UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E COEFICIENTE DE REPETIBILIDADE EM CACAUEIRO RENOVADOS NO SUL DA BAHIA

VICTOR MIGUEL MONTAÑO ORELLANA

ILHÉUS – BAHIA – BRASIL

Novembro de 2019

VICTOR MIGUEL MONTAÑO ORELLANA

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E COEFICIENTE DE REPETIBILIDADE EM CACAUEIRO RENOVADOS NO SUL DA BAHIA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

Área de concentração: Genética Quantitativa e Melhoramento

ILHÉUS – BAHIA – BRASIL

Novembro de 2019

VICTOR MIGUEL MONTAÑO ORELLANA

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E COEFICIENTE DE REPETIBILIDADE EM CACAUEIRO RENOVADOS NO SUL DA BAHIA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

APROVADO:

Prof. Dra. Mariana Araujo Barreto
(-)

Prof. Dra. Antonia Marlene Magalhães Barbosa
(UESC)

Prof. Dr. Clausio Antonio Ferreira de Melo
(UESC)

Prof. Dr. Ronan Xavier Corrêa
(UESC - Orientador)

A Deus, por brindarme força todos os dias desta caminhada e, pois, sem a sua Luz esse trabalho jamais teria se concluído. Aos meus pais Roxana e Wilder, o meu irmão Osmar e minha sobrinha Alazne.

DEDICO

Aos meus pais, Roxana Orellana y Wilder Montaño, pela luta e sacrifício que fazem por mim, porque tudo o que sou é por eles, porque meus sonhos se tornaram deles.

Ao meu irmão Osmar e sobrinha Alazne, por todo amor, incentivo e por estar sempre presente.

"A mis abuelitos Victor Orellana (Q.E.P.D), Modesta Montaño y Inez Escobar por su apoyo incondicional."

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar esse momento para poder alcançar o objetivo de terminar os estudos de mestrado, sinto-me muito grato a cada uma das pessoas que me acompanhou de algumas das infinitas maneiras que podem fazer parte do caminho que percorri desde que comecei este caminho.

À Universidade Estadual de Santa Cruz, pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação e por minha excelente formação acadêmica.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Obrigado pela paciência ao meu mentor e orientador Dr. Ronan Xavier Corrêa, porque, por múltiplas funções me ensinou a fazer o meu trabalho da melhor forma possível, e por que ele confiou em mim e me motivou com "maestria, autonomia e propósito".

Obrigado ao Co-orientador Dário Anhert pela gerência para que eu possa trabalhar no tópico que eu queria, mas acima de tudo, por acreditar em mim e me dar a oportunidade de me desenvolver profissionalmente.

Obrigado a Co-orientadora Francisca Jucá por brindar-me as facilidades necessárias para o desenvolvimento do trabalho e pela ajuda incondicional, conselhos brindados com tanto profissionalismo e cordialidade.

Ao Dr. Andrei Caíque, meus sinceros agradecimentos pela ajuda brindada quando ficava com dúvidas em minhas análises estatísticas.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular, pelos ensinamentos.

À coordenação e aos funcionários do Colegiado do Programa de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular, pelo imprescindível apoio.

Agradeço aos meus amigos de todos os cantos por me ajudarem a aproveitar o caminho que percorri. Em particular, graças aos amigos que me deram a Maestria: Jose Solis, Julio, Maria Quisver, Ivanna Meraes, Francisco Melo.

Aos colegas do projeto RENOVA CACAO, pelo companheirismo e amizade: Francisca, João, Valdimiro e Reinaldo por estarem sempre pronto a ajudar, me incentivar a estudar e fazer o que gosto e me sentir orgulhoso.

Em especial gostaria de agradecer aos meus pais, Roxana e Wilder, assim a meu irmão Osmar e minha sobrinha Alazne, pelo amor incondicional e por sempre acreditarem em mim. Sou muito grato a Deus por sempre ter me mostrado o caminho e por ter introduzido na minha vida. Sem o amor e compressão deles, esse objetivo longo e quisto não teria sido alcançado.

À todos muito obrigado!

“Um guerreiro aceita seu destino, tanto faz.
No entanto, ele luta para mudar as coisas e abrir caminho pelo mundo com algo requintado. Que modera sua vontade de formar, que nada pode movê-lo de seu propósito.”

(Armando Torres)

SUMÁRIO

ABSTRACT 12
I. INTRODUÇÃO 14
II. REVISÃO DE LITERATURA 17
Características gerais do cacaueiro 17
Importância econômica do cacaueiro 20
Vassoura de bruxa 21
Analises de Crescimento 23
Interação genótipo X ambiente 24
Adaptabilidade e estabilidade 25
Repetibilidade 26
Seleção Precoce 26
Seleção de genótipos via modelos mistos 27
III. CAPÍTULO 1 29
Genotype interaction according to environments in young cocoa trees resistant to witches' broom disease 29
IV. CAPÍTULO 2 51
Coeficiente de repetibilidade e eficiência de seleção em cacaueiro jovens no sul da Bahia avaliada por meio da resistência a vassoura de bruxa e diâmetro do caule 51
V. CONCLUSÕES GERAIS 66
VI. REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1. Location of the environments analyzed, in the southern region of Bahia, from 2017 to 2019. ..... **Erro! Indicador não definido.**
Figure 2. Genotype interaction with the environment (combined environments with each of the renovation systems), for the stem diameter characteristic (cm). **Erro! Indicador não definido.**
Figure 3. Genotype interaction with the environment (combined environments with each of the renewal systems) for the witches' broom characteristic. **Erro! Indicador não definido.**
Figure 4. Positive or negative response of each environment-renewal method in each clone for the stem diameter characteristic. ..... **Erro! Indicador não definido.**
Figure 5. Positive or negative response of each environment-renewal method in each of the clones for the witches' broom characteristic. ..... **Erro! Indicador não definido.**
Figure 6. Behavior of each of the renewal methods in each of the environments for stem diameter (A), Behavior of each of the renewal methods in each of the environments for witches' broom (B). ..... **Erro! Indicador não definido.**

ÍNDICE DE TABELAS

3. CAPÍTULO 1 29
Genotype interaction according to environments in young cocoa trees resistant to witches' broom disease.....29
Table 1. Classification of the environments in the regions of Gandu and Ilhéus according to soil type and regional stratification. ..... **Erro! Indicador não definido.**
Table 2. Characteristics of the five cocoa clone cultivars. ..... **Erro! Indicador não definido.**
3.3 Results and Discussion ..... **Erro! Indicador não definido.**
Table 3. Genetic parameters estimations (individual REML) for stem diameter characteristics and witches' broom incidence, obtained from the joint analysis of the environments in each year. ..... **Erro! Indicador não definido.**
Table 4. Genetic ranking for stem diameter (cm) and witches' broom disease incidence of different cocoa clones in four environments. ..... **Erro! Indicador não definido.**
Table 6. Genetic correlation between environments combined with each of the peer evaluated renewal systems, for stem diameter (cm) characteristics.**Erro! Indicador não definido.**
Table 7. Genetic correlation between environments combined with each of the peer evaluated renewal systems, for witches' brooms incidence characteristics**Erro! Indicador não definido.**
4. CAPÍTULO 2 51
Coeficiente de repetibilidade e eficiência de seleção em cacaueiro jovens no sul da Bahia avaliada por meio da resistência a vassoura de bruxa e diâmetro do caule 51
Tabela 1.Classificação dos ambientes das regiões de Gandu e Ilhéus nos anos de 2017 a 2019. 55
Tabela 2. Estimativa de parâmetros genéticos (REML individual) para os caracteres diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa, obtidos em cada um dos ambientes. 59
Tabela 3. Acurácia e eficiência obtida a partir do diferente número de medições em quatro ambientes diferentes para o caráter diâmetro do caule. 61
Tabela 4. Acurácia e eficiência obtida a partir do diferente número de medições em quatro ambientes diferentes para o caráter incidência de vassoura de bruxa. 62

EXTRATO

Orellana, Victor Miguel Montaño, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2019. **Interação Genótipo x Ambiente e Coeficiente de repetibilidade em cacaueiro renovados no sul da Bahia.** Orientador: Ronan Xavier Corrêa. Co-orientadores: Dário Ahnert e Francisca Feitosa Jucá.

O trabalho teve o objetivo de analisar a ocorrência de interação Genótipo x Ambiente e coeficiente de repetibilidade em diferentes ambientes combinados com três métodos de renovação para as características diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa em clones de cacau no Estado de Bahia. O ensaio foi realizado nas unidades experimentais do projeto Renova Cacau, em doze localidades distribuídas em áreas produtoras de cacau do sul da Bahia, agrupados em quatro ambientes diferentes. Os ensaios foram conduzidos nos municípios de Gandu e vizinhanças e de Ilhéus e vizinhanças onde foram implantados três métodos de renovação: (i) renovação por enxertia em broto basal, (ii) renovação por plantio de muda nova enxertada por baixo dos cacaueiros velhos e (iii) renovação por derruba total dos cacaueiros velhos. Em cada uma das localidades e dentro dos três métodos de renovação, plantou-se cinco cultivares clonais: CCN51, PS1319, FA13, CP49 e SJ02. Foi medido o diâmetro do caule e a incidência da vassoura de bruxa de cada cultivar nas localidades. Através de modelos mistos, método REML/BLUP, com ajuda do software SELEGEN, foram obtidos os parâmetros genéticos. A herdabilidade individual para diâmetro de caule foi de 0.052117, e para vassoura de bruxa 0.028164. A interação genética x ambiente, combinado com cada um dos métodos de renovação, apresentou valores significativos, com correlação genotípica em relação aos ambientes, para diâmetro do caule 0.826276 considerado moderada para alta e para vassoura de bruxa foi considerada como moderada 0.556718. As zonas foram estabelecidas com cada um dos métodos de renovação para os dois caracteres. A partir da análise de estabilidade, adaptabilidade e análise de correlação dos ambientes par a par, definiu-se as localidades combinadas com cada um dos métodos de renovação. Para as análises de coeficiente de repetibilidade foram obtidos os parâmetros para verificar índice de repetibilidade, acurácia e eficiência seletiva, calculadas a partir do diferente número de medições. O coeficiente de

repetibilidade individual para diâmetro de caule em cada um dos ambientes foi de 0.003789 (ambiente 1), 0.163232 (ambiente 2), 0.036459 (ambiente 3) e 0.113401 (ambiente 4). Para incidência de vassoura de bruxa apresentou 0.054659 (ambiente 1), 0.004055 (ambiente 2), 0.200548 (ambiente 3) e 0.38501 (ambiente 4), sendo consideradas baixas para todos os ambientes. Para o caráter de diâmetro do caule se destacou ambiente 2 e ambiente 4, neste caso para trabalhos futuros é necessário selecionar com base em quatro medições (anos) para predizer uma acurácia seletiva entre 0.743824 e 0.769487. O caráter de incidência de vassoura de bruxa se destacou o ambiente 3 onde apresenta menor número de incidência de vassoura-de-bruxa, o qual mostrou-se que precisa três anos para predizer uma acurácia seletiva de 0.768434. Dessa forma otimizou-se a seleção dos clones para cada uma das localidades. Dessa forma se estabeleceu que para interação genótipo x ambiente os clones foram ordenados eficientemente e classificados pelo procedimento REML/BLUP, sendo os clones SJ02 e FA13 os de melhores respostas para diâmetro do caule e para resistência a vassoura de bruxa, os clones CCN51 e FA13 foram os melhores classificados, para efeito de seleção, os mais indicados. Constatou-se que os dois anos e meio de idades das plantas não são suficientes para realizar adequadamente a seleção de materiais ou estimar os ganhos genéticos esperados. Isso se constatou através das estimativas de coeficientes de repetibilidade consideradas para o caráter de diâmetro do caule e incidência de vassoura-de-bruxa. Portanto, é conveniente continuar com avaliações sucessivas do diâmetro do caule e de incidência de vassoura de bruxa nesses ensaios para obter melhores estimativas de parâmetros genéticos mais precisos.

Palavras-chave: *Theobroma cacao; genética quantitativa; melhoramento genético*; coeficiente de repetibilidade; REML BLUP.

ABSTRACT

Orellana, Víctor Miguel Montaño, **Santa Cruz State University, Ilhéus, BA, 2019. Genotype x environment interaction and repeatability coefficient in renovated cocoa trees in southern Bahia.** Advisor: Ronan Xavier Corrêa. Co-supervisors: Dário Ahnert and Francisca Feitosa.

The objective of the work was to analyze the occurrence of the Genotype x Environment interaction and the repeatability coefficient in different environments combined with three renovation methods for the characteristics of the trunk diameter and the incidence of the witch's broom in cocoa clones in the Bahia State. The test was carried out in the experimental units of the Renova Cacau project, in twelve localities distributed in cocoa-producing areas in southern Bahia, grouped into four different environments. The trials were carried out in the municipalities of Gandu and its neighborhoods and Ilhéus and its neighborhoods where three methods of renewal were implemented: (i) renewal by means of grafting of basal buds, (ii) renewal by planting new seedlings grafted under the old cocoa trees and (iii) renovation due to the total felling of old cocoa trees. In each of the localities and within the three methods of renewal, five clonal cultivars were planted: CCN51, PS1319, FA13, CP49 and SJ02. The trunk diameter and the incidence of the witch's broom of each cultivar in the localities were measured. Genetic parameters were obtained through mixed models, REML / BLUP method, with the help of SELEGEN software. The individual heritability for the trunk diameter was 0.052117 and for the witch's broom 0.028164. The genetic x environment interaction, combined with each of the renovation methods, showed significant values, with genotypic correlation in relation to the environments, for the trunk diameter 0.826276 considered moderate to high and for the witch's broom it was considered moderate 0.556718. The zones were established with each renewal method for the two characteristics. From the analysis of stability, adaptability and correlation analysis of the peer-to-peer environments, the locations combined with each of the renovation methods were defined. For the analyzes of the repeatability coefficient, parameters were obtained to verify the repeatability index, the precision and the selective efficiency, calculated from the different

number of measurements. The individual repeatability coefficient for trunk diameter in each environment was 0.003789 (environment 1), 0.163232 (environment 2), 0.036459 (environment 3), and 0.113401 (environment 4). For the incidence of the witch's broom, it presented 0.054659 (environment 1), 0.004055 (environment 2), 0.200548 (environment 3) and 0.38501 (environment 4), being considered low for all environments. For the character of the trunk diameter, environment 2 and environment 4 were highlighted, in this case for future work it is necessary to select based on four measurements (years) to predict a selective precision between 0.743824 and 0.769487. The witch's broom incidence character was highlighted in environment 3, where it has a lower witch's broom incidence number, which showed that it takes three years to predict a selective precision of 0.768434. Therefore, clone selection was optimized for each locality. Therefore, it was established that for the genotype x environment interaction, the clones were efficiently sorted and classified by the REML / BLUP procedure, with the SJ02 and FA13 clones being the ones with the best responses for trunk diameter and resistance to broom. witch, clones CCN51 and FA13 were the best classified, for selection purposes the most suitable. It was found that the two and a half years of age of the plants are not enough to adequately make the selection of materials or to estimate the expected genetic gains. This was verified through the estimates of the repeatability coefficients considered for the character of the trunk diameter and the incidence of witch's broom. Therefore, it is advisable to continue with successive evaluations of the trunk diameter and the incidence of witch's broom in these tests to obtain better estimates of more precise genetic parameters.

Key words: Theobroma cacao; quantitative genetics; genetic improvement; repeatability coefficient; REML BLUP.

I. INTRODUÇÃO

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta perene, arbórea, típica de clima tropical e nativa da região de floresta úmida da América (BARTLEY, 2005; CHEESMAN, 1944; CUATRECASAS, 1964; MOTAMAYOR et al., 2008). Existem três grandes grupos clássicos de cacau: Criollo, Forastero e Trinitário, que variam em morfologia, genética e origens geográficas (BARTLEY, 2005). Motamayor *et al.* (2008), utilizando marcadores moleculares (106 microsatelites) sobre 1.241 acessos para determinar a diversidade genética do cacau, propos uma nova clasificação do germoplasma de cacau em 10 grupos: Maranhão, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional e Guiana, em substituição dos 3 grupos que era conhecido.

O produto comercial do cacau são as amêndoas, resultante do processo de fermentação e secagem das sementes, que são destinadas a produção de vários produtos, destacando se: chocolate, cosméticos, bebidas refinadas, geléias, sorvetes, e sucos (REHEM et al., 2010).). É considerado como as commodities, com milhões de pessoas dependendo diretamente dessa cultura para a sua subsistência (FAO, 2003).

O Brasil é o sétimo produtor mundial de cacau (ICCO, 2019). O sul da Bahia é a principal região produtora de cacau do Brasil, com área plantada de 450 mil hectares (IBGE,2019). A Bahia já conseguiu produzir 400 mil toneladas de cacau na década de 1980, mas com a introdução da doença vassoura de bruxa, a produção decaiu atingindo 106.246 toneladas em 2017 (IBGE, 2018).

A doença vassoura de bruxado cacaueiro (VBC) é causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime Phillips-Mora (2005), um agaricales hemibiotrófico, que foi descrita pela primeira vez em 1895, no Suriname (WENT, 1904; STAHELL, 1915) e posteriormente, foi registrada em toda a Amazônia e atingiu o Panamá, em 1978, e em 1989 a Bahia (PEREIRA, 1989).

