



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido

FENOLOGIA E PRODUÇÃO DO CACAUEIRO NO SEMIÁRIDO

APARECIDA RODRIGUES DE JESUS CARVALHO

2019

APARECIDA RODRIGUES DE JESUS CARVALHO

FENOLOGIA E PRODUÇÃO DO CACAUEIRO NO SEMIÁRIDO

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

Orientador
Prof. Dr. Victor Martins Maia

JANAÚBA-MG
2019

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

Carvalho, Aparecida Rodrigues de Jesus

C331f Fenologia e produção do cacauzeiro no semiárido [manuscrito] /
Aparecida Rodrigues de Jesus Carvalho. – 2019.
102 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2019.
Orientador: Prof. D. Sc. Victor Martins Maia.

1. Cacau Melhoria genética. 2. Cacauzeiro. 3. Cacauzeiro Doenças e pragas. I. Maia, Victor Martins. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.74

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

APARECIDA RODRIGUES DE JESUS CARVALHO

FENOLOGIA E PRODUÇÃO DO CACAUEIRO NO SEMIÁRIDO

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Victor Martins Maia
UNIMONTES (Orientador)

Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos
Santos
UNIMONTES (Coorientador)

Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro
ICA/UFMG (Conselheiro)

Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda
UNIMONTES (Conselheiro)

Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo
ICA/UFMG (Conselheiro)

Pesq. Dr. José Basilio Vieira Leite
CEPLAC (Conselheiro)

**JANAÚBA-MG
2019**

Ao meu querido esposo, Ronaldo, e aos meus filhos, Ronald e João Pedro, que me deram todo apoio, carinho, confiança e que sempre acreditaram e torceram por mim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter guiado e iluminado meus caminhos e permitir a conclusão de mais essa etapa;
À Universidade Estadual de Montes Claros, por conceder seu espaço para a realização dos trabalhos e, principalmente, pela oportunidade de realização do curso de agronomia, mestrado e doutorado;

À Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), pela parceria para realização do estudo;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas;

À Euroforte e Agrosef pelo fornecimento de adubos foliares;

Ao professor Victor Martins Maia, pelo convívio, paciência, ensinamentos e orientação ao longo da minha graduação, mestrado e doutorado;

Ao Professor Silvânio Rodrigues dos Santos, pelo apoio na condução do experimento e pelos conhecimentos transmitidos;

Aos demais membros da banca: os Professores Rodinei Facco Pegoraro, Alcinei Místico Azevedo, Marcio Mahmoud Megda e o pesquisador José Basílio Vieira Leite pelas sugestões apresentadas e disponibilidade;

Aos pesquisadores da CEPLAC: George Andrade Sodr e e Carlos Alberto Spaggiari Souza; pela contribui o na condu o dos trabalhos;

Ao engenheiro agrônomo Filipe Barbosa pela contribui o na condu o dos trabalhos;

À minha família, em especial ao meu esposo Ronaldo e meus filhos Ronald e João Pedro pelo apoio e amor incondicional;

Ao Grupo de Estudo em Pesquisa e Estatística em Fruticultura Tropical (GEPEFT), em especial ao Matheus, Vinícius e Anna, pela infinita ajuda durante a condu o do experimento;

Ao coordenador do Campus Janaúba: Gevaldo Barbosa;

Aos funcionários da fazenda experimental da UNIMONTES: Romilson, José Ant nio, Josenon e Cláudio;

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para realiza o deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	vii
GENERAL ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 1	17
CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS E DE FRUTOS DE CACAUEIROS CULTIVADOS NO SEMIÁRIDO	18
Introdução	19
Material e métodos	20
Resultados e discussão	23
Conclusões	29
Agradecimentos	29
Referências	30
Figuras e tabelas	33
CAPÍTULO 2	39
PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DO CACAUEIRO PRODUZIDOS A PLENO SOL EM REGIÃO SEMIÁRIDA	40
Introdução	42
Material e métodos	43
Resultados e discussão	46
Conclusões	54
Agradecimentos	55
Referências	55
Figuras e tabelas	58
CAPÍTULO 3	65
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CACAUEIRO EM CLIMA SEMIÁRIDO	66
Introdução	67
Material e métodos	68
Resultados e discussão	70
Conclusões	75
Agradecimentos	75
Referências	76
Figuras e tabelas	79
CAPÍTULO 4	83
TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES E ÍNDICE DE CLOROFILA NA FASE REPRODUTIVA DE CACAUEIROS CULTIVADOS NO SEMIÁRIDO	84
Introdução	85
Material e métodos	87
Resultados e discussão	89
Conclusões	95
Agradecimentos	95
Referências	95
Figuras e tabelas	99
CONCLUSÃO GERAL	102

RESUMO GERAL

CARVALHO, Aparecida Rodrigues de Jesus. **Fenologia e produção do cacaueteiro semiárido**. 2019. 102 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba - MG¹.

O cultivo do cacaueteiro irrigado no semiárido, a pleno sol, pode ser alternativa viável de produção agrícola, permitindo o crescimento de plantas, bons índices produtivos, além de contribuir para melhorar as características químicas do solo, devido ao elevado aporte de nutrientes pelos resíduos da cultura. Por isso, objetivou-se avaliar o crescimento, a produção, a qualidade dos frutos, demanda nutricional bem como as características químicas do solo sob cultivo de clones de cacaueteiro em duas condições de disponibilidade de água no solo. O estudo foi delineado em blocos casualizados, com três repetições, no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas oito tratamentos relativos aos clones de cacaueteiro e nas subparcelas duas condições de água disponível no solo. Os clones de cacaueteiro utilizados foram: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51. As duas condições de água disponível no solo nas subparcelas: faixa com irrigação plena (fileira de plantas com microaspersores próximos, proporcionando 100% da água disponibilizada ao solo) e faixa que recebeu 25% a menos de água em relação à primeira (fileira com microaspersores afastados, de modo a disponibilizar 75% da água no solo, verificados pelo monitoramento periódico de umidade do solo). Foram avaliados o crescimento da planta e do fruto, a produção, a qualidade pós-colheita, demanda nutricional e os atributos químicos do solo. Os clones de cacaueteiro cultivados a pleno sol no semiárido iniciam o florescimento e frutificação aos 540 dias após o plantio (DAP), com picos de florescimentos e lançamentos foliares no mês de fevereiro (810 DAP) no segundo ano de cultivo. Os clones de cacaueteiro cultivados a pleno sol no semiárido apresentam pico de bilração no mês de junho (930 DAP). A época de maior pecamento de frutos para todos os clones testados no semiárido ocorre no mês de setembro (1020 DAP). Os frutos de cacaueteiro produzidos a pleno sol e em clima semiárido têm comportamento de crescimento sigmoideal com tendência a seestabilizar com o acúmulo de 954 graus-dia (92 dias após a antese). Todos os clones de cacaueteiro avaliados, na condição de pleno sol em ambiente semiárido, têm

¹**Comitê orientador:** Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Orientador); Prof.Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos– UNIMONTES (Coorientador); Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro - ICA/UFMG (Conselheiro); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Conselheiro); Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo ICA/UFMG (Conselheiro); Pesquisador Dr. José Basílio Vieira Leite (Conselheiro) – CEPLAC.

viabilidade agronômica de cultivo. O clone CEPEC 2005 apresenta melhor desempenho agronômico nas condições do semiárido com resultados superiores para produtividade e produção de amêndoas secas por planta no segundo ano de cultivo. A disponibilidade de água no solo de 100 e 75% não afeta a produção do cacauete cultivado a pleno sol em clima semiárido no segundo ano de cultivo. O cultivo do cacauete poderá ser implementado dentro dos banais já implantados, reduzindo assim os custos de produção da cultura. A produtividade de amêndoas secas e produção média por planta entre os clones testados aumentam 21% em relação à primeira safra. A produção acumulada do clone CEPEC 2005 é maior quando a disponibilidade de água no solo foi reduzida para 75%. O teor de carbono orgânico do solo aumenta nas épocas de poda do banal e do cacauete na camada superficial. A mudança no sistema de cultivo de sombreado com bananeira para pleno sol reduz os estoques de C no solo nas condições de clima semiárido. O cultivo do cacauete incrementa o teor e estoque de NT nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade do solo no decorrer do tempo. A relação C/N apresenta maiores valores na camada 0-0,2 m aos 700 DAP (estação seca). O uso de irrigação em clima semiárido intensifica a decomposição da matéria orgânica do solo. O teor foliar de nutrientes em todos os clones, em duas épocas do ano, tem a seguinte ordem decrescente: N>Ca>K>Mg>S>P. O índice de clorofila SPAD nas folhas do cacauete não se correlaciona com o teor de N nas plantas cultivadas no semiárido. O tratamento com menor disponibilidade de água no solo reduz a disponibilidade de K e aumenta a de Ca nas folhas do cacauete ao final da estação chuvosa. Os clones de cacauete CEPEC 2002 e CCN 51, na estação seca, e PS 1319 e SJ 02, na estação chuvosa, apresentaram os maiores teores foliares de enxofre, nitrogênio e potássio, no cultivo a pleno sol e em clima semiárido.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, manejo da irrigação, análise de crescimento, produção, matéria orgânica.

GENERAL ABSTRACT

CARVALHO, Aparecida Rodrigues de Jesus Carvalho. **Phenological and productive behavior of cacao clones grown in the semi-arid.** 2019. 102 p. Thesis (Doctor's Degree in Plant Production in Semiarid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG².

The cultivation of irrigated cocoa in the semiarid region, in full sun, can be a viable alternative for agricultural production, allowing the growth of plants, good productive indexes, besides contributing to improve the chemical characteristics of the soil, due to the high supply of nutrients by the residues of the culture. Therefore, the objective was to evaluate growth, production, fruit quality, nutritional demand as well as the chemical characteristics of the soil under cultivation of cocoa clones under two conditions of water availability in the soil. The study was outlined in randomized blocks, with three replications, in a split plot scheme, with eight treatments related to the cacao clones in the plots and in the subplots two water conditions available in the soil. The cacao clones used were: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51. The two conditions of water available in the soil in the subplots: strip with full irrigation (row of plants with nearby micro sprinklers, providing 100% of the water made available to the soil) and strip that received 25% less water compared to the first (row with micro sprinklers) away, so as to make 75% of the water available in the soil, verified by periodic monitoring of soil moisture). Plant and fruit growth, production, post-harvest quality, nutritional demand and soil chemical attributes were evaluated. The cocoa clones cultivated in full sun in the semiarid region start flowering and fruiting at 540 days after planting (DAP), with flowering peaks and leaf launches in February (810 DAP) in the second year of cultivation. The cacao clones cultivated in full sun in the semiarid region present a peak of bilation in June (930 DAP). The season of greatest fruit sinning for all clones tested in the semiarid occurs in September (1020 DAP). The cacao fruits produced in full sun and in a semiarid climate have sigmoidal growth behavior with a tendency to stabilize with the accumulation of 954 degrees-day (92 days after anthesis). All cacao clones evaluated, in the condition of full sun in a semiarid environment, have agronomic cultivation viability. The CEPEC 2005 clone shows better agronomic performance in the semi-arid conditions with superior results for productivity and production

²**Guidance committee:** Prof. Dr. Victor Martins Maia - UNIMONTES (Advisor); Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos - UNIMONTES (Coadvisor); Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro - ICA/UFMG (Counselor); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Counselor); Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo - ICA/UFMG (Counselor); Pesquisador Dr. José Basílio Vieira Leite (Counselor) – CEPLAC.

of dried almonds per plant in the second year of cultivation. The availability of water in the soil of 100 and 75% does not affect the production of cocoa grown under full sun in a semiarid climate in the second year of cultivation. The cultivation of cacao can be implemented within bananas already implanted, thus reducing the production costs of the crop. The productivity of dried almonds and average production per plant among the tested clones increased by 21% compared to the first harvest. The accumulated production of the CEPEC 2005 clone is higher when the availability of water in the soil has been reduced to 75%. The organic carbon content of the soil increases during the pruning seasons of the banana plantation and the cacao tree in the superficial layer. The change in the shading system with banana trees to full sun reduces C stocks in the soil under semi-arid climate conditions. The cultivation of cacao increases the NT content and stock in the layers of 0-0.2 and 0.2-0.4 m of soil depth over time. The C/N ratio presents higher values in the 0-0.2 m flow at 700 DAP (dry season). The use of irrigation in a semi-arid climate intensifies the decomposition of soil organic matter. The leaf nutrient content in all clones, at two times of the year, has the following decreasing order: N> Ca> K> Mg> S> P. The SPAD chlorophyll index in cacao leaves does not correlate with the N content in plants grown in the semiarid region. The treatment with less water availability in the soil reduces the availability of K and increases that of Ca in cacao leaves at the end of the rainy season. The cocoa clones CEPEC 2002 and CCN 51, in the dry season, and PS 1319 and SJ 02, in the rainy season, presented the highest leaf contents of sulfur, nitrogen and potassium, in full sun and in semiarid climate.

Keywords: *Theobroma cacao*, irrigation management, growth analysis, production, organic matter.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cacauzeiro (*Theobroma cacao L.*) é uma planta tolerante a sombra, de porte arbóreo e perene, alógama, caulífiora, dicotiledônea, pertencente à família Malvaceae, gênero *Theobroma*, cujo centro de origem é a América do Sul (Amazônia e Guiana) (ALVERSON et al., 1999; MOTAMAYOR et al., 2002). A maioria das variedades de cacau pertence a três grupos: Crioulo, Forastero e Trinitário, que variam de acordo com a morfologia, origens genéticas e geográficas (BARTLEY, 2005). O cacauzeiro é uma planta típica de regiões de clima tropical úmido, com elevado consumo hídrico e sensibilidade à falta de umidade do solo e aos períodos prolongados de seca (CADIMA, 1971).

A produção mundial de cacau correspondeu a 4,6 milhões de toneladas em 2018 (ICCO, 2019). O Brasil foi o sétimo maior produtor de cacau no ano de 2018 com produção de 255.184 toneladas de amêndoas secas (IBGE, 2019) sendo que os cultivos são predominantes em áreas sombreadas e com alta temperatura e umidade relativa (trópicos úmidos). Apesar da redução na produtividade, o que se têm observado no Brasil e no mundo é uma demanda crescente pela produção de cacau, em especial devido ao aumento do consumo de chocolate. Isso reforça a necessidade de adequação, modernização e expansão dos sistemas produtivos de cacau no país, o que é viabilizado principalmente a partir de pesquisas que busquem maximizar a capacidade produtiva dos cultivos.

No Brasil, a cultura encontra-se estabelecida em regiões tropicais úmidas, sendo os Estados da Bahia e Pará, os maiores produtores. A produção de cacau é predominantemente familiar, visto que, segundo a International Cocoa Organization, 90% do cacau produzido no mundo advém de pequenos produtores. No Brasil a cultura também apresenta este perfil, porém a mesma vem apresentando expansão para outras regiões do país. As condições brasileiras para a produção de cacau melhoraram significativamente a partir da introdução de cultivares mais adaptadas e de novas tecnologias de cultivo, aliada ao controle fitossanitário.

O cacau é cultivado para a produção de sementes (amêndoas) destinadas principalmente para a fabricação de chocolate. Outros derivados e subprodutos do cacau também são utilizados na indústria de cosméticos, bebidas finas, geleias, cremes e sucos.

A produtividade e a qualidade dos frutos do cacauzeiro são influenciadas pelos fatores climáticos. O cacauzeiro é considerada típica planta tropical, sensível a baixas temperaturas que afeta o crescimento vegetativo, floração e frutificação. Os limites de tolerância térmica situam-se na faixa de 18 a 28°C de temperatura média mensal. Além disso, o vento excessivo

provoca queda prematura das folhas e desfolha da planta. É uma planta tolerante a sombra, cujas vantagens neutralizam fatores ecológicos desfavoráveis como altas temperaturas, estresse hídrico, baixa fertilidade do solo e incidência de doenças e pragas (MULLER e VALLE, 2012).

O sistema tradicional de produção de cacauzeiros adotado em diversas partes do mundo é o agroflorestal ou de consórcio (SODRÉ e LEITE, 2018). Esses sistemas são considerados como os de maior potencial de conservação da biodiversidade (ROLIM et al., 2017). Contudo, é um sistema que apresenta baixas produtividades que apresenta média mundial de 520 kg ha⁻¹. Na Bahia, principal região produtora de cacau do Brasil, a produtividade média atualmente é de 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e no auge da produção brasileira, na década de 70, foi de 700 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Essa condição, de baixa produtividade associada ao ambiente sombreado, quente e úmido favorecem a proliferação de diversas doenças, principalmente as fúngicas, que afetam diretamente a produtividade das plantas. Este cenário, associado ao alto custo de mão-de-obra e insumos, vem tornando inviáveis financeiramente o cultivo nessas condições.

As alternativas são os cultivos intensivos e semi-intensivos com arranjos que permitam maior luminosidade na área, uso de tecnologias e zonas de escape às principais doenças do cacauzeiro. Dentre esses arranjos destaca-se o cultivo a pleno sol, sistema com elevada produtividade associado ao uso de tecnologias que é praticado no Equador há mais de 50 anos (LEITE et al., 2012).

No sistema de cultivo a pleno sol, as plantas não são mantidas sob vegetação nativa ou frutíferas, e sim em completa exposição à radiação solar. Assim é possível a adoção de maiores densidades de plantas. Há também a possibilidade de aumento no uso da mecanização das atividades de manejo na área como pulverizações, roçadas, adubações e podas.

Os sistemas de cultivo a pleno sol e irrigados apresentam altas produtividades e são característicos de cultivos empresariais. Nestas áreas são utilizados clones autocompatíveis e as mudas são produzidas por enraizamento de estacas de ramos plagiotrópicos ou por enxertia em porta-enxerto seminal (SODRÉ, 2017). Ainda conforme Sodré (2017), tais áreas aos seis anos podem apresentar produtividade superior a 3.000 kg de amêndoa seca ha⁻¹ ano⁻¹. Sob condi es de pouco sombreamento a planta ainda tende a acelerar seu metabolismo e exigir muito mais água e nutrientes (ADAFAX, 2013).

Com o avanço das tecnologias de produ o agrícola nos últimos anos, há possibilidade de implanta o com sucesso da cultura em áreas consideradas não tradicionais devido,

principalmente, às novas técnicas de irrigação, fertirrigação, manejo cultural e do material genético adaptado (LEITE et al., 2012).

O semiárido brasileiro está compreendido em área de 982.563 km² (MIN - Resolução 107, 2017), o que corresponde a 18,2% do território nacional e está localizado nos estados do Nordeste e em Minas Gerais. No semiárido mineiro há um grande polo fruticultor irrigado, utilizando alta tecnologia na produção de frutas, especialmente da cultura da banana (*Musa* spp), com a produção concentrada em perímetros irrigados denominados Projeto Gorutuba e Projeto Jaíba. O cultivo do cacaueteiro poderá ser implementado dentro desses sistemas já implantados, reduzindo assim os custos de implantação e produção da cultura.

Estas áreas, em razão das características climáticas, podem ser escape para as principais doenças do cacaueteiro como a vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) e monilíase (*Moniliophthora roreri*) e favorecer o beneficiamento e a qualidade das amêndoas secas (LEITE et al., 2012). Além disso, a ampliação das áreas de cultivo para regiões não tradicionais pode proporcionar aumento da produção para atender a um mercado de consumo crescente, principalmente em países como Índia e China recolocando o Brasil novamente como exportador de cacau.

Um dos entraves para que o Brasil se torne grande produtor de cacau é a presença de doenças associadas às condições climáticas nas principais regiões de cultivo, além do baixo nível tecnológico empregado na maioria dos cultivos. Na região de Janaúba, Minas Gerais, inserida no semiárido de Minas Gerais, as chuvas têm distribuição bastante irregular, com totais anuais abaixo de 800 mm (INMET, 2019) e períodos relativamente longos de deficiência hídrica. Por outro lado, o clima quente e seco do semiárido favorece o desenvolvimento da cultura sem a ocorrência de doenças, condição climática comum nas principais regiões de cultivo no Brasil. A deficiência hídrica em períodos prolongados exige obrigatoriamente uso de irrigação. Segundo Almeida e Valle (2007), o cacaueteiro pode ser cultivado sem sombra desde que o suprimento de água e nutrientes e o manejo geral sejam adequados.

O consumo diário de água do cacaueteiro foi verificado por Alvim (1965) que afirmou que uma planta adulta com quatro mil folhas e superfície foliar de 60 m² perde em média 40 litros de água por dia. Almeida et al. (2000) detectaram consumo de 19,8 litros por planta por meio do balanço climatológico e, segundo Leite (2013), o consumo diário de água de um cacaueteiro foi de 31,5 litros. Alvim (1988) e Muller e Valle (2007) estimaram na região cacaueteira da Bahia que o cacaueteiro demanda entre 30 a 50 litros de água por dia. Dados de campo (baseados no método do fluxo de seiva) sugeriu taxas de ETC inferiores a 2 mm dia⁻¹

(CARR e LOCKWOOD, 2011). Enquanto Souza (2018) sugere o valor de 3,98 mm dia⁻¹ para o semiárido mineiro com Kc igual a 0,98. Leite (2013), em Ilhéus-Ba observou valores em torno de 3,5 mm dia⁻¹. Kohler et al. (2009) em Sulawesi, Indonésia, verificaram valores de 2,6 mm dia⁻¹.

A cultura do cacaueteiro demanda apropriadas condições químicas e físicas do solo. Os atributos desejáveis dos solos recomendados para o cultivo do cacaueteiro são: profundidade efetiva do solo maior que 100 cm, drenagem boa a moderada. Os solos de textura média a argilosa (teor de argila variando de 20 a 40% no horizonte A e de 30 a 65% no horizonte B), e ricos em matéria orgânica são os mais indicados para esta cultura. A faixa de pH entre 5,5 e 6,5 é considerada adequada para o cultivo do cacaueteiro (CHEPOTE et al., 2012).

As variedades de cacaueteiro apresentam distintas necessidades térmicas, com isso pode ocorrer diferença entre o desempenho produtivo das cultivares nas diversas regiões de cultivo. No entanto, ainda há carência de informações sobre o cultivo do cacaueteiro para as condições climáticas do semiárido e suas diversas variações, o que poderá ocasionar a adoção do manejo da cultura sem conhecimento técnico da fenologia da planta. Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar o cultivo do cacaueteiro no semiárido quanto ao crescimento, à produção, à qualidade dos frutos, demanda nutricional e características químicas do solo cultivado por clones de cacaueteiro no semiárido sob duas condições de água disponível no solo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 425-448, 2007.
- ALMEIDA, H. A.; VILLA NOVA, N. A.; KLAR, A. E. Estimativa da demanda hídrica do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 22, n. 3, p. 402-406, 2000.
- ALVERSON, W. S.; WHITLOCK, B. A.; NYFFELER, R.; BAYER, C.; BAUM, D. A. Phylogeny of the core Malvales: evidence from ndhF sequence data. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 10, p. 1474-1486, 1999.
- ALVIM, P. T. As necessidades de água do cacaueteiro. **Cacau Atualidades**, Itabuna, v. 2, n. 3, p. 29-38, 1965.
- ALVIM P. T. Relações entre fatores climáticos e produção do cacaueteiro. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 10., **Proceedings ...** Santo Domingo: Dominican Republic, 1988. p. 159-167.

ASSOCIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR DO ALTO XINGU. ADAFAX. **Cultivo e manejo de cacauzeiros**. São Félix do Xingu: ADAFAX, 2013. 35 p.

BARTLEY, B. G. D. **The genetic diversity of cacao and its utilization**. Wallingford: CABI Publishing, 2005.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Conselho Deliberativo. Resolução n. 107, de 27 de julho de 2017. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 48, 13 jul. 2017.

CADIMA, Z. A. Efeito da água subterrânea sobre a produção de cacau. **Cacau Atualidades**, Itabuna, v. 8, p. 8-10, 1971.

CARR, M. K.; LOCKWOOD, G. The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma Cacao L.*). **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 4, p. 653-676, 2011.

CHEPOTE, R. E.; SANTANA, S. O.; ARAUJO, Q. R.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERODIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Aptidão agrícola e fertilidade de solos para a cultura do cacauzeiro. In: VALLE, R. R. **Ciência, tecnologia e manejo do cacauzeiro**. Ilhéus: CEPLAC, 2012. p. 67-110.

INTERNACIONAL COCOA ORGANIZATION. ICCO. **Boletim Trimestral da ICCO de Estatísticas do Cacau**, v. 44, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.icco.org>. Acesso em: 13 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. 2019. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola mensal. Acesso em: 23 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 25 de janeiro de 2019.

KÖHLER, M.; DIERICK, D.; SCHWENDENMANN, L.; HÖLSCHER, D. Water use characteristics of cacao and *Gliricidia* trees in an agroforest in Central Sulawesi, Indonesia. **Ecohydrology**, v. 2, n. 4, p. 520-529, 2009.

LEITE, J. B. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; MARIVALDO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo do cacau no semiárido do Brasil. **Agrotropica**, Itabuna, v. 24, p. 85-90, 2012.

LEITE, M. S. B. **Consumo hídrico do cacauzeiro jovem irrigado por gotejamento em consórcio com bananeira e pau-brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2013.

MOTAMAYOR, J.C.; RISTERUCCI, A.M.; LOPEZ, P.A.; ORTIZ, C.F.; MORENO, A.; LANAUD, C. Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. **Heredity**, v. 89, n. 5, p. 380-386, 2002.

MULLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Sistemas Agroflorestais com Cacaueiro. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro**. 2. ed. Itabuna: CEPEC, 2012. p. 407-435.

MULLER, M. W.; VALLE, R. R. Ecofisiologia do cultivo do cacaueiro. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro**. 2. ed. Itabuna: CEPEC, 2012. p. 17-41.

ROLIM, S. G.; SAMBUICHI, R. H. R.; SCHROTH, G.; NASCIMENTO, M. T.; GOMES, J. M. L. Recovery of forest and phylogenetic structure in abandoned cocoa agroforestry in the Atlantic Forest of Brazil. **Environmental Management**, New York, v. 59, p. 410-418, 2017.

SODRÉ, G. A. (Ed). **Cultivo do cacaueiro no estado da Bahia**. Ilhéus: MAPA, 2017.

SODRÉ, G. A.; LEITE, J. B. V. Sistema Candelabro: proposta para cultivo intensivo de cacaueiro. **Agrotropica**, Itabuna, v. 30, n. 1, p. 135-146, 2018.

SOUZA, G. S. B. **Coefficiente de cultura e consumo hídrico do cacaueiro irrigado e cultivado a pleno sol no semiárido**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)-Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2018.

CAPÍTULO 1

Crescimento e desenvolvimento de plantas e de frutos de cacauzeiros cultivados no semiárido

(Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Fruticultura)

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS E DE FRUTOS DE CACAUEIROS CULTIVADOS NO SEMIÁRIDO

Resumo: O conhecimento das características de crescimento e desenvolvimento do cacaueteiro é importante para o ajuste das práticas de cultivo já consolidadas em áreas tradicionais ou mesmo para criação de novas práticas de cultivo. Objetivou-se avaliar o crescimento e desenvolvimento de plantas e de frutos de cacaueteiros cultivados a pleno sol no semiárido. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas 8 clones: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51 e nas subparcelas as épocas avaliadas ao longo do tempo. Durante o cultivo foram avaliadas a altura da planta, diâmetro do caule, índice de área foliar, lançamentos foliares, florescimento, contagem do número de bilros pecos e sadios, comprimento do fruto, diâmetro do fruto, taxa de crescimento absoluto e relativo do fruto e acúmulo de graus-dia. Os clones de cacaueteiro cultivados a pleno sol no semiárido iniciam o florescimento e frutificação 540 DAP, com picos de florescimentos e lançamentos foliares no mês de fevereiro (810 DAP) no terceiro ano de cultivo. Os clones de cacaueteiro apresentam pico de bilração no mês de junho (930 DAP) e a época de maior pecamento de frutos para todos os clones testados no semiárido ocorre no mês de setembro (1020 DAP). Os frutos de cacaueteiro produzidos a pleno sol e em clima semiárido têm crescimento sigmoideal atingindo o ponto de colheita com o acúmulo de 954 graus-dia (92 dias após a antese). Os ajustes nas práticas do manejo no semiárido podem proporcionar duas ou três safras por ano com pico de bilração diferindo das regiões tradicionais de cultivo.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, florescimento, frutificação, lançamento foliar, graus-dia, clones.

Abstract: The knowledge of the characteristics of growth and development of cacao is important for the adjustment of cultivation practices already consolidated in traditional areas or even for the creation of new cultivation practices. The objective was to evaluate the growth and development of plants and fruits of cocoa trees grown in full sun in the semiarid region. The experimental design used was randomized blocks in subdivided plots, with 8 clones in the plots: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51 and in the subplots, the periods evaluated over time. During the cultivation, the plant

height, stem diameter, leaf area index, leaf releases, flowering, count of the number of sinful and healthy bobbins, fruit length, fruit diameter, absolute and relative growth rate of the fruit and accumulation of degree-days. The cacao clones cultivated in full sun in the semiarid start flowering and fruiting 540 DAP, with flowering peaks and leaf launches in February (810 DAP) in the third year of cultivation. The cacao clones show a peak of bilation in the month of June (930 DAP) and the season of greatest fruit sinning for all clones tested in the semiarid occurs in the month of September (1020 DAP). The cacao fruits produced in full sun and in a semi-arid climate have sigmoidal growth reaching the point of harvest with the accumulation of 954 degrees-day (92 days after anthesis). Adjustments in management practices in the semiarid region can provide two or three harvests per year with a peak of bilation differing from traditional cultivation regions.

Keywords: *Theobroma cacao*, flowering, fruiting, leaf release, degree-days, clones.

Introdução

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie frutífera de sub-bosque da família Malvaceae nativa da América do Sul (MOTAMAYOR et al., 2002). Apresenta porte arbóreo que pode atingir 20 m de altura, enquanto sob cultivo é mantido com 3 a 5 m. O fenômeno da cauliflora ocorre com inflorescências no caule e nos ramos produzidas nas almofadas florais. O florescimento pode iniciar 18 meses após o plantio no campo, ocorrendo diversas vezes ao ano, com flores e frutos em vários estádios de desenvolvimento. Plantas propagadas por sementes ou enxertia apresentam raiz pivotante, que pode atingir 2 m de profundidade, e raízes secundárias que são responsáveis pela nutrição da planta. Cerca de 80% destas raízes geralmente encontram-se nos primeiros 20 a 30 cm do solo (AGUILAR et al., 2016; ALMEIDA e VALLE, 2007).

As variedades e híbridos de cacauzeiros, conhecidos com o termo “clone”, tratam-se do uso intensivo dos métodos de estaquia e enxertia na cultura. Os clones apresentam fácil propagação por estacas de ramos plagiotrópicos, bom crescimento vegetativo e vigor dos ramos. Além disso, amplia a base genética de resistência para a doença vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) e outras doenças, e associa características agronômicas favoráveis relacionadas ao tamanho e número de frutos e sementes, relação peso da casca de frutos e sementes e autocompatibilidade (SODRÉ, 2017).

No sistema candelabro, sugerido para cultivo intensivo de clones de cacauzeiro, a densidade é superior a 1.600 plantas ha⁻¹, aumentando assim, os rendimentos com aumento de

quantidade e a qualidade de frutos por cacaueteiro. Neste sistema são utilizados clones autocompatíveis e adaptados ao tutoramento, com porte médio, precocidade, obtendo boas respostas às podas (SODRÉ e LEITE, 2018).

A análise do crescimento das plantas é necessária para explicar as diferenças dentro de uma espécie que cresce em ambientes diferentes (HUNT, 2012). Já a avaliação do padrão de crescimento do fruto auxilia na padronização da época de colheita e determinação de índices de maturação e de qualidade do fruto (ARAÚJO NETO et al., 2001).

O crescimento do fruto do cacaueteiro tem comportamento sigmoideal em função do tempo, com três fases distintas: uma inicial ou exponencial em que o crescimento é relativamente lento que varia de 75 a 90 dias, outra intermediária, em que o crescimento é acelerado e linear que varia de 45 a 70 dias, e outra final em que coincide com a maturação e varia de 20 a 25 dias (ALMEIDA e VALLE, 1995; MULLER e VALLE, 2012). Frutos desenvolvidos nos meses com temperaturas mais altas completam sua maturação em períodos mais curtos (140-175 dias), enquanto nos meses mais frios a maturação ocorre em períodos mais longos (170-205 dias) (MULLER e VALLE, 2012).

A maioria das informações de crescimento e desenvolvimento das plantas e frutos do cacaueteiro refere-se a dados coletados em regiões tradicionais de cultivo. No entanto, pesquisas que abordam o crescimento de plantas e de frutos em condições semiáridas bem como os cultivos a pleno sol são escassas. Portanto, objetivou-se avaliar o crescimento e desenvolvimento de plantas e de frutos de clones de cacaueteiros cultivados a pleno sol em região de clima semiárido.

Material e métodos

O experimento foi implantado em novembro de 2014, na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, no município de Janaúba, MG, localizada a 15°43'49" S, 43°19'22" O, com 533 metros de altitude. Os dados meteorológicos, registrados durante o período de condução do experimento, encontram-se na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas no tempo, tendo nas parcelas oito clones: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51 e nas subparcelas as épocas de avaliação. Esses clones foram escolhidos porque reúnem características adequadas como: autocompatibilidade, alta produtividade e qualidade das amêndoas para processamento industrial.

O plantio foi feito em box com uso de quebra-ventos com *Pennisetum purpureum*, em área sombreada com bananal da cultivar Prata-Anã. Passados dois anos do plantio dos clones do cacauero, o bananal foi totalmente eliminado e o experimento passou a ser conduzido na condição de pleno sol. As irrigações foram realizadas no sistema por microaspersão. O espaçamento utilizado foi de 3 x 2 m entre linhas de plantio e plantas, respectivamente. Foram realizadas as seguintes podas: de formação em fevereiro de 2016 (450 DAP); manutenção em maio e outubro de 2016 (540 e 690 DAP); manutenção em junho e outubro de 2017 (930 e 1050 DAP) e desbastes mensalmente para equilíbrio da copa.

As recomendações de adubação foram feitas conforme Chepote et al. (2013). As mudas foram produzidas no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), de Ilhéus (BA), usando estaquia de ramos plagiotrópicos e método descrito por Sodré (2013) e transplantadas aos sete meses para o campo. O controle mecânico de ervas daninhas, poda de formação e manutenção, controle de pragas e controle de sombreamento foi feito de acordo com Marrocos et al. (2003).

O crescimento das plantas foi avaliado pelas seguintes características: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e índice de área foliar (IAF). A AP foi obtida utilizando fita métrica com dados expressos em centímetros (cm). O DC foi medido com um paquímetro digital com dados expressos em milímetros (mm). O IAF foi determinado com um ceptômetro AccuPAR modelo LP-80, operado de acordo com as especificações do fabricante, entre as 10h00 e 14h00. Em cada parcela foram realizadas três leituras com o ceptômetro, abaixo e acima do dossel, de cada planta útil.

Para acompanhamento do desenvolvimento das plantas realizou-se a observação dos lançamentos foliares e florescimento das plantas em porcentagem, sendo 0%: ausência de flores e brotos, 25%: uma flor ou broto, 50%: duas flores ou brotos e 100%: mais de duas flores ou brotos. Também foi feito a contagem do número de bilros sadios e pecos. As avaliações foram realizadas aos 540, 630, 750, 810, 870, 930, 1020 e 1080 dias após o plantio (DAP).

O crescimento e desenvolvimento do fruto foram avaliados pelas seguintes características: comprimento do fruto (CF) e diâmetro do fruto (DF), com auxílio de paquímetro digital, com dados expressos em centímetros (cm). A primeira medição foi realizada após a polinização e as demais a cada sete dias até atingirem 50% da coloração da casca amarela. A partir dos modelos ajustados foi estimada a taxa de crescimento absoluto (TCA) (cm dia^{-1}) e taxa de crescimento relativo (TCR) ($\text{cm cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$) do comprimento do fruto conforme metodologia proposta por Hunt (2012). A taxa de crescimento absoluto (TCA)

indica a variação de crescimento em um determinado intervalo de tempo, sendo determinada mediante a Equação 1.

$$TCA = (W2-W1)/(T2-T1)$$

Em que: TCA (cm dia⁻¹) é a taxa de crescimento absoluto das plantas; W2 (cm), o comprimento obtido na época 2; W1(cm), comprimento obtido na época 1 e o intervalo de dias entre as amostragens (dias).

Já a taxa de crescimento relativo foi determinada a partir da Equação 2.

$$TCR = \text{Ln}(W2/W1) / (T2 - T1)$$

Onde: TCR = taxa de crescimento relativo (cm cm⁻¹dia⁻¹); Ln = logaritmo neperiano; W1 e W2 representam o comprimento (cm) nos tempos T1 (dia) e T2 (dia).

O acúmulo de graus-dia foi determinado com temperatura base a 14,2 °C (Milde e Sgrillo 1993) segundo proposta de Ganry (1978) para latitudes abaixo de 20°, onde está inserida a região da área experimental, com a fórmula:

$$T \text{ méd} = T \text{ mín} + 0,4 \times (T \text{ máx} - T \text{ mín}) \text{ e}$$

$$GD = (T \text{ méd} - T \text{ bas})$$

Em que:

Tméd = temperatura média diária (°C);

Tmín = temperatura mínima diária (°C);

Tmáx = temperatura máxima diária (°C);

GD = acúmulo térmico diário;

Tbas = temperatura basal definida para o cacauzeiro (°C).

Os dados meteorológicos de temperaturas mínimas e máximas diárias foram obtidos a partir da estação meteorológica do 5° DISME (INMET, 2019), localizada no raio de 8,5 km da área experimental.

Os dados relacionados ao crescimento da planta (altura e diâmetro do caule) foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão. Os modelos da regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, de acordo com o coeficiente de determinação e potencial para explicar o fenômeno biológico em questão. O IAF foi interpretado por meio de análise de variância e teste de médias Scot-Knoot. Os dados obtidos de lançamentos foliares, florescimento, número de bilros sadios e pecos foram interpretados por meio de análise descritiva e também foi realizado o teste estatístico qui-quadrado (teste de independência) para número de bilros sadios e pecos. A análise estatística foi feita com auxílio do software R com os pacotes: (ExpDes.pt, Chiq.test) e do software Sigma plot 12.0 versão Demo.

Resultados e discussão

O tempo de cultivo (dias após o plantio-DAP) influenciou de modo isolado a altura de plantas, o diâmetro do caule e índice de área foliar dos clones SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16 e CCN 51 (Tabela 1).

Os clones de cacaueteiro testados no semiárido apresentaram alturas médias de 145 cm por planta (Figura 2) ao final do primeiro anodo produção (37 meses), apresentando maior crescimento da planta em comparação às áreas tradicionais de cultivo. Fato semelhante foi verificado por Leite et al. (2012) no semiárido baiano, com valores médios de 190,6 cm aos 21 meses após o plantio, e Begiato et al. (2009) no Vale do São Francisco. Este maior crescimento resultou em ramos vigorosos, aumentando os trabalhos de arqueamento dos ramos e poda.

Provavelmente, o maior crescimento das plantas foi decorrente do cultivo a pleno sol e irrigação em condições de clima quente e seco, efeitos marcantes para a dominância de ramos (SODRÉ e LEITE, 2018). Alternativas para manejo do vigor das plantas do cacaueteiro têm sido utilizadas, como o paclobutrazol e anelamento (MÜLLER et al., 2001; MÜLLER et al., 2006; VALLE E ALMEIDA, 1991). Sodré e Leite (2018) recomendaram o sistema candelabro, por meio de tutoramento e poda que juntas priorizam ramos de produção para elevada produtividade por planta.

Os clones de cacaueteiro apresentaram o diâmetro do caule com padrão de crescimento sigmoidal (Figura 2) com valores médios de 24 mm (Tabela 1). Leite et al. (2012) encontraram valores de 35,8 mm em plantas com 21 meses após o plantio no semiárido baiano. O diâmetro de caule de cacaueteiros correlaciona-se com a precocidade e produção das plantas, ou seja, quanto maior o diâmetro do caule maior a produção e mais precoce é a planta.

Balasinha (1988) registrou incrementos de 30% no diâmetro do caule e de 50% na folhagem de cacaueteiros irrigados em relação aos cultivos não irrigados. Almeida et al. (2012) avaliaram a irrigação e adubação nitrogenada na altura de plantas e no diâmetro do caule do clone CCN 51 e verificaram redução do diâmetro em função do aumento do volume de água aplicada, resultado atribuído ao maior crescimento em altura das plantas devido a doses de N aplicadas via irrigação.

O crescimento em diâmetro está relacionado com a atividade cambial, sendo estimulada por carboidratos produzidos pela fotossíntese e hormônios translocados das regiões apicais. O diâmetro do caule fino, verificado no cacaueteiro no semiárido, nas plantas

clonais produzidas por estacas associado ao sistema radicular mais superficial resultado deste tipo de progação esem a presença de raízes pivotantes, pode resultar em plantas mais suscetíveis ao tombamento (AGUILAR et al., 2016). No entanto, o tutoramento das plantas (Sodré e Leite 2018) e o uso de quebra ventos podem solucionar esse problema.

As plantas do cacauero mantiveram valores médios de índice de área foliar entre 1,86 e 4,51 (Tabela 2). As podas efetuadas nas plantas aos 540 (maio), 690 (outubro), 930 (junho) e 1050 (outubro) DAP modificaram a estrutura e características de crescimento do cacauero, uma vez que os valores apresentados mostraram aumento e redução do IAF ao longo do tempo. Por meio do teste de Scott-Knott foi formado o grupo superior aos 720 DAP com valores de IAF de 4,51. Essa variação do IAF demonstra como o manejo da cultura é alterado ao longo do ciclo da cultura e como as podas e outras práticas interferem nesta variável.

O sombreamento do bananal presente nos dois primeiros anos do experimento, também pode ter alterado o IAF, uma vez que plantas cultivadas nessas condições podem reduzir a taxa fotossintética. A análise da área foliar relaciona com a atividade fotossintética, crescimento, resposta aos tratos culturais, exigências nutricionais e a produtividade da cultura. Assim, a estimativa da mesma é componente fundamental dos modelos de crescimento da cultura, além de ser importante método para previsão de produtividade (BIANCO et al., 2003; LIZASO et al., 2003; WHITE et al., 2010).

O lançamento foliar é uma característica fisiológica importante, pois ocorre uma sincronia com os eventos subsequentes de floração e frutificação no cacauero. Além disso, a avaliação por clone pode servir para arranjos a serem recomendados para plantio no futuro.

Os clones de cacauero apresentaram lançamentos foliares em todas as épocas avaliadas (Figura 3) e apresentaram pico de lançamentos foliares aos 810 DAP (fevereiro) em todos os clones testados. Essas informações auxiliam no manejo da cultura, estabelecendo épocas para fertilização, poda, períodos suscetíveis a ataques de doenças e pragas. Provavelmente, os clones foram influenciados pelo manejo adotado com irrigação, adubação, podas e pelas condições climáticas do semiárido. Nas regiões tradicionais de cultivo anualmente ocorrem dois picos de lançamentos foliares nos meses de fevereiro a março e setembro a outubro (ARÉVALO et al., 2012).

Quebra de dormência apical após um período de estresse hídrico seguido de chuvas, pode influenciar na intensidade da emissão foliar (ALMEIDA et al., 1987). Desta forma, no semiárido, o manejo de poda, corte da irrigação e seguido da fertirrigação poderão promover lançamentos foliares, floração e frutificação. Este tipo de manejo pode permitir a programação e escalonamento de safras bem como a obtenção de 3 safras por ano.

Em todos os clones foram observados florescimento, iniciando aos 540 DAP (maio) com pico de floração aos 810 DAP (fevereiro) (Figura 4). Esta época coincide com a época de chuvas e umidade relativa elevada (figura 1) para esta região do semiárido (INMET, 2019). Nas regiões tradicionais de cultivo o florescimento ocorre nos meses de outubro e novembro e abril a maio (ARÉVOLA et al., 2012).

O início do florescimento pode ter sido afetado pelo sombreamento excessivo (Taiz et al., 2017) proveniente do bananal presente na área nessa época. Leite et al. (2012) observou início da floração nove meses após o plantio. Desse modo, o desbaste do bananal na área deve ser realizado mais antecipadamente e de forma gradual para não prejudicar o florescimento. As plantas no terceiro ano de cultivo já se encontravam a pleno sol e estas plantas apresentam maior floração que as cultivadas com sombreamento (MULLER e VALLE, 2012).

Através das análises do teste qui-quadrado de independência (Tabela 3), pode-se constatar que houve relação de dependência entre as variáveis clones e época ($p=0,05$) para as características bilros sadios e bilros pecos.

Todos os clones testados no semiárido apresentaram pico de bilração aos 930 DAP (Figura 5). Nesse período (junho) observou-se queda na temperatura, iniciando o período de menor temperatura do ano (Figura 1), coincidindo a formação de bilros sadios com temperaturas amenas, porém com ausência de chuvas. Foi observado valor médio de 47 bilros sadios para o clone CEPEC 2005 nessa época.

Aos 1020 DAP foi observado para todos os clones estudados a época de maior pecamento de frutos (bilros pecos) (Figura 5). Nesta época foram verificados os maiores valores médios bilros pecos (56) para o clone CEPEC 2005. Neste período, as condições climáticas prevaleciam com temperatura elevada e umidade relativa baixa (Figura 1). Estes fatores se somaram ao porte das plantas ainda jovens e a reduzida capacidade para suportar o crescimento vegetativo vigoroso com produção elevada. Tudo isto pode ter provocado maior competição entre drenos por nutrientes e fotoassimilados e ter contribuído para o maior número de bilros pecos (LEITE et al., 2012).

Daymond e Hadley (2008) relataram que o peco fisiológico no cacaueteiro é caracterizado por uma paralização do crescimento inicial do fruto jovem, causando amarelecimento, escurecimento e encolhimento. Porém, o bilro permanece na planta, podendo ocorrer a qualquer momento e causar perdas significativas de frutos do cacaueteiro. Esses autores verificaram aumento no peco fisiológico em condições de crescimento mais quentes (máxima 33°C, mínima 23°C) e atribuíram a maiores taxas de respiração com o aumento da

temperatura, resultando em uma maior demanda de carboidratos e, portanto, redução na carga de frutos que a planta é capaz de manter.

Quanto a crescimento dos frutos, foram ajustados modelos para comprimento e diâmetro em função das épocas de avaliação (Figura 6). Todas as equações são sigmoidais corroborando com Almeida e Valle (1995) e Muller e Valle (2012).

As medidas do fruto ao longo do tempo confirmaram o padrão sigmoidal para o crescimento do fruto do cacaueteiro que é caracterizado em três fases. A primeira fase ou fase I (bilro até 10 cm) é fase inicial ou exponencial. Este estágio é caracterizado pela baixa taxa de crescimento e dura entre 6 e 7 semanas após a antese, média de 43 a 50 dias. Durante esta fase o crescimento em comprimento é mais relevante que em diâmetro. Isto é verificado nas equações em que o ponto de inflexão do comprimento é sempre menor que o do diâmetro. Nesta fase os bilros são susceptíveis ao peço fisiológico (DAYMOND e HADLEY, 2008). A segunda fase ou fase II (fruto médio) (fase intermediária) apresentou crescimento acelerado e linear. Esta fase pode estender por até 5 semanas, na qual o volume final do fruto é atingido. Porém, a matéria seca ainda é baixa com metabolismo ativo, durante o qual os lipídios, proteínas de armazenamento e antocianinas se acumulam na semente enquanto a umidade do embrião diminui em até 30% (Niemenak et al., 2010) e durou em média 35 dias. A terceira fase ou fase III (Maturação) é o último estágio. Frutos e sementes atingem sua maturidade fisiológica e amadurecimento segue imediatamente. Nestes ocorrem aumento da matéria seca e fresca e uma mudança da coloração externa do fruto. Materiais genéticos de cor verde mudam para laranja/amarelo e vermelho para laranja ou permanece vermelho. A maturação pode se estender por um período de aproximadamente 1 a 2 semanas, da 13^a a 14^a semana, durou em média de 7 a 14 dias. Ao fim deste estágio, o fruto está completamente formado e internamente as sementes se tornam altamente mucilaginosas (NIEMENAK et al., 2010).

O comprimento máximo atingido pelos frutos dos clones CCN 51, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, Ipiranga 1, PH 16, PS 1319 e SJ02 foram 19,31; 15,94; 18,55; 16,39; 20,95; 19,05; 19,05 e 18,52 cm, respectivamente. Enquanto o diâmetro máximo atingido dos frutos desses clones foram 7,29; 7,87; 7,78; 6,74; 7,08; 7,39; 7,67 e 6,86 cm, respectivamente.

Os frutos apresentaram taxa máxima de crescimento absoluto para o comprimento do fruto com valores de 0,247 cm dia⁻¹ (59 DAA e acúmulo de 660 GD); 0,220 cm dia⁻¹ (52 DAA e acúmulo de 574 GD); 0,244 cm dia⁻¹ (66 DAA e acúmulo de 729 GD); 0,269 cm dia⁻¹ (47 DAA e acúmulo de 523 GD); 0,207 cm dia⁻¹ (49 DAA e acúmulo de 543 GD); 0,281 cm dia⁻¹ (63 DAA e acúmulo de 696 GD); 0,263 cm dia⁻¹ (58 DAA e acúmulo de 650 GD) e 0,257 cm

dia⁻¹ (46 DAA e acúmulo de 510 GD) para os clones PS 1319, CEPEC 2006, CCN 51, CEPEC 2005 e 2002, Ipiranga 1, PH 16 e SJ 02, respectivamente.

Portanto, o clone SJ 02 pode ser considerado o clone mais precoce uma vez que atingiu o pico de crescimento (46 DAA e acúmulo de 510 GD) antes dos demais clones. Por outro lado, levando em conta o mesmo critério, o clone CCN 51 pode ser considerado o clone mais tardio.

O clone Ipiranga apresentou o maior pico da taxa de crescimento absoluto em relação ao comprimento do fruto. Isto confirma as observações que mostram que este clone produz frutos mais compridos que os demais clones em estudo. O CEPEC 2002, por sua vez, apresentou o menor pico da taxa de crescimento absoluto em relação ao comprimento do fruto que resulta em frutos menos compridos em comparação com os demais clones. Estes resultados também são confirmados pelos modelos ajustados. E conforme os parâmetros do modelo de comprimento do fruto.

Os resultados deste trabalho indicam que as taxas de crescimento atingiram seu máximo em mais da metade do tempo de crescimento total do fruto. De acordo com as equações ajustadas, os valores dos pontos de inflexão da equação de diâmetro são sempre maiores que da equação de comprimento. Este valor corresponde à data onde ocorre a inflexão da curva e que, portanto, a inclinação da curva começa a diminuir. Isto indica que os frutos atingem primeiro o comprimento máximo para depois atingir o diâmetro máximo. Estas duas características são usadas, mesmo que visualmente, na determinação do ponto de colheita dos frutos. No caso dos cultivos a pleno sol, em especial em regiões semiáridas, a determinação correta com ponto de colheita tem sido um desafio. Portanto, o uso destas variáveis pode auxiliar na determinação correta deste ponto.

Os resultados obtidos mostram que a taxa de crescimento relativo para ambos os clones de cacaueteiro apresenta valores máximos aos 21 GD (2 DAA) (Figura 7), variando de 0,0379 a 0,0461 cm cm⁻¹ dia⁻¹, e diminuem continuamente até os 954 GD (92 DAA), período final avaliado, com valores mínimos variando de 0,0096 a 0,0102 cm cm⁻¹ dia⁻¹. Essa variação está de acordo com o esperado, uma vez que qualquer incremento em comprimento ao longo de determinado período está diretamente relacionado ao tamanho alcançado no período anterior. A manutenção da TCR mais elevada por mais tempo resulta em maior crescimento dos frutos e conseqüentemente em frutos maiores em comprimento. Os frutos dos clones que conseguem manter TCR mais elevadas por mais tempo atingem maior tamanho ao final da curva de crescimento. Isto foi observado nos frutos do clone Ipiranga apesar dos maiores

valores iniciais terem sido dos frutos do clone CEPEC 2005, mas que apresentou uma queda brusca na TCR ao longo das avaliações.

O tempo estimado da antese até a maturação do fruto foi em média de 92 dias. Estes resultados indicam a possibilidade de duas ou três safras por ano no semiárido desde que seja feito manejo da floração, uma vez que os dados mostram fases bem mais curtas e produção precoce em comparação com as regiões tradicionais de cultivo do cacau. Para todos os clones testados utilizou-se a temperatura-base de 14,2°C, sendo obtido acúmulo médio de graus-dia para o período antese-maturação, de 954 graus-dia. Milde e Sgrillo (1993) obtiveram acúmulo de 1.403,4 graus-dia, com a mesma temperatura-base na região de Itabuna (Bahia). Provavelmente, as altas temperaturas observadas durante o crescimento dos frutos, que são comuns na região do trabalho, reduziram as fases de crescimento do fruto no semiárido promovendo a produção mais precoce.

Taxas de crescimento do fruto elevadas foram verificadas por Daymond e Hadley (2008) em maiores temperaturas. Estes autores observaram crescimento do fruto em ambiente quente da Malásia atingindo o ponto de colheita com média de 113 dias que também é inferior quando comparado com as regiões tradicionais de cultivo no Brasil e Gana (média de 126 e 128 dias, respectivamente). Almeida e Valle (1995) encontraram taxa máxima de crescimento do fruto do cacau entre 90 e 105 dias, enquanto Muniz et al. (2017) aos 92 dias. Neste estudo, a taxa máxima de crescimento foi antecipada ocorrendo entre 46 e 66 dias para os clones estudados.

Os frutos de cacau são climatéricos (ALMEIDA e VALLE, 1995). Porém, se os frutos forem colhidos antes de atingir a maturidade fisiológica há perda de peso de até 20%, em relação à colheita de frutos maduros. Além disso, esses frutos têm reduzido teor de açúcar na polpa o que afeta o processo fermentativo e, conseqüentemente, a qualidade final do produto (MARTINS et al., 2011). Por outro lado, aqueles frutos deixados na planta até a mudança completa de cor da casca, que é específica para cada clone, têm resultado em elevada incidência de viviparidade. Portanto, o ponto de colheita dos frutos nas regiões semiáridas e nos cultivos a pleno sol precisará ser ajustado e as avaliações de crescimento dos frutos podem ajudar nesta definição.

No local de condução do presente trabalho (região semiárida) as temperaturas médias máximas durante a condução do experimento ficaram na faixa de 33°C, enquanto as temperaturas médias mínimas em torno de 20°C, e umidade relativa do ar menor foi de 32%. Mais importante do que a precipitação anual total para a adequação climática da cultura perene como o cacau é, no entanto, a distribuição de chuvas e, especificamente, a duração

da estação seca (CARR e LOCKWOOD, 2011; WOOD e LASS, 2001). A estação seca do semiárido é variável, mas dura, no local do estudo, em média oito meses secos consecutivos (INMET, 2019) e durante os meses chuvosos a precipitação é considerada irregular. Os fatores climáticos que poderiam se tornar limitantes para o cultivo do cacau a pleno sol no semiárido do ponto de vista climático seriam a incidência de ventos fortes e estação seca prolongada. No entanto, estratégias no manejo da cultura podem reduzir a vulnerabilidade do cacau a essas mudanças como o uso de quebra-ventos e irrigação. Devido o adensamento da área de plantio (3 x 2 m), houve rápido fechamento e/ou sombreamento entre e dentro das linhas de plantio, demonstrando a necessidade da poda, como instrumento de rejuvenescimento e manutenção da produtividade do cacau.

Conclusões

Os clones de cacau cultivados a pleno sol no semiárido iniciam o florescimento e frutificação 540 DAP, com picos de florescimentos e lançamentos foliares no mês de fevereiro (810 DAP) no terceiro ano de cultivo.

Os clones de cacau apresentam pico de bilração no mês de junho (930 DAP) e a época de maior pecamento de frutos para todos os clones testados no semiárido ocorre no mês de setembro (1020 DAP).

Os frutos de cacau produzidos a pleno sol e em clima semiárido têm crescimento sigmoidal atingindo o ponto de colheita com o acúmulo de 954 graus-dia (92 dias após a antese).

Os ajustes nas práticas do manejo no semiárido podem proporcionar duas ou três safras por ano com pico de bilração diferindo das regiões tradicionais de cultivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pela parceria, ao Instituto Biofábrica pelas doações das mudas, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (COD 001) pela concessão de bolsas e apoio financeiro.

Referências

- AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S.; MARINATO, C. S. Botânica e morfologia. In: SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S.; AGUIAR, M. A. G. (Eds.). **Cacau: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016. p. 111-122.
- ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Análise de crescimento do fruto e das sementes de sete genótipos de *Theobroma cacao* L. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 7, p. 909-916, 1995.
- ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 425-448, 2007.
- ALMEIDA, H. A.; MACHADO, R. C. R.; VILA NOVA, N. A.; SILVA, W. S. Influência de elementos meteorológicos no lançamento foliar do cacauzeiro. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 17, n. 3, p. 163-174, 1987.
- ALMEIDA, R. L. S.; CHAVES, L. H. G.; SILVA, E. F. Growth of Cocoa as Function of Fertigation with Nitrogen Iranica. **Iranica Journal of Energy & Environment**, v. 3, n. 4. p. 385-389, 2012.
- ARAÚJO NETO, S. E.; PRAÇA, E. F.; CARVALHO, E. F.; ALVES, R. E.; MENEZES, J. B.; MORAIS, E. A. A. Manilka achras (Mill.) Fosberg), Desenvolvimento de frutos de sapotizeiro (Manilka achras (Mill.) Fosberg). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 25-29, 2001.
- ARÉVALO, E.; RAM, A.; VALLE, R.R. Integração de práticas de manejo no cultivo do cacauzeiro. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauzeiro**. Brasília, DF: CEPLAC, 2012. p. 545-595.
- BALASIMNHA, D. Water relations, growth and other indicators of plant water stress in cocoa under drought. IN: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EM CACAO, 10., Santo Domingo, 1987. **Proceedings...** Actas. Lagos, Cocoa Producers' Alliance, 1988. p. 215-217.
- BEGIATO, G. F.; SPRES, E. E.; CASTRO, L. T.; NEVES, M. F. Análise do sistema agroindustrial e atratividade dos Vales do São Francisco para a cacauicultura irrigada. **Custos e @gronegocio on line**, v. 5, n. 3, p. 55-87, 2009.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 257-261, 2003.
- DAYMOND, A. J.; HADLEY, P. Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 153, n. 2, p. 175-185, 2008.

GANRY, J. Calcul des “sommées de vitesse de développement” et des températures moyennes journalières à partir du minimum et du maximum journaliers de température, sous climats tropical et équatorial. **Fruits**, Paris, v. 33, p. 221-236, 1978.

HUNT, R. **Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners**. Springer Nature, 2012. 112 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 25 jan. 2019.

LEITE, J. B. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; MARIVALDO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo do cacau no semiárido do Brasil. **Agrotropica**, Itabuna, v. 24, n. 2, p. 85-90, 2012.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S. Physiological indexes and initial growth of papaya plants (*Carica papaya* L.) under greenhouse conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, 2007.

LIZASO, J. L.; BATCHELOR, W. D.; WESTGATE, M. E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1-17, 2003.

MARROCOS, P. C. L.; PACHECO, R. G.; CHEPOTE, R. E. S.; RAM, A.; ROSA, I. S.; SODRÉ, G. A.; MAIA, V. B.; NAKAYAMA; LIMA, J. L. C; ROCHA, J. B. **Normas para plantio de mudas de cacau propagadas por estaquia: atualização**. 3. ed. Ilhéus: CEPLAC, 2005. 30 p.

MARTINS, J. M.; SANTOS, J. H. F.; SILVA, W. S.; SILVA, V. B.; ARRUDA, J. A. P.; NASCIMENTO, J. A. R.; DORTAS, L. C.; FREITAS, A. J.; RAMOS, A. A. **Melhoria da qualidade de cacau**. Ilhéus: CEPLAC/CENEX, 2012. 45 p.

MILDE, L. C. E.; SGRILLO, R. B. Parâmetros para modelagem do crescimento do fruto do cacau. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 7, p. 759-765, 1993.

MOTAMAYOR, J. C.; RISTERUCCI, A. M.; LOPEZ, P. A.; ORTIZ, C. F.; MORENO, A.; LANAUD, C. Domesticação cacaueira I: a origem do cacau cultivado pelos maias. **Heredity**, Reino Unido, v. 89, n. 5, p. 380-386, 2002.

MULLER, M. W.; LIMA, A. A.; ALVIM, P. T. Controle do fluxo foliar e floração do cacau *Theobroma cacao* L. com o uso de anelamento e biorreguladores. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 13., 2001. **Proceedings...** Kota Kinabalu, Malaysia, 2001. p. 1259-1265.

MULLER, M. W.; LIMA, A. A.; ALVIM, P. T. Influência do paclobutrazol e do anelamento aplicados em diferentes estádios fenológicos do cacau no controle da floração. **Agrotropica**, Itabuna, v. 16, n. 3, p. 105-110, 2004.

MULLER, M. W.; VALLE, R. R. Ecofisiologia do cultivo do cacau. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacau**. Brasília, DF: CEPLAC, 2012. p. 31-66.

MUNIZ, J. A.; SILVA NASCIMENTO, M.; FERNANDES, T. J. Modelos não lineares na descrição do crescimento de frutos de cacau com violações dos pressupostos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2017.

NIEMENAK, N.; CILAS, C.; ROHSIUS, C.; BLEIHOLDER, H.; MEIER, U.; LIEBEREI, R. Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 156, n. 1, p. 13-24, 2010.

SODRE, G. A.; LEITE, J. B. V. Sistema Candelabro: proposta para cultivo intensivo de cacauero. **Agrotropica**, Itabuna, v. 30, n. 2, p. 135-146, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. Brasília: CEPLAC/CEPEC, 2012. 688 p.

VALLE, R. R.; ALMEIDA, A. A. F. Growth reduction effects of paclobutrazol applied at different cacao seedling stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 11-12, p. 1911-1917, 1991.

WHITE, D.; BATTAGLIA, M.; MENDHAM, D. S.; CROMBIE, D. S.; KINAL, J.; MCGRATH, J. F. Observed and modified leaf area index in *Eucalyptus globulus* plantations: test of optimality and equilibrium hypotheses. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 831-844, 2010.

Figuras e tabelas

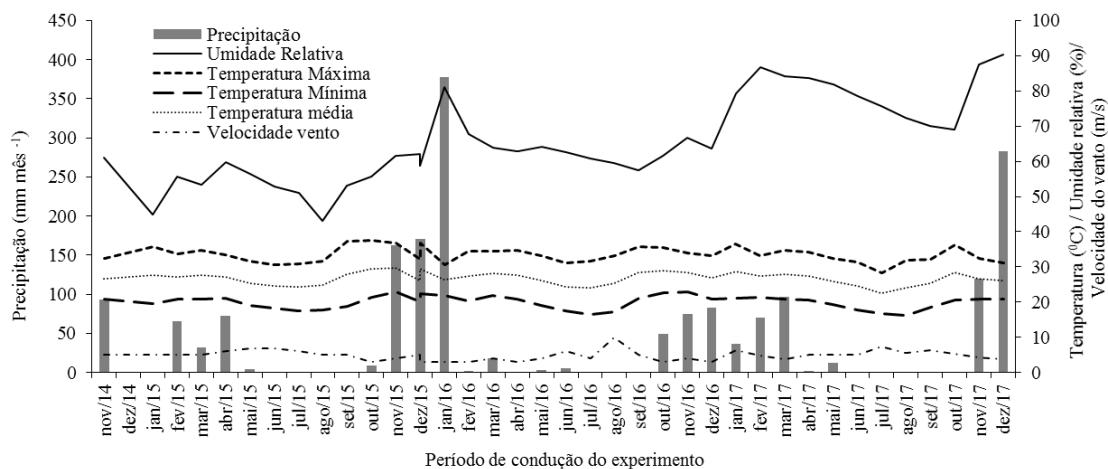


Figura 1 - Temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e velocidade do vento durante o período experimental (INMET, 2018).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para variáveis de crescimento de planta de clones de cacauzeiros cultivados no semiárido

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		AP	DC	IAF
Clone (C)	7	1826,696 ^{ns}	23,797 ^{ns}	1,609 ^{ns}
Bloco	2	3196,480	161,586	0,294
Resíduo 1	14	1319,808	69,097	0,361
Época (E)	7	43604,058**	3437,743**	21,166**
C x E	49	79,990 ^{ns}	5,493 ^{ns}	0,195 ^{ns}
Resíduo 2	112	50,099	4,290	0,359
Total corrigido	191			
CV 1 (%)		25,00	33,54	19,25
CV 2 (%)		4,87	8,36	19,20
Média Geral		145,32	24,78	3,12

**, *:significativo pelo teste F ao nível de 1 e 5%, respectivamente. ^{ns}: não significativo ao nível de 5% de significância. AP: altura de plantas (cm), DC: diâmetro do caule (mm), IAF: índice de área foliar.

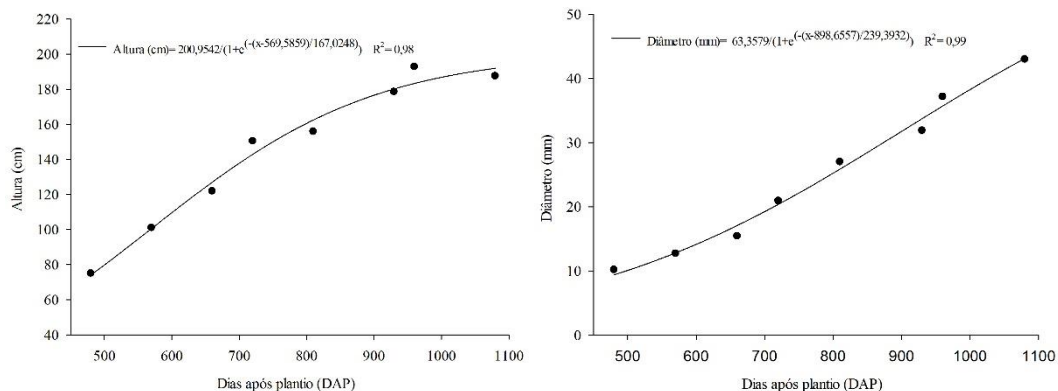


Figura 2 - Altura de planta (cm) e diâmetro do caule (mm) de oito clones de cacauero cultivados no semiárido.

Tabela 2 - Índice de área foliar (IAF) de oito clones de cacauero cultivados no semiárido em função das épocas avaliadas

EPOCA (DIAS)	IAF
480	2,33 d
570	2,84 c
660	2,48 d
720	4,51 a
810	4,06 b
930	3,93 b
960	1,86 e
1080	2,98 c

Médias seguidas por mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

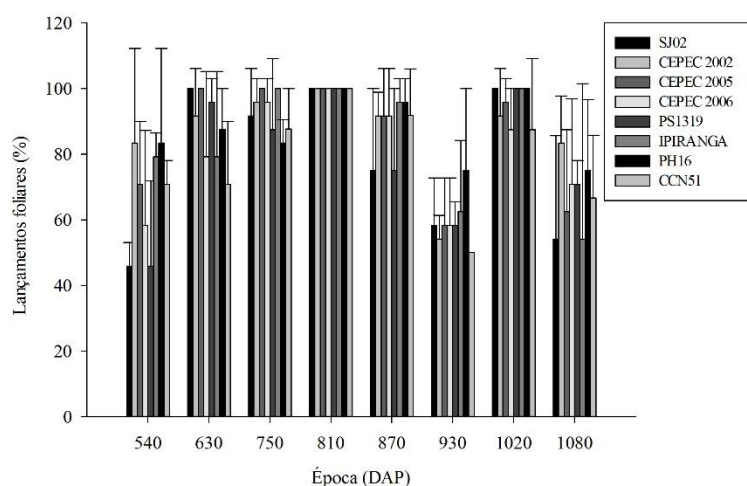


Figura 3 - Percentual de lançamentos foliares de oito clones de cacauero no primeiro ciclo de cultivo em função dos DAP (dias após o plantio) cultivados sob irrigação e a pleno sol no semiárido.

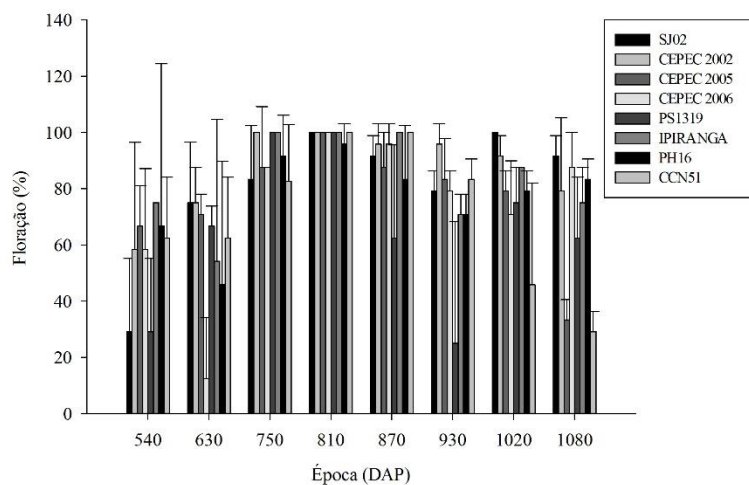


Figura 4 - Percentual de plantas floridas em oito clones de cacauero no primeiro ciclo de cultivo em função dos DAP (dias após o plantio) cultivados sob irrigação e a pleno sol no semiárido.

Tabela 3 - Teste Qui-quadrado de independência para as variáveis bilros saudáveis e bilros doentes em clones de cacaueros cultivados no semiárido

Época	Bilros saudáveis		Bilros doentes	
	χ^2	p valor	χ^2	p valor
	231,68	$2,2^{-16}$	225,51	$2,2^{-16}$

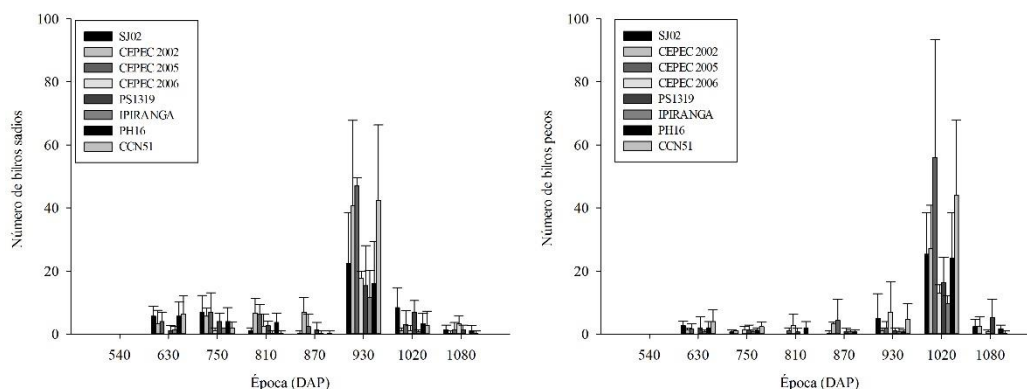


Figura 5 - Número de bilros saudáveis e número de bilros doentes de oito clones de cacauero no primeiro ciclo de cultivo em função dos DAP (dias após o plantio) cultivados sob irrigação e a pleno sol no semiárido.

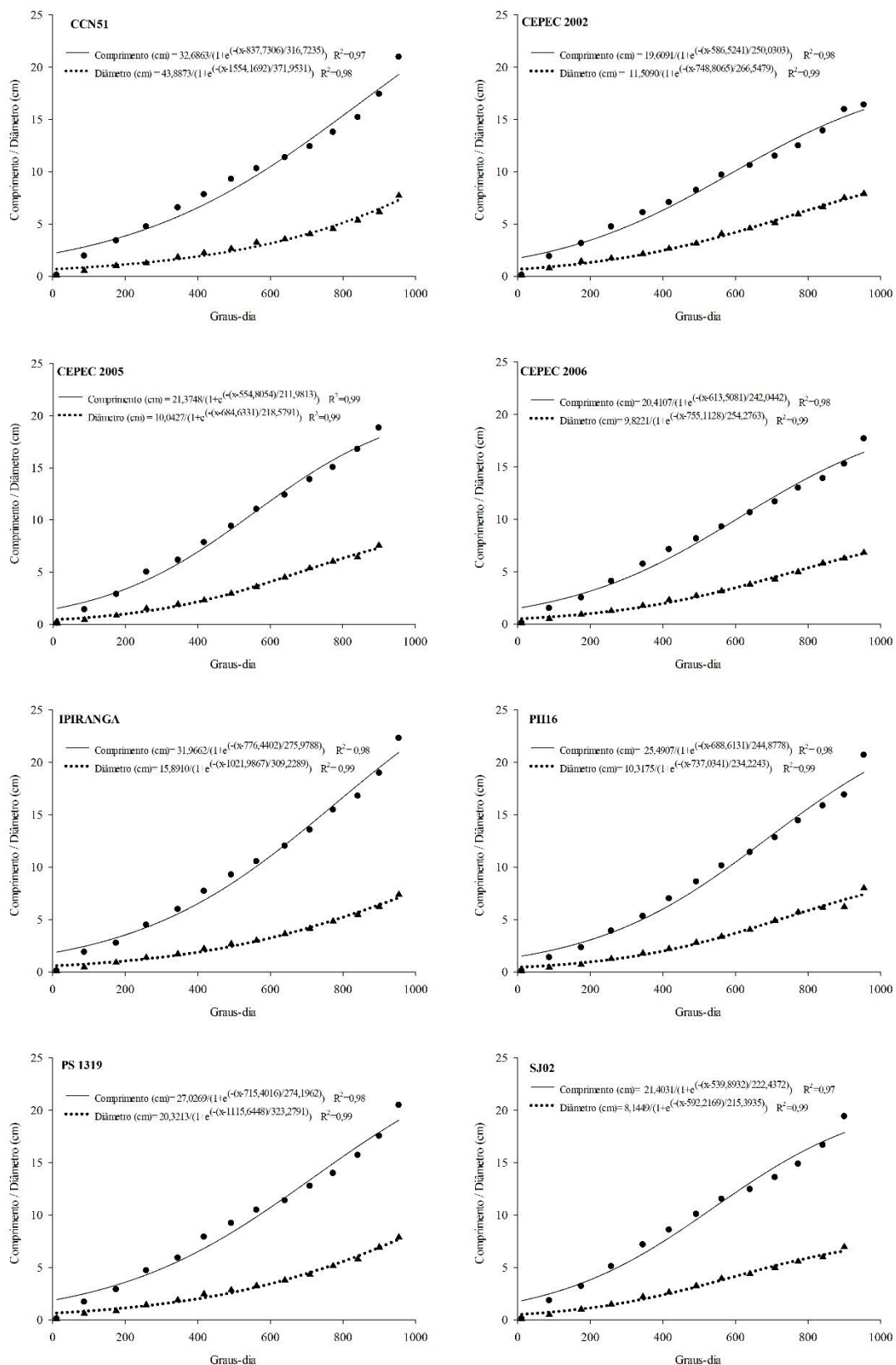


Figura 6 - Comprimento e diâmetro de frutos de oito clones de cacauero cultivados no semiárido em função do acúmulo de graus-dia.

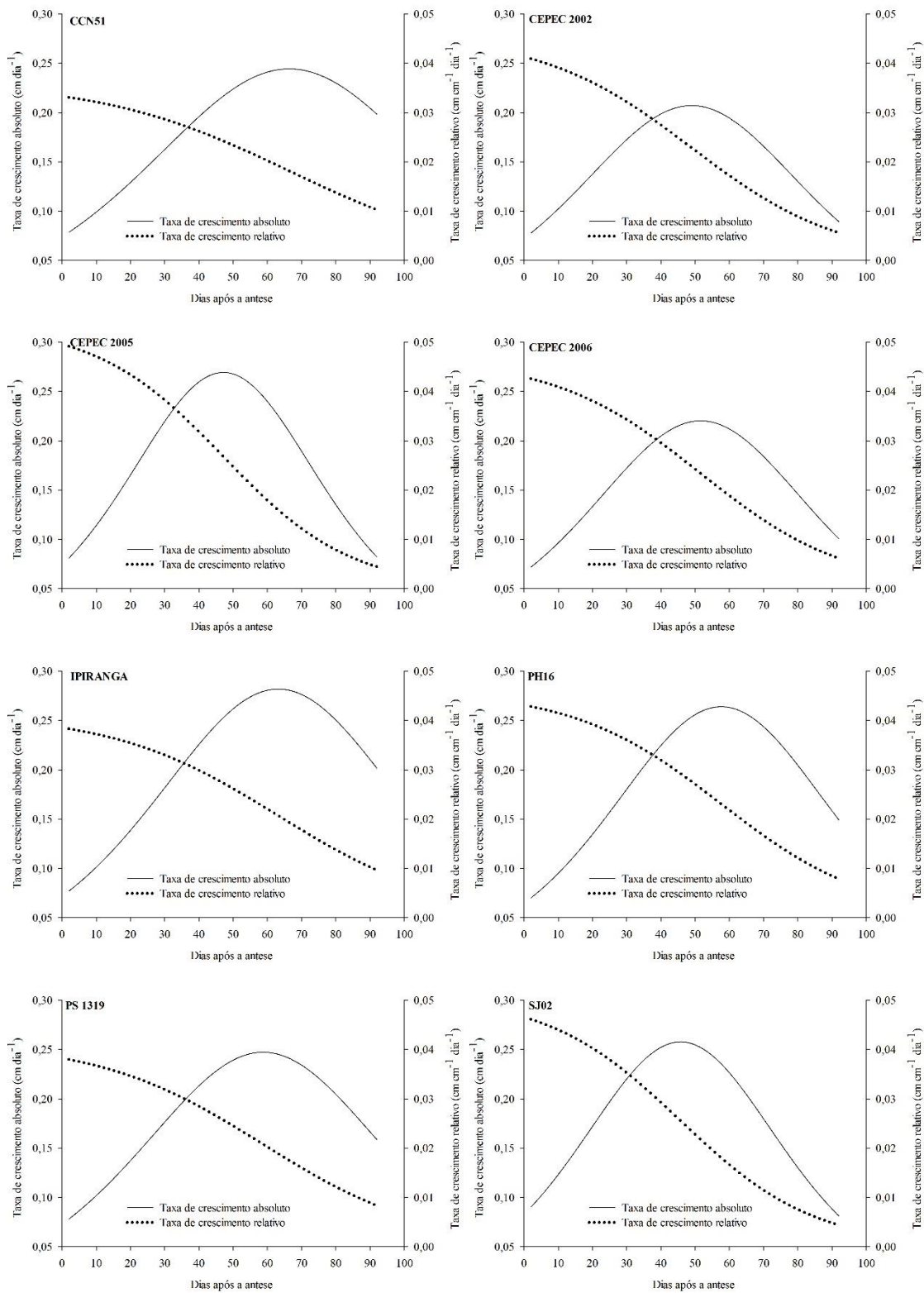


Figura 7 - Taxa de crescimento absoluto e relativo do comprimento de frutos de cacaeiro CCN 51, CEPEC 2002, 2005 e 2006, Ipiranga 1, PH 16, PS 1319 e SJ 02 cultivados no semiárido.

CAPÍTULO 2

Produção e qualidade de frutos do cacaveiro produzidos a pleno sol em região semiárida

(Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Fruticultura)

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DO CACAUEIRO PRODUZIDOS A PLENO SOL EM REGIÃO SEMIÁRIDA

Resumo: O cultivo do cacau é tradicionalmente realizado em regiões dos trópicos úmidos e em sistemas sombreados ou consorciados. Porém, existe a possibilidade do cultivo a pleno sol em regiões de trópicos secos ou semiáridas. Assim objetivou-se avaliar a produção e qualidade de frutos e amêndoas de cacauzeiros cultivados a pleno sol no semiárido em duas safras de cultivo. O estudo foi delineado em blocos casualizados, com três repetições, em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os clones SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51 e nas subparcelas duas condições de disponibilidade de água no solo sendo: faixa com irrigação plena (fileira de plantas com microaspersores próximos, proporcionando 100% da água disponibilizada ao solo) e faixa que recebeu 25% a menos de água em relação à primeira (fileira com microaspersores afastados, de modo a disponibilizar 75% da água no solo). Foram selecionadas dez variáveis para análise multivariada: massa do fruto, massa da polpa, comprimento de semente, número de dias da antese à colheita, número de sementes por fruto, massa de semente fresca, número de frutos por planta, altura de planta, produtividade de amêndoas secas, diâmetro do caule. Para análise univariada foram utilizadas as variáveis: massa de uma semente seca, massa de sementes secas por fruto, FF/AS (razão entre massa do fruto fresco e massa de amêndoas secas por fruto), índice de fruto, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, relação sólidos solúveis/acidez titulável da polpa e produção acumulada. Todos os clones de cacauzeiro avaliados, na condição de pleno sol no semiárido, têm viabilidade agrônômica de cultivo. O clone CEPEC 2005 apresenta resultados superiores para produtividade (1.340 kg ha^{-1}) e produção de amêndoas secas por planta ($1.741 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na primeira safra de cultivo, não ocorrendo diferenças significativas entre os genótipos e as condições de água no solo para estas características na segunda safra. A disponibilidade de água no solo de 100 e 75% não afeta a produção do cacauzeiro cultivado a pleno sol no semiárido. Os clones CEPEC 2002, CEPEC 2005, PS 1319 e CCN 51 apresentam valores superiores para sólidos solúveis da polpa. As características agrônômicas: número de frutos e produtividade de amêndoas secas; número de sementes e comprimento de sementes; número de frutos e diâmetro do caule; produtividade e diâmetro do caule; massa da polpa e massa do fruto; massa da polpa e massa da semente fresca, se correlacionam nos clones de cacauzeiro. A produtividade de amêndoas secas e produção média por planta entre os clones testados aumentam 21% em relação à primeira safra. A produção

acumulada do clone CEPEC 2005 é maior quando a disponibilidade de água no solo é reduzida para 75%.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, produtividade, pós-colheita, amêndoas, variáveis canônicas.

Abstract: The cultivation of cocoa is traditionally carried out in regions of the humid tropics and in shaded or intercropped systems. However, there is the possibility of cultivation in full sun in regions of dry or semi-arid tropics. Thus, the objective was to evaluate the production and quality of cacao fruits and almonds grown in full sun in the semiarid region in two growing seasons. The study was designed in randomized blocks, with three replications, in subdivided plots, with clones in the plots SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51 and in the subplots two conditions of water availability in the soil being: strip with full irrigation (row of plants with micro sprinklers nearby, providing 100% of the water available to the soil) and strip that received 25% less water compared to the first (row with micro-sprinklers spread out to make 75% of the water available in the soil, ten variables were selected for multivariate analysis: fruit mass, pulp mass, seed length, number of days before harvest, number of seeds per fruit, mass of fresh seed, number of fruits per plant, plant height, dry almond productivity, stem diameter. For univariate analysis, the following variables were used: dry seed mass, dry seed mass per fruit, FF / AS (ratio of fresh fruit mass to dry almond mass per fruit), fruit index, soluble solids, titratable acidity, pH, soluble solids / titratable acidity ratio of the pulp and accumulated production. All cacao clones evaluated, in the condition of full sun in the semiarid region, have agronomic cultivation viability. The CEPEC 2005 clone shows superior results for productivity (1.340 kg ha^{-1}) and production of dried almonds per plant ($1.741 \text{ g plant}^{-1} \text{ year}^{-1}$) in the first crop, there are no significant differences between genotypes and soil water conditions for these characteristics in the second crop. The availability of water in the soil of 100 and 75% does not affect the production of cocoa grown in full sun in the semiarid region. The CEPEC 2002, CEPEC 2005, PS 1319 and CCN 51 clones show higher values for soluble pulp solids. Agronomic characteristics: number of fruits and yield of dried almonds; number of seeds and length of seeds; number of fruits and stem diameter; productivity and stem diameter; pulp mass and fruit mass; pulp mass and fresh seed mass correlate in cacao clones. The productivity of dried almonds and average production per plant among the tested clones

increased by 21% compared to the first harvest. The accumulated production of the CEPEC 2005 clone is higher when the availability of water in the soil is reduced to 75%.

Keywords: *Theobroma cacao*, productivity, post-harvest, almonds, canonical variables.

Introdução

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é considerado uma das culturas perenes mais importantes do mundo com produção total de 4,6 milhões de toneladas em 2018 (ICCO, 2019). Aproximadamente, 70% desta produção de cacau têm origem nos seguintes países: Costa do Marfim, Gana, Nigéria e Camarões (ICCO, 2019). O Brasil foi o sétimo maior produtor de cacau em 2018 com produção de 255.184 toneladas de amêndoas secas, numa área de 685.412 ha (IBGE, 2019) e, atualmente, passou de exportador na década de 1980 a importador de amêndoas.

A cultura do cacauzeiro é reportada em diversos estudos como exigente em umidade no solo para o pleno sucesso no crescimento, desenvolvimento e na produção de frutos. O cacauzeiro é uma planta típica de regiões de clima tropical úmido, que possui um elevado consumo hídrico e muito sensível à falta de umidade do solo e a períodos prolongados de seca (CADIMA, 1971; WOOD e LASS, 2001). Exige precipitações pluviométricas acima de 1.300 mm anuais bem distribuídos ao longo do ano, de modo a satisfazer suas necessidades em suas diferentes fases (SCERNE, 1988). A chuva tem sido um dos principais fatores climáticos responsáveis pelas variações de produtividade (ALVIM, 1988; BALASIMHA, 1988; MACHADO e ALVIM, 1981; SCERNE, 1988). Além da chuva, a temperatura do ar é outro fator importante no processo produtivo, pois afeta expressivamente a atividade metabólica, a evapotranspiração e, conseqüentemente, o consumo de água pela planta.

No cacauzeiro, as taxas fotossintéticas diminuem quando as temperaturas ótimas são excedidas, afetando o crescimento e o desenvolvimento (ALMEIDA e VALLE, 2007). A temperatura máxima tolerada pelo cacauzeiro é de 38°C (FAO, 2007).

O cacauzeiro pode ser cultivado sem sombra desde que o suprimento de água e nutrientes e o manejo geral sejam adequados (ALMEIDA e VALLE, 2007). O sistema de cultivo do cacauzeiro a pleno sol é praticado no Equador há mais de 50 anos (LEITE et al., 2012). Este modelo de sistema intensivo de produção de cacau utiliza material genético com alto potencial de produção, altos níveis de adubação, irrigação e mecanização. Além disso, a produtividade pode ter incremento de 40 a 100% (LEITE et al., 2012). Resultados obtidos no

Norte de Queensland, na Austrália, em projeto de pesquisa de oito anos, com clones, a produtividade de amêndoas alcançada em plantas jovens foi entre 1,5 e 2,7 t ha⁻¹ (DICZBALIS et al., 2010).

Com o avanço das tecnologias de produção agrícola nos últimos anos, há possibilidade de implantação com sucesso da cultura em áreas consideradas não tradicionais devido, principalmente, às novas técnicas de irrigação, fertirrigação, manejo e do material genético adaptado (LEITE et al., 2012). Entre essas possibilidades de expansão, destaca-se o semiárido brasileiro. Esta região tem uma área de 982.563 km² (MIN - Resolução 107, 2017), o que corresponde a 18,2% do território nacional onde existem perímetros de irrigação públicos e privados que utilizam alta tecnologia na produção agrícola.

No semiárido de Minas Gerais há um grande polo fruticultor irrigado utilizando alta tecnologia na produção de frutas, especialmente da cultura da banana nos Projetos de irrigação do Gortuba e do Jaíba. São áreas com baixa precipitação e umidade relativa do ar que podem ser áreas de escape para as principais doenças do cacau como a vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) e monilíase (*Moniliophthora roreri*), além de favorecerem ao beneficiamento e a qualidade das amêndoas secas de cacau (LEITE et al., 2012).

A ampliação das áreas de cultivo para regiões não tradicionais pode proporcionar aumento da produção e tornar o Brasil exportador de amêndoas e atender a mercados de consumo crescente em países como Índia e China.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a produção e qualidade de frutos e amêndoas de cacau cultivados no semiárido em duas condições de disponibilidade de água no solo.

Material e métodos

O experimento foi implantado em novembro de 2014, na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, no município de Janaúba, MG, localizada a 15°43'49" S, 43°19'22" O, com 533 metros de altitude. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo e tinha os seguintes atributos na camada 0-0,2 m antes da implantação do experimento: pH (em água) 5,4; matéria orgânica 0,9 dag kg⁻¹; P e K (Mehlich-1) 3,7 e 72,0 mg dm⁻³, respectivamente; Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L⁻¹) 1,3, 0,5 e 0,3 cmol_c dm⁻³, respectivamente; H+Al (pH SMP) 1,8 cmol_c dm⁻³; SB 2,1 cmol_c dm⁻³ e V de 53%, P-rem 39,6 mg L⁻¹; CE 0,5 dS m⁻¹; areia, silte e argila 64,9 e 27 dag kg⁻¹, respectivamente. Os dados meteorológicos, registrados durante o período de condução do experimento, encontram-se na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso no esquema em parcelas subdivididas (8 x 2), tendo nas parcelas oito tratamentos referentes aos clones de cacau e nas subparcelas duas condições de disponibilidade de água no solo, com três repetições. Os clones estudados foram: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51. Esses clones foram escolhidos porque reúnem características adequadas como: autocompatibilidade, alta produtividade e qualidade das amêndoas para processamento industrial. Os clones foram dispostos nas parcelas e as duas condições de água no solo nas subparcelas sendo: faixa com irrigação plena (fileira de plantas com microaspersores próximos, proporcionando 100% da água disponibilizada ao solo) e faixa que recebeu 25% a menos de água em relação à primeira (fileira com microaspersores afastados, de modo a disponibilizar 75% da água no solo, verificados pelo monitoramento periódico de umidade do solo). Cada subparcela foi composta por 3 plantas úteis e o experimento foi montado com bordadura externa.

O espaçamento utilizado foi de 3 x 2 m entre linhas de plantio e plantas, respectivamente. O espaçamento dos microaspersores foi de 6 x 2 m, sendo um microaspersor com vazão média de 95,1 L h⁻¹ (à pressão média de 14 m.c.a) para cada duas plantas. O plantio foi realizado em área sombreada nas entrelinhas de bananal da cultivar Prata-Anã. