rev. Ciênc. Agron.** Fortaleza, v. 42, n.2. p. 473-481, abr-jun, 2011.

REIS, E. F. dos; REIS, M. S.; CRUZ, C.D.; SEDYAMA, T.; Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34 n.3, p 685-692, mai-jun.2004.

RESENDE, M. D. V. Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes. **Colombo: Embrapa Florestas**. 101p. 2000.

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

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa florestas, 57 p. (Documentos 100). 2004.

- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- RESENDE, M. D. V.; PRATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Melhor predição linear não viciada (BLUP) de valores genéticos no melhoramento de pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal**. 32: p. 3-22, 1996.
- RESENDE, M. D. V.; ROSA-PEREZ, J. R. H. **Genética e Melhoramento de Ovinos**. Curitiba. Ed. UFPR, 2001. 185p.
- RESENDE, M. D. V. SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2006.
- RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H.; SOUZA FILHO, G. R.; CANDIDO, L. S. Adaptability and genotypic stability of Coffea arábica genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.12, p. 2391-2399, 2013.
- ROSSETTI, A. G.; MONTENEGRO, A. A. T. Substituição de copa: uma alternativa para recuperar pomares de cajueiro Improdutivos ou de baixa produtividade. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. 16 p. (**EMBRAPA - CNPAT Circular Técnica, n. 43**).
- SERRANO, L. A. L.; FANTON, C. J.; MARTINS, M. V. V.; CATTANEO, L. F. Substratos e doses de um adubo de liberação lenta na produção de mudas de cajueiro-anão-precoce (*Anacardium occidentale* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., **Anais...Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura**. 2010.
- SERRANO, L. A. F.; OLIVEIRA, V. H. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. **Agronegócio Caju: Práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 77-159. 2013.
- SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. P. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. **Sistema de Produção I**. Embrapa Agroindústria Tropical. 2ª edição, jul., 2016.
- SERRANO, L. A. L.; VIDAL NETO, F. C.; MELO, D. S.; CARDOSO, J. E. Influência do oídio nas castanhas de diferentes genótipos de cajueiro. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. 1ª edição. Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.
- SETHI, K; LENKA, P. C.; TRIPATHY, S. K. Correlation and path coefficient analysis of nut yield and ancillary component traits in cashew. **Journal of Plantation Crops**, 44(2): 119-123, 2016.
- SILVA, A. G. M. de.; VIANA, A. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T. do.; SIMÕES, L.; GONÇALVES, A.; REIS, R. V. dos.; Biometria aplicada ao melhoramento intrapopulacional do maracujazeiro amarelo. **Rev. Ciênc. Agron.** V. 43, n.3, p. 493-499, jul-set, 2012.
- SILVA, F. H. L.; VIANA, A. P.; SANTOS, E. A.; FREITAS, J. C. O.; RODRIGUES, D. L.; AMARAL JÚNIOR, T. Prediction of genetic gains by selection indexes and REML/BLUP methodology in a population of sour passion fruit under recurrent selection. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 39, n. 2, p. 183-190, Apr.-June, 2017.

SILVA, T. P.; VIDAL NETO, F. C.; DoVALE, J.C. Prediction of genetic gains with selection between and within S2 progenies of papaya using the REML/Blup analysis. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.52, n.12, p.1167-1177, dez. 2017.

SILVA, S. S.; PORDEUS, R. V.; PEREIRA, J. O.; DANTAS NETO, J. BEZERRA, J. M. Estimativa de parâmetros genéticos do cajueiro-anão precoce em um solo arenoso pelo procedimento REML/BLUP. **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 3, p. 41 - 51, jul – set., 2013.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Avaliação genética e análise de deviance em um teste desbalanceado de procedência e progênie de *Ilex paraguariensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 157-160, mai/jul, 2010.

TAVARES, T. M.; SCIBENEICHLER, S. C.; CAVALCANTI, J. J. V.; AFÉRRRI, F. S.; SOUZA, C. M.; NUNES, T. V. Desempenho fenológico de progênies de meios-irmãos de cajueiro-anão-precoce na região central do Tocantins, no primeiro ano de plantio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6 n.1, p.98-104, 2011.

VALE, E. H. Desempenho de progênies de irmãos completos de cajueiro-anão precoce. 67 f. **Dissertação** (Mestrado em genética e melhoramento de plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

VALE, E. H.; HAWERROTH, M. C.; CAVALCANTI, J. J. V.; VIDAL NETO, F. C.; MELO, D. S. Desempenho de híbridos de cajueiro-anão-precoce no litoral do estado do Ceará. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal – SP, v. 36, n. 4, p. 940-949, Dezembro, 2014.

VAN VLECK, L.D.; POLLAK, E.J.; OLTENACU, E.A.B. **Genetics for the animal science**. New York: W.H. Freeman, 1987. 391p.

VIDAL, M. F. Cajucultura nordestina continua em declínio. **Caderno setorial ETENE** (Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste). Banco do Nordeste. Ano 2, nº 22, dezembro, 2017.

VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. M.; CAVALCANTI, J. J. V.; MELO, D. S. Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. **Agronegócio Caju: Práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 481-505. 2013.