Após a introdução da doença vassoura de bruxa na Bahia se iníciou o controle da doença. O melhoramento genético é vislumbrado como a alternativa mais eficaz, barata e sustentável, sendo alvo generalizado dos programas desde meados do século XX (MONTEIRO et al., 2012). Para iniciar a seleção de clones e híbridos em programas de melhoramento do Brasil,

Equador, Trinidad, Papua Nova Guiné, Malásia e Costa do Marfim (CACAO NET, 2012). Onde a renovação vem sendo feita por meio de enxertia em brotos basais, plantio de mudas novas enxertadas por baixo das plantas velhas e renovação total dos plantios pela corte e substituição das plantas velhas por novas. Existe atualmente cerca de 12 cultivares clonais que estão sendo cultivadas pelos produtores (AHNERT, et al., 2018).

O desempenho das culturas é uma função da interação genótipo (G), ambiente (E) e genótipo-ambiente (GEE). Diz-se que há genótipo-ambiente quando diferentes culturas ou genótipos respondem de maneira diferente em ambientes diferentes. A interação do genótipo-ambiente é importante apenas quando é significativa e causa uma mudança de ranking dos genótipos nos diferentes ambientes (BERNAL, 2011). Permite-nos estimativas da magnitude e natureza da interação G x E, bem como a análise do controle genético da característica sob investigação permitem a adoção da melhor estratégia de seleção de cultivares (RESENDE, 2002). Conhecendo essa magnitude da interação genótipo-ambiente se faz necessário a análise da adaptabilidade e estabilidade para identificar os cultivares com comportamento previsível e que sejam responsivas as variações ambientais, em condições especificas ou amplas. (CRUZ; REGAZZI, 1994; NUNES et al., 2002).

De acordo com Resende (2002), o coefiente de repetilidade refere-se á correlação fenotípica entre medições repetidas (espaço ou tempo) no mesmo individuo, sendo está a repetibilidade individual que mede a capacidade dos indivíduos em repetir a expressão do caráter, ao longo de vários períodos de tempo ou espaço. É de muita importância este parâmetro na predição de valores genéticos e eficiência seletiva, que permite reduzir o número de safras a ser adotadas em um programa pratico de melhoramento genético (RESENDE, 2002).

As espécies vegetais perenes apresentam vários aspectos biológicos peculiares, que tornam o seu melhoramento genético bastante diferenciado do melhoramento de culturas anuais. Por isso, tem-se a necessidade do uso de métodos especiais de estimativa de parâmetros genéticos e de predição de valores genéticos. Atualmente, o procedimento analítico padrão para os estudos em genética quantitativa e também para a prática da seleção em plantas perenes é o REML/BLUP, ou seja, a estimativa de componentes da

variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2001).

O presente estudo teve como objetivo analisar a ocorrência de interação G x E e coeficiente de repetilidade em diferentes ambientes combinados com três métodos de renovação para as características diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa em clones de cacau no Estado de Bahia para a determinação de clones mais eficientes de cacau para cada ambiente e método de renovação

II. REVISÃO DE LITERATURA

Características gerais do cacaueiro

O cacau (*Theobroma cacao* L) é uma planta diploide (2n = 10) igueira et al., 1992), perene, classificada na divisão angiosperma e classe dicotiledônea, sendo pertencente à família Malvaceae e ao gênero *Theobroma* (Alverson et al., 1999), que engloba 22 espécies com ocorrência desde a Colômbia até a América Central. Devido à importância econômica dos seus frutos, cujos grãos constituem a matéria prima para fabricação do chocolate, o cacaueiro é amplamente cultivado, sendo a única espécie do gênero *Theobroma* cultivada intensamente ao redor do globo (McNEIL, 2006). A distribuição das culturas é principalmente entre 20° de latitude norte e 20° de latitude sul (Wood & Lass, 1985). Neste contexto, é possível encontrar plantações do cacau nas florestas tropicais da América do Sul entre 18° de latitude norte e 15° de latitude sul, nos rios Alto Beni e Mamoré do território Boliviano e 10° de latitude norte nos limites da planície Venezuelanos nas encostas baixas das montanhas de Parimá, que dividem a Venezuela do Brasil (Soria, 1966).

Para o cultivo do cacau são necessárias chuvas regulares, temperatura média de 25ºC e precipitação anual entre 1500 e 2000 mm. O solo deve ser profundo e fértil. Podendo atingir entre 5 a 10 metros de altura (LACHENAUD; MOOLEEDHAR; COUTURIER, 1997) e os primeiros frutos são colhidos cerca de 5 anos após a plantação. O fruto do cacaueiro tem forma oval com 15 a 20 cm de comprimento do eixo maior. O cotilédone e um pequeno gérmen de planta embrionária são recobertos por uma película denominada testa, e a semente é revestida por uma polpa branca com tons rosados, mucilaginosa e adocicada (MARTINI, 2004; BATALHA, 2009; BECKETT, 1994).

Do ponto de vista morfológico, as folhas da árvore do cacau apresentam variações, podendo ser mais estreitas ou mais largas, elípticas a ovaladas; bem como sua cor que, quando jovens, pode variar entre verde claro a matizes de vermelho. Além disso, variações quanto as bordas, ápices e bases foliares também são descritas (BARTLEY, 2005). O cacaueiro geralmente possui inflorescências do tipo cauliflora, com flores hermafroditas e pentâmeras

(SCHAWE et al., 2013), e cujo os cinco lóculos presentes no ovário produzem entre 30 e 70 óvulos (DIAS, 2001).

Quando adultos, os cacaueiros produzem mais de 50 mil flores por ano (BHATTACHARJEE e KUMAR, 2007). Estas flores apresentam pétalas, sépalas, estames, carpelos e estaminódios. As pétalas e os estaminódios envolvem anteras e estigmas, respectivamente, formando uma arquitetura tal que dificulta a autopolinização e viabiliza a ocorrência de fecundação cruzada. Além disso, a presença de um sistema de autoincompatibilidade ajuda a justificar as altas taxas de fecundação cruzada, variando entre 30 e 100% (SCHAWE et al., 2013; SILVA et al., 2011) e, portanto, a discriminação de *T. cacao* enquanto espécie preferencialmente alógama. Cacaueiros autoincompatíveis são muito comuns em locais onde estas plantas ocorrem naturalmente (SILVA et al., 2011). Embora ainda não esteja totalmente elucidado para o cacaueiro, sabe-se que a autoincompatibilidade obedece a expressão dos alelos do gene S, que leva a falhas na fusão do óvulo com o pólen e culmina com a abscisão floral (ANDRADE, 2009).

Do ponto de vista da polinização, pequenas moscas do gênero *Forcipomya* são reconhecidas como os principais agentes polinizadores das flores da árvore de cacau, podendo alcançar distâncias tão longas quanto 67 m (SILVA et al., 2011). Entretanto, há prevalência de polinização a curtas distâncias – entre 3 e 12 m, o que reflete o comportamento dos polinizadores (YAMADA e GURIES, 1998). Em condições de cultivo é observado que menos de 5% das flores produzidas pelas árvores de cacau são polinizadas, sendo que as não polinizadas caem dentro de 8 a 10 horas após emergência (ALVIM, 1984). Das flores fertilizadas, frequentemente, apenas 0,5 a 2,0 % vão gerar frutos, levando de 4 a 6 meses para que os mesmos estejam maduros (BHATTACHARJEE e KUMAR, 2007).

Do ponto de vista botânico o cacau (*Theobroma cacao L.*) tradicionalmente é classificado como (USDA – ARS 2007):

a) **Cacau Criollo**: os crioulos (palavra que significa nativo, mas de ascendência estrangeira), também se originaram na América do Sul, mas foram domesticados no México e na América Central e também são conhecidos como híbridos de cacau doce. São plantas de baixo vigor e baixo rendimento, destacando a alta qualidade de suas sementes. Este

tipo de cacau tem uma semente de cor entre o marfim acastanhado e o marrom muito claro, com um cheiro de cacau doce juntamente com um aroma característico e delicado. Exemplos de cacau “crioulo” são alguns tipos de cacau cultivados na Venezuela, no Caribe e na Papua Nova Guiné. São cultivadas principalmente na América Central, México, Colômbia e parte da Venezuela, são mais suscetíveis a doenças.

b) **Cacau Forastero**: Seu centro de origem é a parte superior da bacia amazônica na área entre os rios Napo, Putumayo e Caquetá, é caracterizada por ser mais tolerante a doenças do que o cacau Criollo, suas frutos duras e amadeiradas, de Superfície relativamente lisa com semente achatados, pequeno roxo e sabor amargo, Dentro desta raça, destacam-se diferentes variedades como Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacillo e Angoleta. A variedade nacional nativa do Equador é caracterizada por ser um cacau fino com um ótimo aroma e também pertence a esse grupo. Representa aproximadamente 85% da produção mundial, proveniente dos países da África Ocidental e do Brasil.

c) **Cacau Trinitario**: É mais resistente e produtivo que o cacau “Criollo”, mas de qualidade inferior. É o resultado do cruzamento entre o cacau "Forastero" e "Criollo". É cultivado em Granada, Jamaica, Trinidad e Tobago, Colômbia, Venezuela e América Central. Esse grupo aparentemente se originou quando um genótipo crioulo cruzou naturalmente com um genótipo do Brasil. Por esse motivo, esses materiais têm características morfológicas e genéticas de ambas as raças. Eles ocupam 10 a 15% da produção mundial, apresentam grãos médios a grandes e sementes marrons (ENRIQUEZ, 1966; SORIA, 1966; ARCINIEGAS, 2005; BARTLEY 2005).

Recentemente, Motamayor *et al.,* (2008), usando marcadores moleculares (106 microssatélites) em 1.241 acessos para determinar a diversidade genética do cacau, propuserom uma nova classificação do germoplasma do cacau em 10 grupos: Marañón, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional e Guiana, em substituição dos 3 grupos já conhecidos.

Importância econômica do cacaueiro

O cacau tem grande importância econômica, primero porque esta espécie talvez tenha sido a arvore de maior valor do continente americano, antes da chegada dos espanhóis, o qual foi considerada muito importante pelos povos primitivos, como moeda corrente, bebida real e ainda como remédio (DISAS, 2001), e segundo porque é o matéria prima para produção de chocolate, som considerado uma *commodities*, com milhões de pessoas dependendo diretamente dessa cultura para a sua subsistência (FAO, 2003). Já que este cultivo esta desenvolvido como atividade agrícola de grande impacto econômico em países do Terceiro Mundo, devido a fatores edafoclimáticos, sociais e por permitir uma atividade agrícola estável (cultivo perene) em terras pouco mecanizáveis e ser explorada com mão de obra de baixo custo.

O Brasil é o sétimo produtor mundial de cacau e sua cadeia produtiva participa com cerca de R$ 20 bilhões no produto interno bruto (PIB), estando como o terceiro maior parque confeiteiro do mundo, atrás dos Estados Unidos e da Alemanha (ICCO, 2019; GOMES, 2018). Com área plantada de 450 mil hectares, a Bahia já conseguiu produzir 400 mil toneladas de cacau na década de 1980, mas com a introdução da doença vassoura de bruxa, a produção decaiu atingindo 106.246 toneladas em 2017 (IBGE, 2017).

A incidência de doenças, associados aos baixos preços da amêndoa praticados no mercado internacional, a elevação da produtividade e obtenção de melhores preços do produto, levando a cacauicultura baiana à decadência e, consequentemente ao abandono de fazendas ou à conversão para outras culturas, gerando uma crise econômica social, gerando menor fonte de trabalhos no meio rural e migrações do homem do campo para a cidade (TREVISAN e SILVA, 1995). Como os pequenos produtores são a maioria, a falta de orientação para o manejo adequado e baixo investimento nas lavouras são fatores que reduzem a otimização da produção.

Vassoura de bruxa

A Vassoura de bruxa é uma das maiores doenças para a cacauicultura na América tropical (AIME e PHILLIPS-MORA 2005; MEINHARDT *et al*. 2008). É causada pelo fungo basidiomiceto *Moniliophthora perniciosa* (Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Classe Oomycetes, Ordem Agaricales, Família Marasmiaceae). Os hospedeiros de *M. perniciosa* compreendem espécies das famílias Malvaceae, Solanaceae, Malpighiaceae, Bixaceae, Fabaceae, Bignoniacea, dentre outras. *Moniliophthora perniciosa* é classificado em quatro biótipos (C, H, L e S) de acordo com o hospedeiro infectado (BASTOS e EVANS, 1985; BASTOS e ANDEBEHAN,1988), sendo que o biótipo-C causador da doença no cacaueiro, apresenta alta variabilidade genética e patogênica entre diferentes municípios do estado da Bahia e entre as diferentes partes infectadas do cacaueiro (SANTOS, 2014; GRAMACHO *et al*., 2007; MOREIRA, 2006; BRAZ *et al*., 2006; MOTILAL *et al*., 2003).

A doença foi registrada pela primeira vez em plantações no Suriname em 1895 (WENT, 1904; STAHELL, 1915), em 1978 havia registros da doença em toda a Amazônia, inclusive no Panamá (PEREIRA, 1989).Os primeiros focos conhecidos desta doença na região sul do estado da Bahia foram identificados em 1989 no município de Uruçuca (região de Almada) e de Camacan, considerados os dois maiores agrossistemas cacaueiros da região na época (Pereira *et al*., 1991). O fungo encontrou nesta região condições adequadas para sua disseminação. A primeira condição foi o clima, uma vez que a chuva é distribuída uniformemente durante o ano, com períodos curtos de estiagens, alternância de chuvas com dias de sol, noites com temperaturas entre 15 e 24°C e umidade relativa do ar acima de 90% (LUZ et al., 1997). A segunda condição foi a uniformidade genética dos mais de 700 mil hectares contínuos de cacaueiros da região (SCARPARI, 2005) com predominância de variedades suscetíveis a doença (PEREIRA et al., 1989), gerando um grande impacto econômico da na região sul do estado da Bahia.

Várias são as medidas que buscam controlar a dispersão de doenças como a Vassoura-de-bruxa, dentre as mais utilizadas pode-se citar as podas fitossanitárias, o controle químico e o controle biológico (LANA 2004; HEBBAR 2007).

Como forma de controle das doenças causadas por pragas e patógenos, o melhoramento genético é vislumbrado como a alternativa mais eficaz, barata e sustentável, sendo alvo generalizado dos programas desde meados do século XX (MONTEIRO et al., 2009). Características como compatibilidade sexual e arquitetura das plantas têm sido alvos recentes dos programas de melhoramento em prol de plantas auto compatíveis (já que plantas auto incompatíveis tendem a ser mais vigorosas e menos produtivas) e de mais fácil manejo (LOPES et al., 2011; MONTEIRO et al., 2009).

A seleção de clones e híbridos ainda é bastante utilizada em programas de melhoramento do Brasil, Equador, Trinidad, Papua Nova Guiné, Malásia e Costa do Marfim (CACAONET, 2012). Esta estratégia vem sendo empregada no Brasil, Malásia e Costa do Marfim, a partir das características de produtividade, qualidade do grão e resistência a doenças (LOPES et al., 2011).

No sul da Bahia a partir de 1989 as lavouras começaram a ser renovadas com cultivarem clonais resistentes a doenças e produtivos. A renovação vem sendo feita por meio de enxertia em brotos basais, plantio de mudas novas enxertadas por baixo das plantas velhas e renovação total dos plantios pela corte e substituição das plantas velhas por novas. Existe atualmente cerca de 12 cultivares clonais que estão sendo cultivadas pelos produtores (AHNERT, et al., 2018).

O plantio dos clones recomendados pela CEPLAC é uma das ações que compõem o manejo integrado da lavoura, a fim de mantê-la mais produtiva e resistente à Vassoura-de-bruxa e com custo mínimo. Neste sentido, além da resistência genética, são recomendados a poda fitossanitária, o uso racional de químicos e o controle biológico (MEDEIROS et al., 2010). Para este último, o primeiro produto desenvolvido para cacaueiros - o Tricovab - feito a partir do fungo *Trichoderma stromaticum*, naturalmente antagonista do *M. perniciosa*, já está sendo utilizado em plantações comerciais de cacau da Bahia.

No cenário da resistência à vassoura de bruxa a grande preocupação reside na suplantação da resistência entre os clones resistentes utilizados nas lavouras; esta suplantação da resistência é devido à variabilidade genética do patógeno, o que provavelmente ocorre devido ao amplo período de co-evolução patógeno-cacaueiro (SANTOS, 2014).

Os clones selecionados como sendo resistente a doença são, em sua maioria, descendentes do clone Scavina-6 (Sca 6) e isto contribui para a pressão de seleção de raças de *M. perniciosa* capazes de suplantar essa resistência. Como consequência, a maioria dos clones selecionados e distribuídos aos produtores não apresentam uma resistência total e sim uma resistência parcial ao fungo. Além disso, o fato de estudos genômicos demonstrarem que os fungos presentes na região da Bahia são originários de apenas dois genótipos, enquanto que na Amazônia pelo menos seis genótipos diferentes foram identificados (MEINHARDT *et al*. 2008). de modo que, as variedades resistentes selecionadas a partir de genótipos da Bahia, podem ser susceptíveis a novos genótipos amazônicos que venham a infectar a região cacaueira da Bahia. A principal solução para a resistência durável à Vassoura de bruxa hoje está na reunião de genes de resistência oriunda de fontes de resistência evolucionariamente distintas para dificultar a evolução do patógeno.

Analises de Crescimento

A análise quantitativa do crescimento é uma técnica de estudo que utiliza modelos matemáticos para analisar os índices de crescimento das plantas, sendo os dados obtidos por meio de métodos de coletas sucessivas (LUCHESI, 1984; CHIARELLO et al., 1989). Sob o ponto de vista fitotécnico, a análise quantitativa do crescimento permite avaliar diferenças no crescimento entre cultivares comerciais (LUCHESI, 1984).

Sob o ponto de vista ecofisiológico, é possível analisar os efeitos de fatores do ambiente sobre o crescimento das espécies de uma determinada comunidade vegetal, e avaliar a capacidade dessas espécies em ocupar nichos ecológicos específicos, além de possibilitar análises comparativas do crescimento entre espécies típicas de diferentes ecossistemas (CHIARELLO et al., 1989; HUNT et al., 1993).

A medida de diâmetro do caule do cacaueiro é usada para averiguar o crescimento e o vigor da planta no tempo e no espaço. Pode ser associado diretamente com o tamanho da copa, i.e., quando maior o diâmetro, maior a copa (AHNERT e ESKES, 2018). Alguns autores têm utilizado diâmetro de caule do cacaueiro para selecionar plantas mais produtivas, considerando que

plantas com maior diâmetro são mais vigoras e produtivas (HADLEY, 1993; MOSES e ENRIQUEZ, 1981; SORIA, 1964).

Interação genótipo X ambiente

Compreender a relação entre a produção agrícola e o meio ambiente tem sido um problema fundamental para produtores e geneticistas. O rendimento das culturas é uma função da interação genótipo (G), ambiente (A) e genótipo-ambiente (GxA). Diz-se que há interação do genótipo e ambiente, quando diferentes culturas ou genótipos respondem de maneira diferente em ambientes diferentes. Os pesquisadores concordam que a interação do ambiente com o genótipo é importante apenas quando é significativa, e causa uma mudança significativa no gerenciamento do genótipo em diferentes ambientes. Para que a interação seja detectada através de procedimentos estatísticos, é necessário ter pelo menos dois genótipos diferentes avaliados em pelo menos dois ambientes. Bernal, (2011) propõe um modelo básico que inclui a interação genótipo-ambiente:

$$P = G + A + GxA$$

Se não houver interação o teste da produção poderia ser realizado em um único local e fornecer resultados universais. Além disso, os resultados experimentais deveriam ser precisos, identificando a melhor variedade sem erros, e não haveria necessidade de réplicas. Portanto, uma réplica em um só lugar deveria identificar a melhor variedade produtivo em todo o mundo (GAUCH e ZOBEL, 1996).

Quando a interação G x A é significativa, o melhorista determina zonas de recomendação de clones diferentes para cada tipo de sitio ou seleciona genótipos que apresentam desempenho satisfatório em todo os ambientes (OSÓRIO, 2001). Dessa forma, a presença de interação G x A constitui-se em um dos maiores problemas na recomendação de genótipos superiores, por reduzir a taxa de progresso num programa de melhoramento de qualquer espécie. (MUNERI; RAYMOND, 2000).

Considerando o objetivo do melhoramento em obter genótipos produtivos e de qualidade, geralmente, a interação G x A não é desejável, por inviabilizar o desenvolvimento de uma única unidade de recomendação de

clones. Com isso, Vencovsky e Barriga 1992 citam alternativas apara atenuar os efeitos dessa interação como: (1) identificar genótipos específicos para cada ambiente; (2) promover subdivisões de uma área heterogênea em sub-regiões mais uniformes, de modo que os genótipos não interajam significativamente com os ambiente; e (3) identificar genótipos com maior estabilidade fenotípica.

Permite-nos Estimativas da magnitude e natureza da interação G x A, permitindo a adoção da melhor estratégia de seleção de cultivares (RESENDE, 2002). Dentro desse contexto, a simples identificação de interação G x A per se não proporciona informação completas e exatas sobre o comportamento de cada genótipos frente as variações ambientais, sendo necessário o conhecimento da magnitude dessa interação. Para isso, análises de adaptabilidade e estabilidade genotípicas devem ser realizadas, tornando possível a identificação de cultivares com comportamento previsível e que sejam responsáveis pelas variações ambientais, em condições especificas ou amplas. (CRUZ; REGAZZI, 1994; NUNES et al., 2002).

Adaptabilidade e estabilidade

A adaptabilidade do material genético pode ser definida como o potencial que os genótipos tem de responderem vantajosamente as mudanças favoráveis do ambiente, enquanto que a estabilidade representa a capacidade dos genótipos apresentarem constância no seu comportamento geral, em função das mudanças na qualidade ambiental.

A busca por material genético superior é um processo dinâmico, é possível eliminar material considerado inferior ou introduzir novo material genético, tomando como princípio o fator ambiental e suas variantes (adaptabilidade e estabilidade), verificando se as populações genéticas se adaptam da melhor maneira possível às condições ambientais (CAÍQUE, 2016; RESENDE, 2002; CRUZ et al., 2012).

As análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem identificar os cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais. Vários métodos estatísticos têm sido propostos e utilizados em aplicações, e a cada

dia novos procedimentos vêm sendo utilizados com o objetivo de se interpretar melhor a interação.

Devido às variações ambientais que podem ocorrer de um ano para outro, muitas vezes o efeito da interação entre genótipo e ambiente (G x A) é altamente significativo. O efeito desta interação é fundamental para os programas de melhoramento, uma vez que pode optar-se por selecionar genótipos mais estáveis.

Repetibilidade

De acordo com Resende (2002), a repetibilidade é como correlação intraclasse e, refere-se à correlação fenotípica entre medições repetidas (espaço ou tempo) no mesmo individuo, sendo está a repetibilidade individual.

A avaliação genética de medidas repetidas (no espaço ou no tempo) é viável pela determinação do coeficiente de repetibilidade, que mede a capacidade dos indivíduos em repetir a expressão do caráter, ao longo de vários períodos de tempo ou espaço. Este parâmetro apresenta muita importância na predição de valores genéticos e genotípicos para um aumento de eficiência seletiva, o fato que permite determinar o número de safras a ser adoptadas em um programa pratico de melhoramento genético (RESENDE, 2002).

Seleção Precoce

Principais fatores para um bom sucesso de melhoramento: (i) estratégia adequada de melhoramento (método de seleção e delineamento de cruzamento); (ii) eficiência no processo seletivo e (iii) curtas gerações de melhoramento.

Os melhoristas de plantas perenes necessitam encurtar os ciclos seletivos de cultivares. A perspectiva é de que ciclos mais curtos serão necessários principalmente nos programas de melhoramento já que a velocidade de troca de cultivares melhorados é um fator essencial para as mudanças climáticas e na competitividade do agronegócio. As ferramentas precisas de seleção atualmente disponíveis (REML/BLUP) permitem a adoção

segura da seleção precoce. Em fruteiras e outras espécies perenes geralmente não é necessário mais que três anos para a avaliação das safras. Em culturas de propagação assexuada é importante se ter uma alta rotatividade de clones em plantios comerciais, visando reduzir a vulnerabilidade dos plantios aos ataques de novas pragas e doenças, facilitadas por gerações curtas de melhoramento (RESENDE, 2005).

Seleção de genótipos via modelos mistos

A genética quantitativa conta com as metodologias mais atuais para o estudo da interação G x A já que os caracteres quantitativos são governados por muitos genes, dificulta a identificação de genótipos com base na expressão fenotípica das plantas, pode alterar ao longo do tempo o desempenho fenotípico, pois o ambiente exerce grande influência na determinação do caracteres dessa natureza, devido a ocorrência de mudanças climáticas como a intensidade luminosa, frequência e intensidade da precipitação, entre outros fatores, que alteram a expressão do fenotípico da plantas (FALCONER, 1989). De particular interesse do melhoramento, é a avaliação dos genótipos ao longo do tempo considerando o efeito em que as condições ambientais de um ano poderão causar no ano subsequente.

Para identificar um modelo adequado que permita selecionar genótipos com precisão, que reúnam um maior número possível de genes favoráveis (Henderson, 1984). O melhoramento genético em espécies perenes, tais aspectos levam às seguintes considerações: (a) utilização de espécies perenes demanda rigor e precisão nos métodos de seleção; (b) uso de avaliações repetidas em cada indivíduo ao longo do tempo; (c) redução na taxa de sobrevivência dos experimentos durante sua vida útil, fato que tende a gerar dados desbalanceados para uso na estimação de parâmetros genéticos e na predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos.

O procedimento de predição de valores genéticos depende do conhecimento do controle genético dos caracteres sob seleção, especialmente dos parâmetros de herdabilidade e repetibilidade individuais. O principal uso dos parâmetros genéticos, além do tradicional como subsídio para o

planejamento de eficientes estratégias de melhoramento, está na própria predição de valores genéticos (RESENDE, 2005).

Devido a necessidade do uso de métodos especiais de estimação de parâmetros genéticos e de predição de valores genéticos, os métodos tradicionais de estimação com base em análise da variância não são os mais recomendados para a análise de dados no melhoramento do espécies perenes. Atualmente, o procedimento analítico padrão recomendado para os estudos em genética quantitativa e também para a prática da seleção em plantas perenes é o REML/BLUP, ou seja, a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2001).

O BLUP constitui-se na metodologia de modelos mistos que foi derivada por Henderson (1949) e trata-se do procedimento que contempla o ajustamento dos dados para os efeitos ambientais identificáveis (efeito do bloco, ano, local, outros) e predizer simultaneamente os valores genéticos dos indivíduos. O REML foi desenvolvido por Hartley e Rao (1967) é uma correção ao estimador da Máxima Verossimilhança (ML), eliminando seu vício, permitindo assim, a maximização apenas da porção da verossimilhança que é univariante aos efeitos fixos (RESENDE, 2002).

A combinação de REML/BLUP tem se tornado o método padrão para estimar os componentes de variância a partir de dados desbalanceados em plantas perenes, obter a maximização do ganho genético por ciclo de seleção e a maximização da probabilidade de selecionar o melhor entre vários genótipos (RESENDE, 2002).

III. CAPÍTULO 1

Genotype interaction according to environments in young cocoa trees resistant to witches' broom disease

Victor Miguel Montaño-Orellana[1], Francisca Feitosa Jucá Santos[1], Dario Ahnert[1], Ronan Xavier Corrêa[1*]

[1]Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Biológicas, Centro de Biotecnologia e Genética, Rod. Jorge Amado, km 16, s/n, 45662-900, Ilhéus, BA, Brazil.

Corresponding author. E-mail addresses: ronanxc@uesc.br (R.X. Corrêa

ORCID 0000-0002-4010-1565)

Author's Contributions:

Victor Miguel Montaño-Orellana: designed the study, performed the statistical analysis, wrote the methodology, and wrote the first draft of the manuscript;

Francisca Feitosa Jucá Santos: designed the studyand managed the collection of data;

Dario Ahnert: designed the studyand managed the collection of data;

Ronan Xavier Corrêa: designed the studyand supervised the first author in his master course.

All authors managed the literature searches, discuss the results, as well as read and approved the final manuscript.

*Artigo enviado a Journal of Applied Genetics.

Interação Genótipo x Ambiente em cacaueiro clonais jovens no sul da Bahia avaliada por meio da resistência a vassoura de bruxa e diâmetro do caule

Resumo

O objetivo do trabalho foi estimar a interação genético-ambiental em clones de cacau por meio de avaliações das características incidência de vassoura-de-bruxa e diâmetro do caule, estabilidade e adaptabilidade de clones de cacau em doze localidades distribuídos em áreas de produtoras de cacau do sul da Bahia, agrupados em quatro ambientes diferentes, onde foram implantados três métodos de renovação: renovação por enxertia em broto basal, renovação por plantio de muda nova enxertada por baixo dos cacaueiros velhos e renovação por derruba total dos cacaueiros velhos. Em cada um dos três métodos de renovação, plantou-se cinco cultivares clonais: CCN51, PS1319, FA13, CP49 e SJ02. Foi medido o diâmetro do caule e a incidência da vassoura-de-bruxa. As análises forem feitas Através de modelos mistos método REML/BLUP, para obtiver os parâmetros genéticos. Onde A heredabilidad individual para diâmetro de caule foi de 0.052117, e para vassoura-de-bruxa 0.028164. A interação genética x ambiente, combinado com cada um dos métodos de renovação, apresentou valores significativos, com correlação genotípica em relação aos ambientes, para diâmetro do caule 0.826276 e para vassoura-de-bruxa foi 0.556718. A partir da análise de estabilidade, adaptabilidade e análise de correlação dos ambientes par a par, definiu-se os ambientes combinadas com cada um dos métodos de renovação. Dessa forma otimizou-se a seleção dos clones para cada um dos ambientes combinados com cada um dos métodos de renovação.

Palavras-chave: método renovação; *Theobroma cacao*; vassoura-de-bruxa; genética quantitativa; melhoramento genético; REML BLUP.

1. Introdução

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta perene arbórea, típica de clima tropical e nativa da região de florestas úmidas das Américas. O produto comercial do cacau são amêndoas, resultante do processo de fermentação e secagem das sementes, as quais são vendidas pelos agricultores as moageiras.

O Brasil é o sétimo produtor mundial de cacau (ICCO, 2019). O sul da Bahia é a principal região produtora de cacau do Brasil, com área plantada de 450 mil hectares. A Bahia já conseguiu produzir 400 mil toneladas de cacau na década de 1980, mas com a introdução da doença vassoura de bruxa, a produção decaiu atingindo 106.246 toneladas em 2017 (IBGE, 2017).

A doença vassoura-de-bruxa do cacaueiro (VBC) é causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime Phillips-Mora (2005), um agaricaleshemibiotrófico, que foi descrita pela primeira vez em 1895, no Suriname (WENT, 1904; STAHELL, 1915). Posteriormente, foi registrada em toda a Amazônia e atingiu o Panamá, em 1978, e em 1989 a Bahia (PEREIRA, 1989).

Após a introdução da doença vassoura de bruxa na Bahia as lavouras começaram a ser renovadas com cultivarem clonais resistentes a doenças e produtivos. A renovação vem sendo feita por meio de enxertia em brotos basais, plantio de mudas novas enxertadas por baixo das plantas velhas e renovação total dos plantios pela corte e substituição das plantas velhas por novas. Existe atualmente cerca de 12 cultivares clonais que estão sendo cultivadas pelos produtores (Ahnert, et al., 2018).

A medida de diâmetro do caule do cacaueiro é usada para averiguar o crescimento e o vigor da planta no tempo e no espaço. Pode ser associado diretamente com o tamanho da copa, quando maior o diâmetro maior é a copa (Ahnert e Eskes, 2018). Alguns autores têm utilizado diâmetro de caule do cacaueiro para selecionar plantas mais produtivas, considerando que plantas com maior diâmetro são mais vigoras e produtivas (Hadley, 1993; Moses e Enriquez, 1981; Soria, 1964;).

Estudos sobre a interação genótipo-ambiente (G x A), que incluem análise de adaptabilidade e de estabilidade, são considerados essenciais para

programas de melhoramento, pois permitem uma avaliação detalhada da interação entre diferentes materiais genéticos nos diversos ambientes aos quais estão sujeitos (Junioret al., 2006). Estimativas da magnitude e natureza da interação G x E, bem como a análise do controle genético da característica sob investigação permitem a adoção da melhor estratégia de seleção de cultivares (RESENDE, 2002).

A avaliação de genótipos em diferentes localidades e ao longo do tempo é importante para estimar as respostas fenotípicas e genotípicas diferenciais sob diversas condições ambientais. Medir sua interação genótipo-ambiente dá uma idéia da estabilidade fenotípica das variedades frente às flutuações ambientais (HaynesK. G, 2012).

A adaptação apresentada pelos materiais genéticos, nas condições ambientais é fundamental para definir variedades clonais especializados para certos ambientes ou generalistas para todos os ambientes em uma região. (Murillo, Wright, Monteuuis e Montenegro, 2013). A tolerância que determinada espécie pode apresentar em diferentes ambientes possibilita esclarecer a direção que os programas de melhoramento devem seguir.

As análises de adaptabilidade e estabilidade genotípica devem ser realizadas, tornando possível a identificação de genótipos com comportamento constante e/ou que sejam respostas às variações ambientais, em condições específicas ou amplas de acordo com o interesse do melhorista (CRUZ; REGAZZI, 1994). Este tipo de análise caracteriza-se como uma ferramenta fundamental na recomendação de materiais genéticos nos casos em que a interação G x A é significativa (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992; CRUZ et al., 2004).

As espécies vegetais perenes apresentam vários aspectos biológicos peculiares, que tornam o seu melhoramento genético bastante diferenciado do Melhoramento de culturas anuais. Por isso, tem-se a necessidade do uso de métodos especiais de estimação de parâmetros genéticos e de predição de valores genéticos. Atualmente, o procedimento analítico padrão recomendado para os estudos em genética quantitativa e também para a prática da seleção em plantas perenes é o REML/BLUP, ou seja, a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2001).

O presente estudo teve como objetivo analisar a ocorrência de interação G x A em diferentes ambientes combinados com três métodos de renovação para as características diâmetro do caule e incidência de vassoura–de-bruxa em clones de cacau no Estado de Bahia para a determinação de clones mais eficientes de cacau para cada ambiente e método de renovação.

2. Material e métodos

2.1. Localidade do estudo

A pesquisa foi realizada na região cacaueira do Sul da Bahia no município de Gandu e vizinhança ao norte e no município de Ilhéus e vizinhança ao sul (Figura 1). Os experimentos foram implantados em 12 localidades, agrupadas em 4 em blocos (agrosistemas) ao acaso, com duas repetições, cinco clones com 5 plantas por parcela, avaliadas a partir de janeiro de 2017 a março de 2019. As localidades foram classificadas de acordo com o tipo de agrosistemas (Silva e Leite, 1987). Ademais, de acordo com a tipologia climática, que foi considerada úmida para todas as localidades, e os tipos de solos, sendo predominantemente argilosos (tabela 1).

Fonte: Projeto Renova Cacau, 2019.

Figura1. *Localização dos ambientes analisados pela pesquisa, na região Sul da Bahia, entre os anos de 2017 a 2019.*

Tabela 1. *Classificação dos ambientes das regiões de Gandu e ilhéus nos anos de 2017 a 2019.*

Agrosistemas	Grupo fazendas	Tipo de solo	Coordenadas Geográficas
ambiente 1	Ravenala	Franco-argilo-arenoso	S 14°45.219' W 039°06.364'
	Nossa Sra. Da Vitória	Argiloso	S1 4°7.583' W 039°15.311'
	Itaperuna	Argiloso	S 14°34.916' W 039°19.018'
ambiente 2	Muriá	Argiloso	S 13°44'27.4 W 039°23'08,1"
	Ponto Alegre	Muito Argiloso	S 13°59'39.0" W 039°27'59.7"
	São João	Argiloso	S 13°52'14.3" W 039°26'37.4'
ambiente 3	São Rafael	Muito Argilosa	S 15°13.314' W 039°14.600'
	Santo Antônio	Argiloso	S 15°10.432' W 039°12.587'
	Mangueira	Franco-argilo-arenosa	S 15° 20.616' W 039° 04.861'
ambiente 4	Alto da Prata	Argilo-arenoso	S 13°35'37.1" W 039°28'37,1"
	Duas Barras	Muito Argiloso	S 13°11'34.7" W 039°29'59.4"
	Saramandaia	Argiloso	S 13°40'56.7" W 039°35'18.3"

Fonte: Projeto Renova Cacau, 2019

2.1 implantações dos métodos de renovação

Os tres métodos de renovação foram realizados no mesmo ano onde para:

-Para a implantação do método enxertia, inicialmente as plantas velhas foram estimuladas a produzir brotos basais com podas para entrada de luz até o solo nas fileiras e aplicação de uréia ao redor das plantas. A enxertia foi feita por meio de garfagem de topo e à medida que o enxerto foi crescendo a planta velha foi aos poucas sendo podada para o crescimento do enxerto ate remoção total da planta velha aos dois anos. Até os dois anos a planta velha serviu de sombra para a nova e para produzir frutos para o agricultor durante a renovação.

-Para a implantação do método renovação por baixo, mudas foram enxertadas em viveiro usando o porta enxerto TSH1188 e plantadas por baixo das plantas velhas no espaçamento 3 x 3 m, em curva de nível e em quincôncio. À medida que as plantas novas foram crescendo as velhas foram aos poucos sendo podadas para entrada de luz e aos dois anos totalmente eliminadas. As plantas velhas serviram de sombra provisória para as novas e também para produzir frutos para o produtor durante a renovação.

-Para a implantação do método renovação total, inicialmente as plantas velhas de cacau foram eliminadas e os troncos empilhados entre as fileiras. Em seguida, foi feito o balizamento em curva de nível e em quincônico no espaçamento 3 x 3 m para o plantio do cacau. Foram plantadas bananeiras para sombreamento provisório das mudas de cacau. Cerca de um ano após o plantio das bananeiras foram plantadas as mudas enxertadas em viveiro usando porta enxerto TSH1188. Quando os cacaueiros atingiram dois anos foram eliminadas as bananeiras, deixando as plantas de cacau sem sombreamento provisório.

2.2.1 Diâmetro de caule

A medição do diâmetro do caule foi realizada a 30 cm do solo, em cinco plantas de cada clone por parcela, com a ajuda de um paquímetro uma vez por ano.

2.1.2 Incidência de vassoura-bruxa

Os dados foram coletados contando o número de vassouras vegetativas secas ou verdes da copa de cinco plantas de cada clone por parcela. Após a contagem as vassouras de bruxa foram retiradas das plantas e destruídas.

2.2 Delineamentos estatísticos

O delineamento experimenta foi em Blocos Completos com Interação Tripla (genótipo x ano x ambiente-método renovação) uma planta por parcela segue Cruz (2012), mas confiável, pois os efeitos do ambiente tendem a diminuir. Logo consideramos dois anos e meio de avaliação de campo em quatro ambientes, e cada uma dos ambientes se combina com cada um dos três métodos de renovação, por cada um das combinações foram testadas os cinco cultivares clonais de *T. cacao* de alta produtividade e com tolerância à doença vassoura-de-bruxa (Tabela 2). Seguindo o modelo proposto por Resende (2006).

$$\mathbf{y = Xf + Zg + Qgl + Tgm + Wgml + Sp + e}$$

Em que **y** é o vetor de dados, **f** é o vetor dos efeitos das combinações repetição local-medição (assumidos como fixos) somados à média geral, **g** é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), **gl** é vetor dos efeitos da interação de genótipos com locais (aleatórios), **gm** é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições, **glm** é o vetor dos efeitos da interação tripla genótipos x locais x medições (assumidos como aleatórios), **p** é o vetor dos efeitos permanentes de parcela dentro de locais (assumidos como aleatórios) e **e** é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Os valores genéticos foram obtidos através do programa genético-estatístico.

“SELENGEN” (RESENDEN 2006), associado a um modelo misto de tripla interação (genótipo x ano x ambiente-método renovação).

Tabela 2. *características dos cinco cultivares clonais de cacau.*

Cultivares	Origem	Possivel Genealogia	Ascendencia
CCN51	Ecuador	(ICS-95 X IMC-67) X CANELO (CCN-1)	Amazônico/Trinitários
FA13*	Brasil (BA)	-	-
PS1319	Brasil (BA)	ICS-01 X PA-150	Amazônico/Trinitários
SJ02	Brasil (BA)	IMC-67 X ICS-01	Amazônico/Trinitários
CP49	-	CCN51 X (CEPEC-11 X TSH-565)	Amazônico/Trinitários

Fonte: http://www.icgd.rdg.ac.uk/input_list.phpe Lopez et al., 2011;
**=Sem informação na literatura.*

3. Resultados

3.1 Parâmetros genéticos das características diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa.

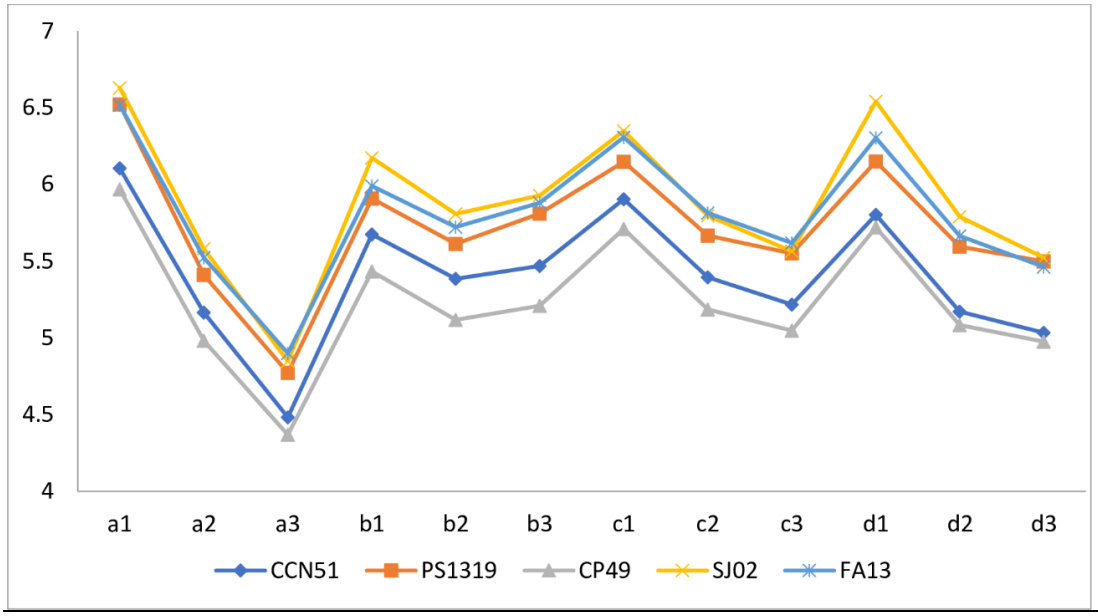
Se estimaron os parâmetros genéticos para as características de diâmetro de caule e numero de incidência de vassura de bruxa (Tabela 3). Onde a herdabilidade no sentido amplo para diâmetro foi de h2g= 0.052117 e para incidência de vassoura-de-bruxa é de h2g= 0.028164.

Para a análise da interação genótipo x ambiente, o diâmetro do caule (rgl= 0.826276) apresentou interação moderada para alta e a incidência de vassoura de bruxa (rgl= 0.556718) apresentou uma correlação moderada (tabela 3). As dois características apresentaron interação complexo (figura 2 e figura 3).

Tabela3. *Estimativa de parâmetros genéticos (REML individual) para os caracteres diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa, obtidos na análise conjunta dos ambientes em cada um dos anos.*

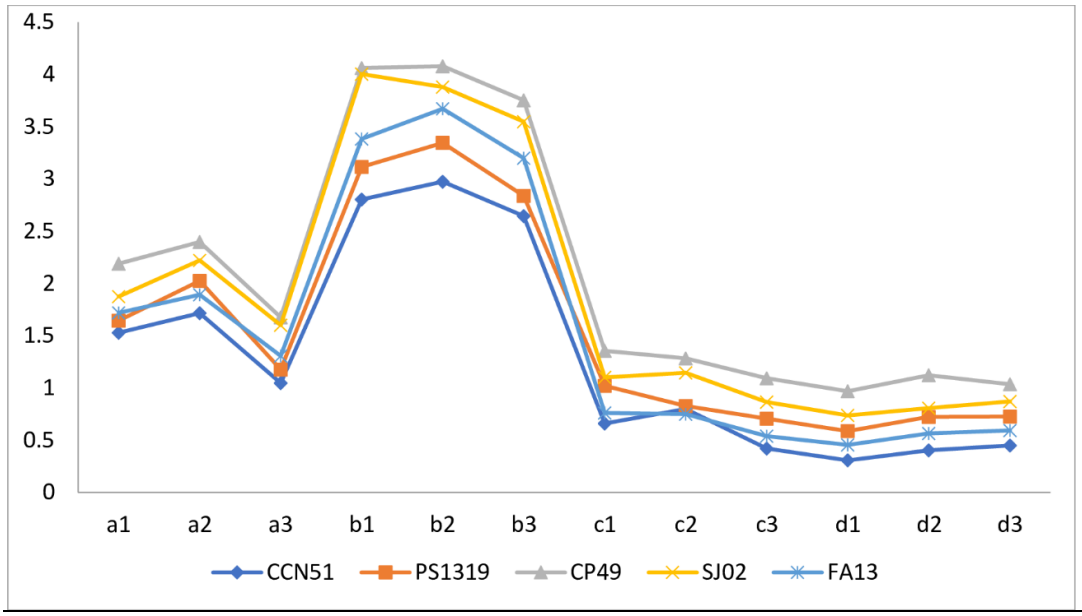
	Diametro do caule	VV
Vg	0.089266	0.112309
Vgm	0.025165	0.018698
Vgl	0.018768	0.089425
Vglm	0.002163	0.005783
Vperm	0.012787	0.047246
Ve	1.564665	3.714244
Vf	1.712814	3.987706
h2g	0.052117 +- 0.0198	0.028164 +- 0.0177
h2mg	0.894413	0.850538
Acgen	0.945734	0.922246
c2gl	0.010958	0.022425
c2gm	0.014692	0.004689
c2glm	0.001263	0.00145
c2perm	0.007466	0.011848
rgl	0.826276	0.556718
rgm	0.780087	0.857272
rgl_m	0.859097	0.59432
rgm_l	0.811073	0.915174
rgl_mm	0.839785	0.582077
rgm_ml	0.783389	0.865422
rglm	0.659464	0.496468
Media geral	5.603575	1.644446

***Vg**: variância genotípica. **Vgm**: variância da interação genótipos x medições. **Vgl**: variância da interação genótipos x locais. **Vglm**: variância da interação genótipos x locais x medições. **Vperm**: variância dos efeitos permanentes de parcela. **Ve**: variância residual. **Vf**: variância fenotípica individual. **h2g** = **h2**: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais. **h2mg** = herdabilidade no sentido amplo da média de genótipos. **Acgen** = acurácia da seleção de genótipos. **c2gl** = **c2**: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x locais. **c2gm** = c21: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições. **c2glm** = **c22**: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x locais x medições. **c2perm** = **c24**: coeficiente de determinação dos efeitos permanentes de parcela; **rgl**: correlação genotípica através dos locais,válida para qualquer medição. **rgm**: correlação genotípica através das medições, válida para qualquer local. **rgl_m**: correlação genotípica através dos locais, em uma dada colheita ou medição. **rgm_l**: correlação genotípica através das medições, em um dado local.*



a1= *ambiente 1-enxertia;* ***a2***= *ambiente 1-renovação por baixo;* ***a3***= *ambiente 1- renovação total;* ***b1***= *ambiente 2-enxertia;* ***b2***= *ambiente 2-renovação por baixo;* ***b3***= *ambiente 2-renovação total;* ***c1***= *ambiente 3-enxertia;* ***c2***= *ambiente 3-renovação por baixo;* ***c3***= *ambiente 3- renovação total;* ***d1***= *ambiente 4-enxertia;* ***d2***= *ambiente 4-renovação por baixo;* ***d3***= *ambiente 4- renovação total.*

Figura 2. *Interação do genótipo com o ambiente (ambientes combinados com cada um dos sistemas de renovação), para a característica do diâmetro do tronco (cm).*



a1= *ambiente 1-enxertia;* ***a2***= *ambiente 1-renovação por baixo;* ***a3***= *ambiente 1- renovação total;* ***b1***= *ambiente 2-enxertia;* ***b2***= *ambiente 2-renovação por baixo;* ***b3***= *ambiente 2-renovação total;* ***c1***= *ambiente 3-enxertia;* ***c2***= *ambiente 3-renovação por baixo;* ***c3***= *ambiente 3- renovação total;* ***d1***= *ambiente 4-enxertia; d2= ambiente 4-renovação por baixo;* ***d3***= *ambiente 4- renovação total.*

Figura 3. *Interação do genótipo com o ambiente (ambientes combinados com cada um dos sistemas de renovação), para a característica da incidência de Vassoura-de-Bruxa.*

3.2 Ranking dos caracteres diâmetro do caule e incidência de vassoura-de-bruxa para cada uma das combinações entre ambiente e método de renovação

A Tabela 4 apresenta o ordenamento dos genótipos em cada uma das combinações ambiente-método de renovação. Para diâmetro do caule foi ordenado do maior a menor valor e para incidência de vassoura-de-bruxa do menor para o maior valor. A ordem foi feita de acordo a seus valores de u+g+ge (media general + valor genético + Interação genético por ambiente).

Tabela 4. *Ranking genético para diâmetro do caule (cm) e incidência de vassoura de bruxa.*

		Diâmetrodo caule			Vassoura de bruxa		
Ambientes	Método de renovacão	Ordem	Genótipo	u+g+ge	Ordem	Genótipo	u+g+ge
A1	ENXERTIA	1	SJ02	6.6302	1	CP49	2.1885
		2	PS1319	6.5214	2	SJ02	1.8733
		3	FA13	6.518	3	FA13	1.7185
		4	CCN51	6.1052	4	PS1319	1.643
		5	CP49	5.9678	5	CCN51	1.5267
	REN. BAIXO	1	SJ02	5.5801	1	CP49	2.3954
		2	FA13	5.5234	2	SJ02	2.222
		3	PS1319	5.4114	3	PS1319	2.0245
		4	CCN51	5.1663	4	FA13	1.8927
		5	CP49	4.9816	5	CCN51	1.7154
	REN. TOTAL	1	FA13	4.8999	1	CP49	1.6741
		2	SJ02	4.848	2	SJ02	1.599
		3	PS1319	4.7727	3	FA13	1.306
		4	CCN51	4.4821	4	PS1319	1.1759
		5	CP49	4.3682	5	CCN51	1.045
A2	ENXERTIA	1	SJ02	6.1737	1	CP49	4.061
		2	FA13	5.9897	2	SJ02	4.004
		3	PS1319	5.9083	3	FA13	3.3837
		4	CCN51	5.6751	4	PS1319	3.1153
		5	CP49	5.4329	5	CCN51	2.8026
	REN. BAIXO	1	SJ02	5.8084	1	CP49	4.0795
		2	FA13	5.7224	2	SJ02	3.8806
		3	PS1319	5.6135	3	FA13	3.6713
		4	CCN51	5.3846	4	PS1319	3.3448
		5	CP49	5.1175	5	CCN51	2.9739
	REN. TOTAL	1	SJ02	5.9274	1	CP49	3.7538
		2	FA13	5.8796	2	SJ02	3.5477
		3	PS1319	5.8105	3	FA13	3.2001
		4	CCN51	5.4694	4	PS1319	2.8372
		5	CP49	5.2086	5	CCN51	2.6445
A3	ENXERTIA	1	SJ02	6.3495	1	CP49	1.3553
		2	FA13	6.3078	2	SJ02	1.1018
		3	PS1319	6.1473	3	PS1319	1.0207
		4	CCN51	5.905	4	FA13	0.7616
		5	CP49	5.7103	5	CCN51	0.6607
	REN. BAIXO	1	FA13	5.8143	1	CP49	1.2814
		2	SJ02	5.797	2	SJ02	1.1444
		3	PS1319	5.6668	3	PS1319	0.8268
		4	CCN51	5.3945	4	CCN51	0.7978
		5	CP49	5.1852	5	FA13	0.7496
	REN. TOTAL	1	FA13	5.6196	1	CP49	1.0912
		2	SJ02	5.5656	2	SJ02	0.8633
		3	PS1319	5.5514	3	PS1319	0.7057
		4	CCN51	5.2167	4	FA13	0.5392
		5	CP49	5.0475	5	CCN51	0.4185
A4	ENXERTIA	1	SJ02	6.5405	1	CP49	0.9678
		2	FA13	6.3033	2	SJ02	0.7362
		3	PS1319	6.1503	3	PS1319	0.5859
		4	CCN51	5.8023	4	FA13	0.4542
		5	CP49	5.7203	5	CCN51	0.3059
	REN. BAIXO	1	SJ02	5.7907	1	CP49	1.1219
		2	FA13	5.6645	2	SJ02	0.8066
		3	PS1319	5.5957	3	PS1319	0.7218
		4	CCN51	5.1709	4	FA13	0.5646
		5	CP49	5.0836	5	CCN51	0.4018
	REN. TOTAL	1	SJ02	5.5224	1	CP49	1.0353
		2	PS1319	5.4984	2	SJ02	0.8692
		3	FA13	5.4625	3	PS1319	0.7262
		4	CCN51	5.0344	4	FA13	0.5944
		5	CP49	4.9763	5	CCN51	0.4498

3.3 Estabilidade e adaptabilidade

Na Tabela 5 encontram-se os resultados de estabilidade dos valores genéticos (MHVG), adaptabilidade dos valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidades simultaneamente de valores genéticos multiplicada pela média geral (MHPRVG * MG) referentes ao diâmetro do caule e incidência de Vassoura-de-bruxa. Verificou-se que os dois melhores clones, em relação aos critérios PRVG, MHVG e MHPRV, al tiempo que se aprovecha el diámetro de caule e número de incidencia de vassoura de bruxa la media de cada genotipo en todos los entornos evaluados. (tabela 4).

Tabela 5. *Ordenamento da estabilidade dos valores genéticos (MHVG), adaptabilidade dos valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para os caracteres do diâmetro do caule e VV (vassoura-bruxa vegetativa).*

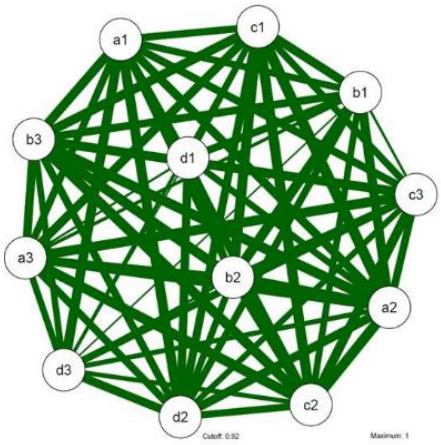
	Estabilidade			Adaptabilidade			Estabilidade e Adaptabilidade		
	Ordem	G	MHVG	G	PRVG	PRVG*MG	G	MHPRVG	MHPRVG*MG
D	1	SJ02	5.838	4	1.0477	5.871	SJ02	1.0476	5.8704
	2	FA13	5.7774	5	1.0361	5.8057	FA13	1.036	5.8055
	3	PS1319	5.6883	2	1.0202	5.717	PS1319	1.0202	5.7167
	4	CCN51	5.3667	1	0.9629	5.3956	CCN51	0.9628	5.3951
	5	CP49	5.2009	3	0.9331	5.2285	CP49	0.933	5.2283
VB	5	CP49	1.5884	3	1.3228	2.1753	CP49	1.3053	2.1465
	4	SJ02	1.3206	4	1.1386	1.8724	SJ02	1.1364	1.8687
	3	PS1319	1.0908	2	0.9426	1.55	PS1319	0.9393	1.5446
	2	FA13	0.9293	5	0.8732	1.436	FA13	0.8609	1.4156
	1	CCN51	0.7316	1	0.7228	1.1886	CCN51	0.699	1.1494

G: genótipo; D: Diâmetro do caule das variedades clonais; VB: vassoura-de-bruxa;

3.4 Correlação em redes genética de ambientes par a par

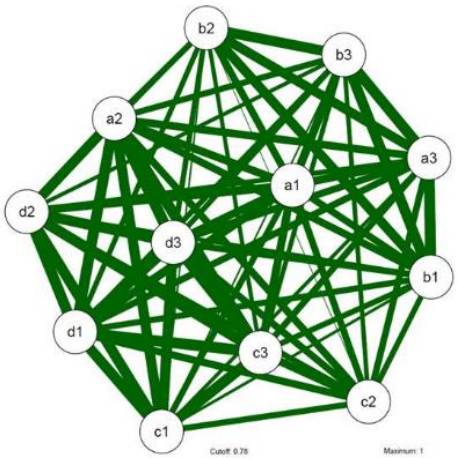
As correlações em redes genéticas de ambientes par a par, para diâmetro do caule e incidência de vassouras-de-bruxa encontram-se nas figuras 4 e 5 onde, as correlações entre os ambientes combinadas com cada um dos métodos de renovação é representado pelas linhas verdes (correlação positiva) que quanto mais espessa a linha tem maior correlação e quanto mais fina a linha tende a ter menos correlação, permitindo conhecer o nível de associação entre as redes. todas as correlações apresentaram valores acima de 0,80.

Figura 4. *Correlação em redes genética entre os ambientes combinados com cada um dos sistemas de renovação avaliados pares a par, para o diâmetro característica diâmetro do caule (cm).*



a1*= ambiente 1-enxertia;* ***a2****= ambiente 1-renovação por baixo;* ***a3****= ambiente 1- renovação total;* ***b1****= ambiente 2-enxertia;* ***b2****= ambiente 2-renovação por baixo;* ***b3****= ambiente 2-renovação total;* ***c1****= ambiente 3-enxertia;* ***c2****= ambiente 3-renovação por baixo;* ***c3****= ambiente 3- renovação total;* ***d1****= ambiente 4-enxertia;* ***d2****= ambiente 4-renovação por baixo;* ***d3****= ambiente 4- renovação total.Em negrito são valores de correlações medias*

Figura 5. *Correlação em redes genética entre os ambientes combinados com cada um dos sistemas de renovação avaliados pares a par, para incidência de Vassoura-de-Bruxa*



a1*= ambiente 1-enxertia;* ***a2****= ambiente 1-renovação por baixo;* ***a3****= ambiente 1- renovação total;* ***b1****= ambiente 2-enxertia;* ***b2****= ambiente 2-renovação por baixo;* ***b3****= ambiente 2-renovação total;* ***c1****= ambiente 3-enxertia;* ***c2****= ambiente 3-renovação por baixo;* ***c3****= ambiente 3- renovação total;* ***d1****= ambiente 4-enxertia;* ***d2****= ambiente 4-renovação por baixo;* ***d3****= ambiente 4- renovação total.Em negrito são valores de correlações medias*

3.5 Correlação genética dos caracteres diâmetro de caule e vassoura-bruxa.

As correlações entre diâmetro de caule e número de incidência vassoura-de-bruxa foi positiva (0.1161965) mostrando uma correlação bem fraca de acordo com o limite estabelecido por Resende (2007).

Tabela 6. *Correlação genética entre os ambientes combinados com cada um dos sistemas de renovação avaliados pares a par, para o diâmetro característica diâmetro do caule (cm).*

	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	d1	d2	d3
a1	1	0.981609	0.9719214	0.9692402	0.9717779	0.9863665	0.9721088	0.9725683	0.9752148	0.9575493	0.992884	0.9907221
a2		1	0.9819775	0.9874734	0.9960711	0.9934346	0.9986148	0.9945435	0.9743792	0.9662526	0.9830146	0.9537653
a3			1	0.940731	0.9659557	0.9815077	0.9825058	0.9926794	0.991908	0.9317927	0.9731222	0.9657924
b1				1	0.9919215	0.9764385	0.9833645	0.9669883	0.9339617	0.9740262	0.9709645	0.9271572
b2					1	0.9921848	0.9934821	0.9885405	0.9641451	0.9535829	0.9676045	0.9350601
b3						1	0.9876735	0.9930761	0.9878065	0.9384573	0.9747007	0.9651937
c1							1	0.9947301	0.9695455	0.9662596	0.9781844	0.9423447
c2								1	0.9877506	0.9399358	0.9705702	0.9512121
c3									1	0.9027634	0.9613244	0.9721131
d1										1	0.9813439	0.9275025
d2											1	0.981185
d3												1

a1*= ambiente 1-enxertia;* ***a2****= ambiente 1-renovação por baixo;* ***a3****= ambiente 1- renovação total;* ***b1****= ambiente 2-enxertia;* ***b2****= ambiente 2-renovação por baixo;* ***b3****= ambiente 2- renovação total;* ***c1****= ambiente 3-enxertia;* ***c2****= ambiente 3-renovação por baixo;* ***c3****= ambiente 3- renovação total;* ***d1****= ambiente 4-enxertia;* ***d2****= ambiente 4-renovação por baixo;* ***d3****= ambiente 4- renovação total.Em negrito são valores de correlações medias*

Tabela 7. *Correlação genética entre os ambientes combinados com cada um dos sistemas de renovação avaliados par a par, para incidência de Vassoura-de-Bruxa.*

	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	d1	d2	d3
a1	1	0.9317795	0.9368535	0.9121653	0.9168107	0.9425588	0.8938799	0.9083938	0.9357487	0.9476699	0.9437935	0.9281069
a2		1	0.9279426	0.9196535	0.8915744	0.8952953	0.9807705	0.9188032	0.9943985	0.9952157	0.9803798	0.9990508
a3			1	0.997447	0.9660273	0.9912759	0.8415177	0.9041614	0.9000248	0.9096928	0.8708172	0.9120794
b1				1	0.9678451	0.9868091	0.826477	0.8832409	0.8851176	0.8948804	0.8515325	0.9023134
b2					1	0.982548	0.7980278	0.7829048	0.8536185	0.8746707	0.8501803	0.8775383
b3						1	0.7997506	0.8599755	0.8653516	0.8814082	0.848484	0.8787832
c1							1	0.8944509	0.9921104	0.9879372	0.987954	0.9879039
c2								1	0.9298822	0.9208711	0.8893919	0.9122639
c3									1	0.9986402	0.9909616	0.9968059
d1										1	0.9939771	0.9971743
d2											1	0.9864461
d3												1

a1*= ambiente 1-enxertia;* ***a2****= ambiente 1-renovação por baixo;* ***a3****= ambiente 1- renovação total;* ***b1****= ambiente 2-enxertia;* ***b2****= ambiente 2-renovação por baixo;* ***b3****= ambiente 2- renovação total;* ***c1****= ambiente 3-enxertia;* ***c2****= ambiente 3-renovação por baixo;* ***c3****= ambiente 3- renovação total;* ***d1****= ambiente 4-enxertia;* ***d2****= ambiente 4-renovação por baixo;* ***d3****= ambiente 4- renovação total.Em negrito são valores de correlações medias*

4. Discussão

4.1 Parâmetros genéticos das características diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa.

os valores de **h2g** (tabela 3) encontrados para as variables de diâmetro de caule y vassoura-de-bruxa fueron 0.052117 y 0.028164. De acordo com a classificação de Resende (2002), a herdabilidade é considerada baixa quando apresenta valores de 0,01 a 0,15, média ou moderada entre 0,15 a 0,50 e alta acima de 0,50. Esses resultados demonstram que a variável de diámetro de caule e número de vassoura-de-bruxa, são característica poligênica. Isso indica que grande parte da variabilidade fenotípica dessa característica se deve à variação ambiental. Portanto, a seleção baseada apenas no fenótipo pode ser ineficiente. Segundo esses autores, as duas características se mostraram sob controle genético. Valores similares de herdabilidade para diâmetro do caule de cacau foram reportados por Valois & Nascimento (1986). Baixas herdabilidade também foram reportadas para diâmetro do caule de *jatropha curcas por* Soares (2009) e *café* por Resende (2001). Esses dados indicam que os coeficientes de herdabilidade são afetados pelas interações genótipos x anos, genótipos x locais e genótipos x anos x locais e também pela idade de avaliação. Portanto, a idade precoce e as variações genéticas e interações podem ter contribuído com os baixos valores de herdabilidade encontradas neste estudo. (Resende 2001)

Na análise da interação G x A, para as dois caracteres a correlação genotípica através dos quatro ambientes onde para diâmetro do caule (rgl= 0.826276) pode ser considerada moderada para alta e para incidência de vassoura de bruxa (rgl= 0.556718) apresentou uma correlação moderada, de acordo com a classificação de Resende (2007). Segundo Vescosvsky e Barriga (1992), valores baixos ou moderados das correlações indicam a presença de interação genotípica por ambiente do tipo complexo, nas figuras 1 e 2 de acordo com a norma de reação as dois características apresentarom interação complexa com mudança de ranking onde se pode observar para a característica de diâmetro de caule (figura. 2) que los ambientes a1, a3, c2, c3, d3 apresentarom interação complexo y para la característica de incidencia de escoba de bruja (figuras 3) fueron los ambientes a1, a3, b1, b2, b3 y c2. Quando

ocorrer este fato, é necessário separar as áreas para os genótipos, caso contrário isso dificultaria a seleção dos genótipos superiores. Isto é feito quando o **rgl** das características apresentarem um valor moderado, ou médio para alto, em conformidade com as disposições da classificação de Resende (2007).

Onde autores recomendam que O estudo detalhado da interação GxE permite selecionar os melhores genótipos para as diferentes condições ambientais, sendo contemplado pela estimação da adaptabilidade e da estabilidade fenotípica (SILVA et al., 2014) que permitem a identificação de genótipos com comportamento previsíveis a variações do ambiente, conseqüentemente, apresentam pequena variação na interação GxE (SILVA et al., 2014; MAIA et al., 2009). Onde o método MHPRVG tem a vantagem de reforçar os resultados em escala e mensuração do caráter, os quais podem ser interpretados diretamente como valores genéticos para o caráter avaliado.

4.2 Ranking dos caracteres diâmetro do caule e incidência de vassoura-de-bruxa para cada uma das combinações entre ambiente e método de renovação

Classificação dos 5 genótipos (clones) em cada uma das combinações ambiente-método de renovação para a característica diâmetro de caule e o número de incidência de Vassoura-de-bruxa de acordo com o valor genéticos foram calculados para os efeitos genotípicos médios u + g + gem (em que gem é o efeito médio das interações com locais) (tabla 4) es valida cuando se desea recomendar clones para plantar quaquier ambiente-metodo de renovacion. Nesse caso, o genótipo que responde melhor a cada uma das combinações ambiente-metodo renovação é SJ02 e para número de incidência de vassoura-de-bruxa é CCN51. Desta forma, é possível destacar o melhor clone para cada uma das combinações entre ambiente-método de renovação baseado no efeito u+g+ge.

4.3 Estabilidade e adaptabilidade

A tabela 5 mostra para a característica diâmetro do caule, onde a coincidência foi 83% dentro dos dois melhores clones houve inversão de ordem dentro dos coincidentes. Para a característica vassoura-de-bruxa, os dois

melhores clones coincidiram com o critério de PRVG, MHVG e MHPRV com 58,3% de coincidência, onde foi observado que nos quatro ambientes combinados com cada um dos métodos de renovação. Isto confirma o valor de **rgl** =0.826276 (diâmetro) e **rgl** =0.556718 (incidência de vassoura-de-bruxa) (Tabela 5). Os clones responderam da mesma forma nos quatro ambientes combinados com os três métodos de renovação, o que sugere sua possível utilização nos quatro ambientes e método de renovação, com pouco risco em seu grau de diâmetro do caule, apesar da variabilidade ambiental existente. De acordo com Neto et al. (2013), A seleção baseada em MHPRVG é crucial na recomendação de genótipos superiores para uso comercial. Além disso, a adoção desses critérios é superior à seleção baseada apenas na produtividade média em todaos os los entornos. Portanto, os clones selecionados para o diâmetro do caule (SJ02) e para a incidência de vassoura de bruxa (CCN51) com melhor adaptabilidade e estabilidade ao levar em conta o diâmetro do caule e o número médio de vassouras de bruxa em todas as configurações. , foram atribuídos a diferentes posições na classificação pela seleção simultânea de PRVG, MHVG e MHPRV.

4.4 Correlação genética de ambientes par a par

Para o caráter diâmetro do caule e incidência de vassouras-de-bruxa, as correlações entre os ambientes combinadas com cada um dos métodos de renovação foram altas, conforme estabelecido por Resende (2007). Esse resultado indica que os clones não sofreram interferência dos ambientes combinados com cada um dos métodos de renovação. Devido à alta correlação genética (RESENDE, 2002) entre os entornos.

4.5 Correlação genética dos caracteres diâmetro de caule e vassoura-bruxa

As correlações entre diâmetro de caule e vassoura-de-bruxa foram bem fracas 0.1161965 de acordo com o limite estabelecido por Resende (2007). Esse fato indica que a seleção tem que ser feita independentemente, mas em campo exista uma tendência de maior número de vassouras-de-bruxa em plantas de maior diâmetro de caule, em plantações antigas. Essa baixa correlação pode ter sido devida o presente estudo ter sido realizado em plantas jovens.

5. Conclusão

- Os genótipos foram ordenados e classificados pelo procedimento REML/BLUP, sendo os clones SJ02 e FA13 para diâmetro do caule com maior diâmetro de caule e para vassoura-bruxa os clones CCN51 e FA13 foram os que apresentam menor número de vassora-de-bruxa, sendo os mais estável para efeito de seleção, os mais indicados.
- Deduziu-se que os ambientes combinados com cada um dos métodos de renovação não variaram entre eles, considerando como um único ambiente, onde todos apresentaram alta correlação positiva.
- Os parâmetros genéticos obtidos no nível individual aos dois anos de idade não são suficientes para realizar adequadamente a seleção de materiais ou estimar os ganhos genéticos esperados. Portanto, é conveniente fazer primeiro um analises para determinar o coeficiente de repetibilidade de diâmetro do caule e de incidência de vassoura-de-bruxa nesses ensaios para obter melhores estimativas de parâmetros genéticos mais precisos.

6. REFERÊNCIAS

Ahnert D, Eskes AB (2018) Developments in cacao breeding programmes in Africa and the Americas.In: Umaharan, P. (ed.), Achieving sustainable cultivation of cocoa, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, 2018. https://doi.org/10.19103/as.2017.0021.06

Ahnert D, Melo HL, Santos FFJ, Lima LR, Baligar VC (2018) Melhoramento genético e produtividade do cacaueiro no Brasil. In: Souza Júnior, J. O. (Org.). Cacau: cultivo, pesquisa e inovação. 01 ed. Ilhéus: Editus, pp. 151-181.

Aime MC, Phillips-Mora W (2005) The causal agents of witches‘ broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) from a new lineage of Marasmiacaea. Mycologia 97:1012-1022. https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832751

Bartley BGD (1981) Status of genetic resistance in cacao to *Crinipellis perniciosa* (Stahel) Singer. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, Lagos, 1981. Proceedings. Lagos: Cocoa Producers´Alliance, pp. 57-69.

Cruz CD (2012) Princípios de Genética Quantitativa, 3rd edn. Viçosa: UFV, pp 14.

Cruz CD, Regazzi AJ (1994) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2nd edn. Viçosa: UFV, pp 390.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2004) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético, v. 1, Viçosa, Editora UFV, pp. 171.

Hadley P, Yapp JHH (1993) Measurement of physiological parameters with respect to yield. In: International Workshop on the Conservation Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in 21st Century. 1992. Trinidad. Proceedings International Workshop on the

Conservation Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in 21st Century. Cocoa Research Unit, University of West Indies, pp 121-138.

Haynes KG, Gergela DM, Hutchinson CM, Yencho GC, Clough ME, Henninger MR, Halseth DE, Sandsted E, Porter GA, Ocaya PC (2012) Early generation selection at multiple locations may identify potato parents that produce more widely adapted progeny. Euphytica, vol. 186, no. 2, pp 573-583. ISSN: 0014-2336.https://doi.org/10.1007/s10681-012-0685-1

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2019) <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613> Accessed 16 August 2019.

ICCO (Organizacion Internacional del Cacao) (2019) <www.icco.org/statistics/production-and grindings/production.html> Accessed 17 June 2019.

ICGD (International Cocoa Germplasm Database) (2018) <http://www.icgd.rdg.ac.uk/input_list.php>Accessed 10 June 2018.

Lopes UV, Monteiro WR, Pires JL, Clement D, Yamada MM, Gramacho KP (2011) Cacao breeding in Bahia, Brazil – strategies and results. Crop Breeding and Applied Biotechnology S1: 73-81.https://doi.org/10.1590/s1984-70332011000500011

Maia MCC, Resende MDV, Paiva JR, Cavalcanti JJV, Barros LMB (2009) Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. Pesquisa Agropecuária Tropical. Goiânia, v.39, 43-50. ISSN 1517-6398 / e-ISSN 1983-4063

Moses DD, Enriquez GA (1981) Calibrating variates for yield of cocoa, as well as the relationships of several cacao features with the environment. In: ConférenceInternationalesur la RechercheCacaoyére, 7, Actes. J. de Lafforest and TranslaInter, London, pp 51-55.

Murillo O, Wright J, Monteuuis O, Montenegro F (2013) Mejoramiento genético de la teca en América Latina. CATIE, Turrialba. ISBN 978-9977-57-620-6

Pereira JL, RAM A, Figueredo JM, Almeida LCC (1989) Primeira ocorrência de vassoura-de-bruxa na principal região produtora de cacau do Brasil. Revista Agrotrópica, n.1, 1:79-81.

Pinto JJE, Sturion JÁ, Resende MDV, Ronzelli JP (2006) Avaliação simultânea de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de *Eucalyptusgrandis* em distintos ambientes do Estado de São Paulo. Boletim de InvestigacionesForestales, n.53, 79-108. CNPF 42060 - 1

Resende MDV (2001) Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento reml/blup. Embrapa informações tecnológicas, 186-189-191. https://doi.org/10.1590/s0006-87052001000300005

Resende MDV (2002) Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes. Embrapa informações tecnológicas, Brasília, pp 975 .

Resende MDV (2006) O software SELEGEN-REML/BLUP. Embrapa, Campo Grande, pp 103-104.

Resende MDV (2007) Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Embrapa Florestas, Colombo, pp 562.

Silva LF, Leite OJ (1988) Caracterização preliminar dos agrossitemas das regiões cacaueiras da Bahia e Espírito Santo. CEPLAC, Boletim 156: 1-15.

Silva PR, Bisognin DA, Locatelli AB, Storck L (2014) Adaptability and stability of corn hybrids grown for high grain yield. ActaScienctiae, Maringá, v.36, 175-181. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i2.17374

Soares BO, Juhasz ACP, Pimenta S, Rabello HO, Morais DLB, Resende MDV (2009) Parâmetros genéticos vegetativos de genótipos de *Jartropha curcas* do setor 2. I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso.

Soria J (1964) El vigor hibrido y su uso em el mejoramiento genético de cacao. Fitotecnia Latino americana, v. 56, pp. 59-78.

Stahel G (1915) *Maramiusperniciosus* nov. spec. Departament van denLanbonw in Suriname, Bulletin. 33: 1-26.

Valois ACC, Nascimento JC (1986) Estimativa de parâmetros genéticos em cacaueiros sem utilização de testes de progênies. Embrapa, Brasília – Brasil, pp 968. 21(9):965-970, set. 1986.

Vencovsky R, Barriga P (1992) Genética biométrica no fitomelhoramento. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, pp 486.

Went FAFC (1904) Krulloten en versteende vruchten van de cacao in Suriname, Verhandelingen der K akademie van wetenschappen. Amsterdam v.2,10: 1-40.

IV. CAPÍTULO 2

Coeficiente de repetibilidade e eficiência de seleção em cacaueiro jovens no sul da Bahia avaliada por meio da resistência a vassoura de bruxa e diâmetro do caule

Victor Miguel Montaño-Orellana[1], Francisca Feitosa Jucá Santos[1], Dario Ahnert[1], Ronan Xavier Corrêa[1*]

Contribuição dos autores:

Victor Miguel Montaño-Orellana:

Francisca Feitosa Jucá Santos:

Dario Ahnert:

Ronan Xavier Corrêa:

Todos os autores: leitura e análise crítica do manuscrito

*Artigo a ser submetido para publicação.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo estimar os coeficientes de repetibilidade em cultivares de cacau e predizer o número de medições necessárias para as características de diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa. O experimento foi feito em três ciclos (medições) para diâmetro do caule e dois ciclos para incidência de vassoura de bruxa. Em doze localidades, agrupadas em quatro ambientes, onde foi implantado os cinco cultivares clonais: CCN51, PS1319, FA13, CP49 e SJ02. Foram medidos os dois caracteres, através do método modelos mistos REML/BLUP, com ajuda do software SELEGEN, foram obtidos os parâmetros para verificar índice de repetibilidade, acurácia e eficiência seletiva, calculadas a partir do diferente número de medições. O índice de repetibilidade individual para diâmetro de caule em cada um dos ambientes foi de 0.003789 (ambiente 1), 0.163232 (ambiente 2), 0.036459 (ambiente 3) e 0.113401 (ambiente 4). Para incidência de vassoura de bruxa apresentou 0.054659 (ambiente 1), 0.004055 (ambiente 2), 0.200548 (ambiente 3) e 0.38501 (ambiente 4). Para o caráter de diâmetro do caule se destacou ambiente 2 e ambiente 4, neste caso para trabalhos futuros é necessário selecionar com base em quatro medições (anos) para predizer uma acurácia seletiva entre 0.743824 e 0.769487. O caráter de incidência de vassoura de bruxa se destacou o ambiente 3, o qual mostrou-se que precisa três anos para predizer uma acurácia seletiva de 0.768434. Dessa forma otimizou-se a seleção dos clones para cada uma das localidades.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*; vassoura de bruxa; genética quantitativa; melhoramento genético; número de medições, coeficiente de repetibilidade, Reml/Blup.

4.1 Introdução

O *Theobroma cacao* L. foi reclassificado, por meio de estudos anatômicos, morfológicos e filogenéticos, como pertencente à família Malvaceae (CUATRECASAS, 1964; SINDONI, 2006; SÁNCHEZ, 2011). Seu produto comercial são as amêndoas, fermentadas e secas, utilizadas para a produção de manteiga de cacau e licor e para fabricação de diversos produtos como o chocolate, bebidas refinadas, sorvetes, sucos e cosméticos, (ALMEIDA; VALLE, 2007).

O Brasil é o sétimo produtor mundial de cacau (ICCO, 2019) e o sul da Bahia é a principal região produtora de cacau do Brasil, com área plantada de 450 mil hectares. A Bahia já conseguiu produzir 400 mil toneladas de cacau na década de 1980, mas com a introdução da doença vassoura de bruxa, a produção decaiu atingindo 106.246 toneladas em 2017 (IBGE, 2017).

A doença vassoura de bruxa do cacaueiro (VBC) é causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime e Phillips-Mora (2005), um agaricales hemibiotrófico, que foi descrita pela primeira vez em 1895, no Suriname (WENT, 1904; STAHELL, 1915). Posteriormente, foi registrada em toda a Amazônia e atingiu o Panamá, em 1978, e em 1989 a Bahia (PEREIRA, 1989).

Após a introdução da doença vassoura de bruxa na Bahia as lavouras começaram a ser renovadas com cultivares clonais resistentes a doenças e produtivos. A renovação vem sendo feita por meio de enxertia em brotos basais, plantio de mudas novas enxertadas por baixo das plantas velhas e renovação total dos plantios pelo corte e substituição das plantas velhas por novas. Existe atualmente cerca de 12 cultivares clonais que estão sendo cultivadas pelos produtores (AHNERT, et al., 2018).

A medida de diâmetro do caule do cacaueiro é usada para averiguar o crescimento e o vigor da planta no tempo e no espaço. Pode ser associado diretamente com o tamanho da copa, i.e. quando maior o diâmetro, maior é a copa (AHNERT; ESKES, 2018). Alguns autores têm utilizado diâmetro de caule do cacaueiro para selecionar plantas mais produtivas, considerando que plantas com maior diâmetro são mais vigoras e produtivas (HADLEY, 1993; MOSES e ENRIQUEZ, 1981; SORIA, 1964;).

A avaliação de genótipos em diferentes localidades e ao longo do tempo é importante para estimar as respostas fenotípicas e genotípicas diferenciais sob diversas condições ambientais. Medir sua interação genótipo-ambiente dá uma idéia da estabilidade fenotípica das variedades frente às flutuações ambientais (HAYNESK, 2012).

Ao selecionar um genótipo para cultivo comercial, espera-se que sua superioridade ou bom desempenho inicial se repita ao longo de seu ciclo de vida produtiva. Tal expectativa poderá ser confirmada a partir da estimativa de coeficientes de repetibilidade para as características de interesse. A repetibilidade permite estimar o número de avaliações ou ciclos produtivos para selecionar genótipos superiores com maior eficiência e menor custo operacional. É comum fazer medições repetidas num mesmo grupo de indivíduos de espécies perenes, principalmente em coleções ou bancos de germoplasma de fruteiras, implantados sem delineamento estatístico (LIRA JÚNIOR et al., 2014).

As espécies vegetais perenes apresentam vários aspectos biológicos peculiares, que tornam o seu melhoramento genético bastante diferenciado do melhoramento de culturas anuais. Por isso, tem-se a necessidade do uso de métodos especiais de estimação de parâmetros genéticos e de predição de valores genéticos. Atualmente, o procedimento analítico padrão recomendado para os estudos em genética quantitativa e também para a prática da seleção em plantas perenes é o REML/BLUP, que utiliza a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2001). O coeficiente de repetibilidade mede a capacidade dos organismos de manter a expressão de caracteres em várias colheitas (Laviola et al. 2013).

Com base no exposto, O objetivo deste trabalho foi estimar os coeficientes de repetibilidade em cultivares de cacau e predizer o número de medições necessárias para as características de diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa. Permite selecionar genótipos que mantêm sua superioridade genética a cada ano, para minimizar os efeitos ambientais na seleção para a determinar clones para cada um dos ambientes.

4.2. Material e métodos

4. 2.1. Localidades do estudo

A pesquisa foi realizada na região cacaueira do Sul da Bahia no município de Gandu e vizinhança ao norte e no município de Ilhéus e vizinhança ao sul. Os experimentos foram implantados em 12 fazendas, em blocos ao acaso, com duas repetições, cinco clones com 10 plantas por parcela. Os dados foram coletados a partir de janeiro de 2017 a março de 2019. As localidades foram classificadas de acordo com o tipo de agrossistemas (SILVA; LEITE, 1988). Ademais, de acordo com a tipologia climática, que foi considerada úmida para todas as localidades, e os tipos de solos, sendo predominantemente argilosos (tabela 1).

Tabela 1.*Classificação dos ambientes das regiões de Gandu e Ilhéus nos anos de 2017 a 2019.*

Agrosistemas	Grupo/fazendas	Tipo de solo	Coordenadas Geográficas
Ambiente 1	Ravenala	Franco-argilo-arenoso	S 14°45.219' W 039°06.364'
	Nossa Sra. Da Vitória	Argiloso	S1 4°7.583' W 039°15.311'
	Itaperuna	Argiloso	S 14°34.916' W 039°19.018'
Ambiente 2	Muriá	Argiloso	S 13°44'27.4 W 039°23'08,1''
	Ponto Alegre	Muito Argiloso	S 13°59'39.0'' W 039°27'59.7''
	São João	Argiloso	S 13°52'14.3'' W 039°26'37.4'
Ambiente 3	São Rafael	Muito Argilosa	S 15°13.314' W 039°14.600'
	Santo Antônio	Argiloso	S 15°10.432' W 039°12.587'
	Mangueira	Franco-argilo-arenosa	S 15° 20.616' W 039° 04.861'
Ambiente 4	Alto da Prata	Argilo-arenoso	S 13°35'37.1'' W 039°28'37,1''
	Duas Barras	Muito Argiloso	S 13°11'34.7'' W 039°29'59.4''
	Saramandaia	Argiloso	S 13°40'56.7'' W 039°35'18.3''

Fonte: Projeto Renova Cacau, 2019

4.2.2 implantações dos métodos de renovação

Para a implantação do método de renovação por enxertia, inicialmente as plantas velhas foram estimuladas a produzir brotos basais com podas para entrada de luz até o solo nas fileiras e aplicação de uréia ao redor das plantas. A enxertia foi feita por meio de garfagem de topo e à medida que o enxerto foi crescendo a planta velha foi aos poucas sendo podada para o crescimento do enxerto até remoção total da planta velha aos dois anos. Até os dois anos a planta velha serviu de sombra para a nova e para produzir frutos para o agricultor durante a renovação.

Para a implantação do método renovação com plantio por baixo do cacaueiro velho, mudas foram enxertadas em viveiro usando o porta enxerto TSH1188 e plantadas por baixo das plantas velhas no espaçamento 3 x 3 m, em curva de nível e em quincôncio. À medida que as plantas novas foram crescendo as velhas foram aos poucos sendo podadas para entrada de luz e aos dois anos totalmente eliminadas. As plantas velhas serviram de sombra provisória para as novas e também para produzir frutos para o produtor durante a renovação.

Para a implantação do método renovação total, inicialmente as plantas velhas de cacau foram eliminadas e os troncos empilhados entre as fileiras. Em seguida, foi feito o balizamento em curva de nível e em quincônico no espaçamento 3 x 3 m para o plantio do cacau. Foram plantadas bananeiras para sombreamento provisório das mudas de cacau. Cerca de um ano após o plantio das bananeiras, foram também plantadas as mudas enxertadas em viveiro usando porta enxerto TSH1188. Quando os cacaueiros atingiram dois anos foram eliminadas as bananeiras, deixando as plantas de cacau sem sombreamento provisório.

4.2.3 Coletas dos dados

4.2.3.1 Diâmetro de caule

A medição do diâmetro do caule foi realizada a 30 cm do solo, em cinco plantas de cada clone por parcela, com a ajuda de um paquímetro, nos dois lados perpendiculares, 10 cm acima da soldadura da enxertia, uma vez por ano.

4.2.3.2 Incidência de vassoura-bruxa

Os dados foram coletados contando o número de vassouras vegetativas secas ou verdes da copa de cinco plantas de cada clone por parcela. Após a contagem as vassouras de bruxa foram retiradas das plantas e destruídas para eliminar a fonte de inóculo da doença.

4.2.3.3 Delineamentos estatísticos

O delineamento experimental foi realizado em blocos completos com uma planta por parcela de acordo com Cruz (2012), mas confiável, pois os efeitos do ambiente tendem a diminuir. Logo consideramos dois anos e meio de avaliação de campo em quatro ambientes onde foi testado os cinco cultivares clonais de *T. cacao* de alta produtividade e com tolerância à doença vassoura de bruxa acordo Lopez (2011) e icgd (2018) os cinco cultivares são de ascendência Amazônico/Trinitários, e de origem no Brasil. Os clones utilizados foram: FA13, PS1319, SJ02 e CCN51 que são de origem Equatoriano, o clone CP49 não tem registro de sua origem. Seguindo o modelo proposto por Resende (2006).

$$\mathbf{y = Xm + Zg + Wp + Ti + e}$$

Em que **y** é o vetor de dados, **m** é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, **g** é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), **p** é vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios), **i** é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições **e** é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Os valores genéticos foram obtidos através do programa genético-estatístico. “SELENGEN” (RESENDEN, 2006).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Parâmetros genéticos das características de diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa

As diferentes respostas dos clones nos diferentes ambientes e anos agrícolas (medição) avaliados evidenciam aumento significativo do crescimento dos clones de uma safra para outra, por se tratar de pomares novos e ainda em fase de desenvolvimento (Cruz, 2012). As estimativas dos componentes de variância referente aos cinco clones de cacau das características de diâmetro do caule e vassoura de bruxa do cacaueiro (VBC) nos dois anos e médio e vários ambientes, são apresentadas na tabela 2.

Para ambos os caracteres estudados, observa-se que os caracteres de dímetro do caule e incidência de vassoura de bruxa apresentaram considerável variância ambiental em relação à genotípica, evidenciando que os caracteres foi bastante influenciado pelas condições ambientais dos diferentes ambientes, fato comprovado pela baixa herdabilidade estimada para diâmetro do caule, que variou de0.001557 a 0.110540 e para incidência de vassoura de bruxa que variou de 0.000227 a 0.142571.De acordo com a classificação de Resende (2002), a herdabilidade é considerada baixa quando apresenta valores de 0,01 a 0,15, média ou moderada entre 0,15 a 0,50 e alta com valores acima de 0,50.

A repetibilidade se refere à correlação entre medidas repetidas várias vezes num mesmo indivíduo. Nota-se que as estimativas encontradas para o coeficiente de repetibilidade individual (r) variou entre 0.003789 a 0.163232 para o diâmetro do caule consideradas baixas nas três avaliações e para vassoura de bruxa variou de 0.004055 a 0.38501 consideradas de baixas para medianos duas avaliações de acordo na classificação de Resende (2002) para o coeficiente de repetibilidade: alta ($r \geq 0,60$); média ($0,30 < r < 0,60$), e baixa ($r \leq 0,30$).

***Tabela 2**. Estimativa de parâmetros genéticos (REML individual) para os caracteres diâmetro do caule e incidência de vassoura de bruxa, obtidos em cada um dos ambientes.*

		Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4
D	**Vg**	0.003774	0.150275	0.049873	0.243275
	Vperm	0.005413	0.104065	0.022131	0.006297
	Vgm	0.001416	0.006732	0.001348	0.025707
	Ve	2.413971	1.297076	1.901556	1.925507
	Vf	2.424574	1.558148	1.974908	2.200785
	h2g	0.001557 +- 0.0068	0.096444 +- 0.0535	0.025253 +- 0.0275	0.110540 +- 0.0583
	r	0.003789	0.163232	0.036459	0.113401
	c2perm	0.002232	0.066788	0.011206	0.002861
	c2gm	0.000584	0.00432	0.000683	0.011681
	rgmed	0.727179	0.957125	0.973685	0.904429
	h2mg	0.013821	0.487587	0.188865	0.521502
	Médiageral	5.451735	5.674765	5.690958	5.476441
VB	**Vg**	2.408113	0.007845	4.150041	10.4784
	Vperm	0.109648	0.132116	1.687646	102.18396
	Vgm	0.033556	0.024871	0.050165	1.425189
	Ve	43.511762	34.347977	23.220814	178.534662
	Vf	46.063079	34.512809	29.108666	292.622211
	h2g	0.052279 +- 0.0482	0.000227 +- 0.0032	0.142571 +- 0.0796	0.035809 +- 0.0399
	r	0.054659	0.004055	0.200548	0.38501
	c2perm	0.00238	0.003828	0.057977	0.349201
	c2gm	0.000728	0.000721	0.001723	0.00487
	rgmed	0.986257	0.239781	0.988057	0.880272
	h2mg	0.248384	0.00136	0.498412	0.180732
	Médiageral	7.322222	5.955556	6.516667	14.055556

D: diâmetro. **VB**: vassoura de bruxa. **Vg:** variância genotípica. **Vperm:** variância de ambiente permanente. **Vgm:** variância da interação genótipos x medições. **Ve:** variância residual temporária. **Vf:** variância fenotípica individual. **h2g = h2:** herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais. **r:**repetibilidade ao nível de parcela, dada por (Vg + Vperm)/Vf. **c2perm = c2**: coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente. **c2gm =c21:** coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições. **rgmed:** correlação genotípica através das medições. **h2mg:**herdabilidade da média de genótipos. **Acgen:** acurácia na seleção de genótipos. Média geral do experimento.

4.3.2 Coeficientes de repetibilidade, acurácia seletiva e eficiência de seleção do uso de "m" medições para um programa de melhoramento

A acurácia seletiva depende da herdabilidade e da repetibilidade do caráter, refletindo a quantidade e a qualidade das informações e dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos. Essa medida está associada à precisão na seleção e refere-se à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Quanto maior a acurácia na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito do indivíduo (STURION; RESENDE, 2005). A partir desta estimativa se pode inferir que a herdabilidade do carácter produção é baixa a

mediana, porque a repetibilidade representa o valor máximo que a herdabilidade pode assumir (CRUZ, 2008).

Na Tabela 3 e 4 são apresentadas as acurácias que seriam obtidas utilizando-se um maior número de medições ou safras na experimentação para cada um dos ambientes.

Desejando uma acurácia de > 70% na seleção, ou seja, >30% de determinação os quais são adequados para o propósito do melhoramento genético (Resende y Duarte 2007), para a característica de dímetro do caule e incidência de vassoura de bruxa .Para o caráter de diâmetro do caule (Tabela 4), os ambientes 1 e ambiente 3 não propiciam um número de medida adequado e confiabilidade significativa para acurácia e coeficiente de repetibilidade de acordo aos classificação de Resende (2002). E o ambiente 2 e ambiente 4 precisam uma eficiência do uso de quatro medições em relação ao uso de apenas uma. Onde ambiente 2 propicia uma acurácia de 0.743824 e uma eficiência de 1.638631 (superioridade de 63%) em relação a uma medição. E no ambiente 4 precisam uma eficiência do uso de dois medições em relação ao uso de apenas uma se estima uma acurácia de 0.769487 uma eficiência de 1.727606 (superioridade de 72%) em relação a uma medição.

Para o caráter de incidência de vassoura de bruxa (Tabela 5), o ambiente 3 apresenta um número de medidas adequados e uma acurácia seletiva de 0.705983 e uma eficiência de 1.2907 (superioridade de 29%) em relação a uma medição. O ambiente 4 não propicia um número de medidas adequados e confiabilidade significativa de acurácia e coeficiente de repetibilidade o qual se não se considera de acordo com a classificação de Resende (2002). Os ambientes 1 e 2 apresentaram uma estimativa de número de medições e eficiência seletiva muito altas, que variou entre 2.170757 (ambiente 1) e 2.789116 (ambiente 2), de acordo com Oliva (2014) afirma que os valores altos de eficiência seletiva > 22% são menos consistentes, o que indica que há uma proporção maior do efeito do meio ambiente. Também Indicando que o aumento do número de medidas gera pouco ganho em acurácia (FALCONER, 1987).

La exactitud selectiva tiene la propiedad de dar a saber la disposición correcta de genotipos para los propósitos de selección, además de la efectividad de la inferencia acerca de los valores genotípicos. Este parámetro no sólo depende de la magnitud de la variación que resta o queda y el número de

réplicas, sino que también en la proporción entre las variaciones genéticas y que resta o queda asociadas con los rasgos bajo la evaluación (Resende y Duarte 2007).

Então, quando a repetibilidade é baixa, grande número de repetições será necessário para que se alcançar um valor de determinação satisfatório. E também o conhecimento do coeficiente de repetibilidade permite, portanto, que a fase de avaliação seja executada com eficiência, diminuindo o tempo de trabalho.

Tabela 3. *Acurácia e eficiência obtida a partir do diferente número de medições em quatro ambientes diferentes para o caráter diâmetro do caule.*

Ambiente	m	HerdMedia	Determinação	Acurácia	Eficiência
Ambiente 1	1	0.004657	0.003789	0.06824	1
	2	0.009263	0.007549	0.096247	1.411542
	3	0.013821	0.011282	0.117562	1.725525
	4	0.01833	0.014986	0.135388	1.988729
	5	0.022791	0.018662	0.150968	2.219313
	6	0.027206	0.022311	0.164942	2.426611
	7	0.031574	0.025934	0.177691	2.61618
	8	0.035897	0.029529	0.189465	2.791648
	9	0.040175	0.033098	0.200438	2.95554
	10	0.044409	0.036641	0.210735	3.1097
Ambiente 2	1	0.250071	0.163232	0.500071	1
	2	0.394026	0.280653	0.627715	1.311239
	3	0.487587	0.369174	0.698274	1.503879
	4	**0.553274**	**0.438297**	**0.743824**	**1.638631**
	5	0.601928	0.493767	0.77584	1.739233
	6	0.639414	0.539266	0.799634	1.8176
	7	0.669182	0.577261	0.818036	1.880542
	8	0.693393	0.609466	0.832702	1.932288
	9	0.713469	0.637112	0.844671	1.975627
	10	0.730387	0.661103	0.854627	2.01248
Ambiente 3	1	0.072539	0.036459	0.26933	1
	2	0.134816	0.070353	0.367173	1.389117
	3	0.188865	0.101944	0.434586	1.672158
	4	0.236216	0.131458	0.48602	1.898848
	5	0.278041	0.159094	0.527296	2.088929
	6	0.315254	0.185026	0.561475	2.252747
	7	0.348578	0.209406	0.590405	2.396574
	8	0.378593	0.23237	0.615299	2.524562
	9	0.405767	0.254037	0.636999	2.639641
	10	0.430487	0.274515	0.656115	2.743969
Ambiente 4	1	0.26689	0.113401	0.516614	1
	2	0.421076	0.203702	0.648903	1.34026
	3	0.521502	0.277309	0.722151	1.563772
	4	**0.592111**	**0.338459**	**0.769487**	**1.727606**
	5	0.644465	0.390069	0.802786	1.85465
	6	0.684834	0.434208	0.827547	1.956773
	7	0.716911	0.47239	0.846706	2.040995
	8	0.743011	0.505745	0.861981	2.111821
	9	0.764664	0.535133	0.874451	2.172312
	10	0.782917	0.561222	0.884826	2.224635

Tabela 4. Acurácia e eficiência obtida a partir do diferente número de medições em quatro ambientes diferentes para o caráter incidência de vassoura de bruxa.

Ambiente	m	HerdMedia	Determinacão	Acurácia	Eficiência
Ambiente 1	1	0.141955	0.054659	0.37677	1
	2	0.248384	0.103652	0.498381	1.377079
	3	0.331139	0.147818	0.575447	1.644495
	4	0.397329	0.187835	0.63034	1.853778
	5	0.451475	0.224263	0.671919	2.025574
	6	**0.49659**	**0.257563**	**0.704691**	**2.170757**
	7	0.53476	0.288122	0.731273	2.295924
	8	0.567473	0.316265	0.753308	2.405441
	9	0.595822	0.342267	0.771895	2.502372
	10	0.620626	0.366364	0.787798	2.588962
Ambiente 2	1	0.000682	0.004055	0.026113	1
	2	0.00136	0.008078	0.036882	1.411355
	3	0.002035	0.012068	0.045112	1.725069
	4	0.002707	0.016026	0.052024	1.987944
	5	0.003374	0.019953	0.05809	2.21815
	6	0.004039	0.023848	0.063553	2.425027
	7	0.0047	0.027713	0.068557	2.614139
	8	**0.005358**	**0.031547**	**0.073197**	**2.789116**
	9	0.006012	0.035351	0.077539	2.952489
	10	**0.006663**	**0.039125**	**0.081629**	**3.106102**
Ambiente 3	1	0.339562	0.200548	0.582719	1
	2	0.498412	0.334094	0.705983	1.2907
	3	**0.59049**	**0.42941**	**0.768434**	**1.463277**
	4	0.650586	0.500855	0.806589	1.580327
	5	0.692897	0.5564	0.832405	1.665653
	6	0.724301	0.600821	0.851059	1.730865
	7	0.748533	0.637155	0.865178	1.782434
	8	0.767798	0.667427	0.876241	1.824284
	9	0.783482	0.693036	0.885145	1.858954
	10	0.796498	0.714984	0.892467	1.88816
Ambiente 4	1	0.118473	0.38501	0.344198	1
	2	0.180732	0.555967	0.425126	1.201679
	3	0.219116	0.652552	0.468098	1.301882
	4	0.245148	0.714625	0.495124	1.362396
	5	0.263963	0.757881	0.513774	1.403023
	6	0.278199	0.78975	0.527445	1.432218
	7	0.289344	0.814206	0.537907	1.454224
	8	0.298308	0.833564	0.546175	1.47141
	9	0.305673	0.84927	0.552877	1.485207
	10	0.311832	0.862267	0.558419	1.496529

4.5 Conclusão

O uso do coeficiente de repetibilidade sugere realizar um número diferente de medidas para cada característica analisada, considerando uma seleção direta para o caráter de diâmetro do caule se destaca os ambientes 2 e 4, recomenda-se que seja utilizado para trabalhos futuros 4 medições para predizer uma acurácia seletiva entre 0.743824 e 0.769487. Em relação ao caráter de incidência de vassoura de bruxa se destacou o ambiente 3 com uma acurácia seletiva de 0.768434, no qual mostra que três medições são suficientes para predizer a acurácia.

Referências

AHNERT, D.; ESKES, A.B. Developments in cacao breeding programmes in Africa and the Americas.In: Umaharan, P. (ed.), Achieving sustainable cultivation of cocoa, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, 2018. https://doi.org/10.19103/as.2017.0021.06 ,2018.

AHNERT, D, MELO, H.L.; SANTOS, F.F.J.; LIMA, L.R.; BALIGAR, V.C. Melhoramento genético e produtividade do cacaueiro no Brasil. In: Souza Júnior, J. O. (Org.). **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação**. 01 ed. Ilhéus: Editus, pp. 151-181, 2018.

AIME, M.C.; PHILLIPS-MORA, W. The causal agents of witches‘ broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) from a new lineage of Marasmiacaea. **Mycologia** 97:1012-1022. https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832751 ,2005.

ALMEIDA, A.A.F.; VALLE, R. R. **Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 425-448, 2007.

CUATRECASAS, J. Cacao and its Allies: A taxonomic revision of the genus Theobroma. Washington: **SmithsonianInstitution**, 1964.

CRUZ, C.D. Princípios de Genética Quantitativa, 3rd edn. Viçosa: UFV, pp 14, 2012.

Cruz C.D., Regazzi AJ, Carneiro PCS (2012) Modelos biome´tricos aplicados ao melhoramento gene´tico. Editora UFV, Vic¸osa, pp 179–188

CRUZ, C.D.; RESENDE, M.D.V. **mejoramiento genético y taza de autofecundación del camucamu arbustivo en la amazonía peruana,** Rev. Bras. Frutic. PP 450- 454, 2008.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. LONDON: LONGMAN, 483p, 1989.

SÁNCHEZ, S.E.M. **Cacau e graviola: descrição e danos das principais pragas-de-insetos**. Ilhéus,EDITUS, 2011.

SINDONI, N. R. Beneficiodelcacao (Theobromacacao L.). Caracas,**Facultad de Agronomía de La Universidad Central de Venezuela**, 2006. p.32.

HADLEY, P.; YAPP, J.H.H.Measurement of physiological parameters with respect to yield. In: International Workshop on the Conservation Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in 21st Century. 1992. Trinidad. Proceedings International Workshop on the Conservation Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in 21st Century. Cocoa Research Unit, University of West Indies, pp 121-138, 1993.

HAYNES, K.G.; GERGELA, D.M.; HUTCHINSON, C.M.; YENCHO, G.C.; CLOUGH, M.E.; HENNINGER, M.R.; HALSETH, D.E.; SANDSTED, E.; PORTER, G.A.; OCAYA, P.C.Early generation selection at multiple locations may identify potato parents that produce more widely adapted progeny. **Euphytica**, vol. 186, no. 2, pp 573-583. ISSN: 0014-2336.https://doi.org/10.1007/s10681-012-0685-1, 2012.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2019) <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613>Accessed 16 August 2019.

ICCO (Organizacion Internacional delCacao) (2019) <www.icco.org/statistics/production-and grindings/production.html> Acessado em 17 Junho de 2019.

ICGD (InternationalCocoaGermplasmDatabase) (2018) <http://www.icgd.rdg.ac.uk/input_list.php>Acessado em 10 Junho de 2018.

LIRA JÚNIOR, J.S.; BEZERRA, J.E.F.; MOURA, J.R.M.; SANTOS, V.F. Repetibilidade da produção, número e peso de fruto em cirigueleira (Spondias purpúrea L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.36, n.1, p.214-220, 2014. Disponível. doi:10.1590/0100-2945-294/13.

LAVIOLA BG, OLIVEIRA AMC, BHERING LL ET AL (2013) Estimates of repeatability coefficients and selection gains in Jatropha indicate that higher cumulative genetic gains can be obtained by relaxing the degree of certainty in predicting the best families. Ind Crops Prod 51:70–76. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.016

LOPES, U.V.; MONTEIRO, W.R.; PIRES, J.L.; CLEMENT, D.; YAMADA, M.M.; GRAMACHO,K.P.Cacaobreeding in Bahia, Brazil – strategiesandresults. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** S1: 73-81, 2011. https://doi.org/10.1590/s1984-70332011000500011

MOSES, D.D.; ENRIQUEZ, G.A.Calibrating variates for yield of cocoa, as well as the relationships of several cacao features with the environment. In: ConférenceInternationalesur la RechercheCacaoyére, 7, Actes. J. de LafforestandTranslaInter, London, pp 51-55, 1981.

PEREIRA, J.L.; RAM, A.; FIGUEREDO, J.M.; ALMEIDA, L.C.C. Primeira ocorrência de vassoura de bruxa na principal região produtora de cacau do Brasil. **Agrotrópica**, n.1, 1:79-81, 1989.

RESENDE, M.D.V.Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento reml/blup. Embrapa informações tecnológicas, 186-189-191. https://doi.org/10.1590/s0006-87052001000300005, 2001.

RESENDE, M.D.V.Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes. Embrapa informações tecnológicas, Brasília, pp 975, 2002.

Resende MDV (2006) O software SELEGEN-REML/BLUP. Embrapa, Campo Grande, pp 83-84, 2002.

Resende, M. D. V., & Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

SILVA, L.F.; LEITE, O.J.Caracterização preliminar dos agrossitemas das regiões cacaueiras da Bahia e Espírito Santo. CEPLAC, Boletim 156: 1-15.
Soria J (1964) El vigor hibrido y su uso em el mejoramiento genético de cacao. **Fitotecnia Latino americana**, v. 56, p. 59-78, 1988,

STAHEL, G.*Maramiusperniciosus* nov. spec. Departament van denLanbonw in Suriname, Bulletin. 33: 1-26, 1915.
STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Seleção de progênies de erva-mate (Ilexparaguarensis St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de PesquisaFlorestal,** Colombo, n.50, p.37-51, 2005.

WENT,F.A.F.C.Krulloten en versteendevruchten van de cacao in Suriname, Verhandelingen der K akademie van wetenschappen. Amsterdam v.2, n.10, p.1-40, 1904.

V. CONCLUSÕES GERAIS

- Dessa forma se estabeleceu que para interação genótipo x ambiente, a idade precoce, e a baixa variações genéticas e as multiplex interações contribuído com os baixos valores dos parâmetros genéticos encontradas neste estudo. Mas os clones SJ02 e FA13 para diâmetro do caule com maior diâmetro de caule e para vassoura-bruxa os clones CCN51 e FA13, pese a edade ´precoce elas ficaron estável nos diferentes ambientes.

- O uso do coeficiente de repetibilidade sugere realizar um número diferente de medidas para cada característica analisada, considerando uma seleção direta para o caráter de diâmetro do caule se destaca os ambientes 2 e 4, recomenda-se que seja utilizado para trabalhos futuros 4 medições para predizer uma acurácia seletiva entre 0.743824 e 0.769487. Em relação ao caráter de incidência de vassoura de bruxa se destacou o ambiente 3 com uma acurácia seletiva de 0.768434, no qual mostra que três medições são suficientes para predizer a acurácia.

- Constatou-se que os dois anos e meio de idade das plantas não são suficientes para realizar adequadamente a seleção de materiais ou estimar os ganhos genéticos esperados. Isso se constatou através das estimativas de coeficientes de repetibilidade consideradas para o caráter de diâmetro do caule e incidência de vassoura-de-bruxa, para obter melhores estimativas de parâmetros genéticos mais precisos.

VI. REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

ALVERSON, W.A.; WHITLOCK, B.A.; NYEFFELER, R.; BAYER, C.; BAUM, D.A. Phylogeny of Malvales: evidence from ndhF sequence data. **American Journal of Botany,** v. 86, p. 1474–1486, 1999.

ANDRADE, I. S. **Mapeamento da autoincompatibilidade sexual do cacau e certificação genética dos clones tsh-1188 e ccn-51 por meio de marcadores microssatélies**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, 2009.

AHNERT, D.; ESKES, A.B. Developments in cacao breeding programmes in Africa and the Americas.In: Umaharan, P. (ed.), Achieving sustainable cultivation of cocoa, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, 2018. https://doi.org/10.19103/as.2017.0021.06, 2018.

AHNERT, D.; MELO, H.L.; SANTOS, F.F.J.; LIMA, L.R.; BALIGAR, V.C. Melhoramento genético e produtividade do cacaueiro no Brasil. In: Souza Júnior, J. O. (Org.). **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação**. 01 ed. Ilhéus: Editus, pp. 151-181, 2018.

AIME, M.C.; PHILLIPS-MORA, W. The causal agents of witches‘ broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) from a new lineage of Marasmiacaea. **Mycologia** 97:1012-1022. https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832751, 2005.

ARCINIEGAS, L.A.M. **Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) Seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE**. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 126 p. 2005.

BARTLEY, B.G.D. The genetic diversity of cacao and its utilization. Wallingford England. CABI Publish. 341 p. 2005.

BASTOS, C.N.; ANDEBRHAN, T.; ALMEIDA, L.C. Comparações morfológica e patológica de *Crinipellis perniciosa*. **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v.13, n.3, p.202- 206, 1988.

BASTOS, C.N.; EVANS, H.C. A new pathotype of *Crinipellis perniciosa* (Witches‘ broom disease) on solanaceous host. **Plant Pathology,** Oxford, v.34, n.2 , p.306-312, 1985.

BATALHA, P. G. **Caracterização do cacau catongo de São Tomé e Príncipe**. Lisboa. 2009. Mestrado (Mestre em Engenharia de Alimentos – Tecnologia de Produtos vegetais) Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa – Portugal, 2009.

BECKETT, S.T. Fabricación y utlización industrial del chocolate. Zaragoza: Editorial Acribica, p.432, 1994.

BERNAL, E. F. Interacción genotipo-ambiente: GGE Biplot y modelos AMMI. http://hdl.handle.net/10366/121900. pp 7. 2011.

BHATTACHARJEE, R.; KUMAR, P.L. CACAO. In: C. KOLE (Ed.) Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Vol. 6. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 2007.

CACAONET. A Global Strategy for the Conservation and Use of Cacao Genetic Resources, as the Foundation for a Sustainable Cocoa Economy (B. Laliberté, compiler). Bioversity International, Montpellier, France, 2012.

CHEESMAN, E. E. Notes on the nomenclature, classification and possible relationship of cocoa population. **Trop. Agric**, v. 218, p. 144-159, 1944.

CHIARELLO, N.R.; MOONEY, H.A.; WILLIANS, K.. Growth, carbon allocation and cost of plant tissues. In: PEARCY, R.W.; EHLERINGER, J.R.; MOONEY, H.A., RUNDEL, P.W. (eds.). **Plant physiological ecology. Field methods and instrumentation**. New York: Chapman and Hall. p.327-365, 1989.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2nd edn. Viçosa: UFV, pp 390, 1994.

CUATRECASAS, J. Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. **Contribuition from the United State Natural Herbarium**, v. 35, p. 379-614, 1964.

DIAS, L.A.S. **Melhoramento genético do cacaueiro**. Viçosa: Funape – UFP, 2001.

DIAS, L. A. S.; RESENDE, M. D. V. Experimentação no melhoramento. In: Dias, L. A. S (EDITOR). Melhoramento genético do cacaueiro. Viçosa, MG: FUNAPE, UFG, p.439-492, 2001.

ENRÍQUEZ, G.A. Selección y estudio de las características de la flor, la hoja y la mazorca, útiles para la identificación y descripción de cultivares de cacao. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 97 p, 1966.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. LONDON: LONGMAN, 483p, 1989.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Agricultural Commodities: profiles and relevant WTO negotiating issues**. Rome, Italy: FAO, p. 89, 2003.

FIGUEIRA, A.; JANICK, J.; GOLDSBROUGH, P. Genome size and DNA polymorphism in *Theobroma cacao*. **Journal American from Society Horticultural Science**, v. 117, p. 673-677, 1992.

GAUCH, H.G.; ZOBEL. R.W. AMMI analysis of yield trials, p. 85-122. In: M.S. Kang and H.G. Gauch, Jr. (Eds.), Genotype-by-environment interaction, CRC Press, Boca Raton, FL, 1996.

GOMES, M. Produção nacional de cacau movimenta R$ 14 bilhões por ano. **CORREIO BRAZILIENSE**. 19 mar. 2018. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/03/19/interna s_economia,666957/producao-nacional-de-cacau-movimenta-r-14-bilhoes-por-ano.shtml>. Acessoem 19 de nov. de 2018.

HADLEY, P.; YAPP, J.H.H. Measurement of physiological parameters with respect to yield. In: International Workshop on the Conservation Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in 21st Century. 1992. Trinidad. Proceedings International Workshop on the Conservation Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in 21st Century. Cocoa Research Unit, University of West Indies, pp 121-138, 1993.

HEBBAR, P.K. Cacao diseases: A global perspective from an industry point of view. **Phytopathology** 2007, 97:1658-1663.

HENDERSON, C.R. **Aplications of models in animal breeding**. Guelph: University of Guelph, 462p. 1984.

HUNT, R.; NEAL, A.M.; LAFFARCA, J.; MONTSERRAT-MARTI, G.; STOCKEY, A.; WHITEHOUSE, J. Mean relative growth rate. In: HENDRY, G.A.F.; GRIME, J.P. (eds.). **Methods in comparative plant ecology. A laboratory manual**. London: Chapman and Hall, p. 98-102, 1993.

IBGE (INSTITUTO BRASILERO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) Sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em:> https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado< Acesso em: 23 de octubre de 2019.

IBGE (INSTITUTO BRASILERO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) Sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em:> https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613 < Acesso em: 16 de agosto de 2019.

ICCO (organizacion internacional Del cacao). (2019): <www.icco.org/statistics/production-and grindings/production.html> Acesso em: 17 de jun de 2019.

LACHENAUD, P.H.; MOOLEEDHAR, V.; COUTURIER, C. Les cacaoyers spontanés de Guyane. Novas prospecções. Plantações, pesquisa, desenvolvimento v.4, n.1, p. 25-30, 1997.

LALIBERTE, B.; CRYER, N.C.; DAYMOND, A.J.; END, M.J.; ENGELS, J.M.; ESKES, A.; GILMOUR, M.; LACHENAUD, P.; PHILLIPS-MORA, W.; TURNBULL, C.J.; UMAHARAN, P. A global strategy for the conservation and use of cacao genetic resources, as the foundation for a sustainable cocoa economy. In: 17th International Cocoa Research Conference (Eds.) Brigitte Laliberte, Yaounde, Cameroon. pp. 1-7, 2012.

LANA, T.G. **Caracterização genética e fisiológica de *Crinipellis perniciosa***. 2004. 91f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura _Luiz de Queiroz‘, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LOPES, U.V.; MONTEIRO, W.R.; PIRES. J.L.; CLEMENT, D.; YAMADA, M.M.; GRAMACHO, K.P. Cacao breeding in Bahia, Brazil - strategies and results. **Crop Breed Appl Biotechnol** S1: 73-81, 2011.

LUCHESI, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 41, p. 181-202, 1984.

LUZ, E.D.M.N.; BEZERRA, J.L.; RESENDE, M.L.V.; OLIVEIRA, M.L.; **Cacau (*Theobroma cacao* L.**) Controle de doenças. In: Ribeiro do Vale FX, Zambolim L. (Eds.). Controle de doenças de plantas grandes culturas. Viçosa, UFV, 2v, 1997: 617-622p, 1997.

MARTINI, M. H. **Caracterização das sementes de seis espécies de Theobroma em relação ao Theobroma cacao L**. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2004.

MCNEIL, C.L. **Chocolate in Mesoamerica: A Cultural History of Cacao**. Univ Press of Florida, Gainesville, FL, 2006.

MEDEIROS, F.H.V.; POMELLA, A.W,V.; DE SOUZA, J.T.; NIELLA, G.R.; VALLE, R.; BATEMAN, R.P.; FRAVEL, D.; VINYARD, B.; HEBBAR, P.K. A novel, integrated method for management of witches' broom disease in Cacao in Bahia, Brazil. Crop Protection 29: 704-711, 2010.

MEINHARDT, L. W.; RINCONES, J.; BAILEY, B. A.; AIME, M. C.; GRIFFITH, G. W.; ZHANG, D.; PEREIRA, G. A. G. *Moniliophthora perniciosa*, the causal agente of witches‘ broom disease of cacao: what‘s new from this old foe? **Molecular Plant Pathology,** v. 9, n. 5, 577–588, 2008.

MONTEIRO W.R.; AHNERT, D. Melhoramento genético do cacaueiro. In: Valle R. R. (Ed). **Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro**. 2ª Ed. Brasília, DF. 2012, p. 11-29, 2012.

MONTEIRO, W.R.; LOPES, U.V.; CLEMENT, D. Genetic Improvement in Cocoa. In: S.M. Jain, P.M. Priyadarshan (eds.). **Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species**. Springer: 589-626, 2009.

MOSES, D.D.; ENRIQUEZ, G.A. Calibrating variates for yield of cocoa, as well as the relationships of several cacao features with the environment. In: ConférenceInternationalesur la RechercheCacaoyére, 7, Actes. J. de Lafforest and TranslaInter, London, pp 51-55, 1981.

MOTAMAYOR, J. C.; LACHENAUD, P.; MOTA, J. W. D. S.; LOOR, R.; KUHN, D. N.; BROWN, J. S.; SCHNELL, R. J.. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). **PloS one**, *3*(10), p.3311, 2008.

MOTILAL, L.A.; ZHANG, D.; MISCHKE, S.; MEINHARDT, L.W.; UMAHARAN, P. Microsatellite-aided detection of genetic redundancy improves management of the International Cocoa. **Tree Genet Genomes**. v.9, p.1395–1411, 2013.

MUNERI, A.; RAYMOND, C. A.; Genetic parameters and genotype by environment interactions for basic density, pilodyn penetration and stem diameter in *Eucalyptus globulus*. **Forest Genetics**, v. 7, n. 4, p. 317-328, 2000.

NUNES, A. C. P.; SANTOS, G. A.; DE RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 563-574, 2016.

NUNES, G. H. S.; RESENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. ImplicaÁıes da interaÁ„o genÛtipo x ambientes na seleção de clones de eucalipto. Cerne, v. 8, n. 01, p. 49-58, 2002.

OSORIO, L. F.; WHITE, T. L.; HUBER, D. A. Age Trends of Heritabilities and Genotype-by-Environment Interactions for Growth Traits and Wood Density from Clonal Trials of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Silva e Genetica, v. 50, n.1, 2001.

PEREIRA, J.L.; RAM, A.; FIGUEREDO, J.M.; ALMEIDA, L.C.C. Primeira ocorrência de vassoura de bruxana principal região produtora de cacau do Brasil. **Revista Agrotrópica**, n.1, 1:79-81, 1989.

REHEM, B.C.; ALMEIDA, A.-A. F.; CORREA, R.X.; GESTEIRA, A.S.; YAMADA, M. M.; VALLE, R.R. Genetic mapping of *Theobroma cacao* (Malvaceae) seedlings of the Parinari series, carriers of the lethal gene *Luteus-Pa.* Genetics and Molecular Research, v.9, n.3, p.1775-1784, 2010.

RESENDE, M.D.V. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento reml/blup. Embrapa informações tecnológicas, 186-189-191. https://doi.org/10.1590/s0006-87052001000300005. 2001.

RESENDE, M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V.; BARBOSA, M. H. P.; REZENDE, G. D. S.; AGUIAR, A. M., DIAS, L. D. S.; STURION, J. A.. Métodos e estratégias de melhoramento de espécies perenes: estado da arte e perspectivas. In *Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 2005, Gramado. Anais. Passo Fundo: Embrapa Trigo;[Sl]: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento reml/blup**. Bragantia, Campinas: Embrapa informações tecnológicas, p.186-189-191, 2001.

RESENDE, M.D.V.; Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo. Colombo: Embrapa Floresta, Documentos 100. 65p. 2004.

SANTOS, F.F.J. **Evolução populacional de *Moniliophthora perniciosa* e estabilidade de resistência à vassoura de bruxado cacaueiro na Bahia.** Tese (Tese de Doutorado em genética e Biologia Molecular) - Universidade Estadual de Santa Cruz, 2014.

SCARPARI, L. M.; MEINHARDT, L. W.; MAZZAFERA, P.; POMELLA, A. W. V.; SCHIAVINATO, M. A.; CASCARDO, J. C. M.; PEREIRA, G. A. G.. Biochemical changes during the development of witches' broom: the most important disease of cocoa in Brazil caused by Crinipellis perniciosa. **Journal of Experimental Botany,** v.*56,* n.413), p.865-877, 2005.

SCHAWE, C.C.; DURKA, W.; TSCHARNTKE, T.; HENSEN, I.; KESSLER, M. Gene flow and genetic diversity in cultivated and wild Cacao (*Theobroma cacao*) in bolivia. **American Journal of Botany**, v.100, p.2271–2279, 2013.

SILVA, C.R.S.; ALBUQUERQUE, P.S.B.; ERVEDOSA, F.R.; MOTA, J.W.S.; FIGUEIRA, A.; SEBBENN, A.M. Understanding the genetic diversity, spatial genetic structure and mating system at the hierarchical levels of fruits and individuals of a continuous *Theobroma cacao* population from the Brazilian Amazon. **Heredity**: v.106, p.973–985, 2011.

Soria, VJ, 1966. Principales variedades de cacao cultivadas en América Tropical. Turrialba CR 16 (3): 261-265.

SORIA, J. El vigor hibrido y su uso em el mejoramiento genético de cacao. **Fitotecnia Latino americana**, v. 56, pp. 59-78, 1964.

STAHEL, G. *Maramius perniciosus* nov. spec. Departament van denLanbonw in Suriname, Bulletin. V.33, p.1-26, 1915.

TREVIZAN, S. D. P.; SILVA JR, M.F. Consequências Sócio-Econômicas e Ambientais Associadas à Enfermidade da Lavoura de Cacau. In: XXXIII Congresso de Economia e Sociologia Rural, 1995. Curitiba, PR., 1995.

USDA – ARS. Taxon: Theobroma cacao L. En linea. National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network – (GRIN). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Consultado 27 Jun.

2008. Disponible en: http://www.ars-grin.gov./cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?101885, 2007.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, pp 486, 1992.

Wood, G.A., R.A. Lass, 1985. Cocoa 4th Edition. Longman Scientific & Technical, Essex, UK, 620 p.

YAMADA, M.M.; GURIES, R.P. Mating system analysis in cacao (*Theobroma cacao* L.). **Agrotrópica**, 10: 165-176, 1998.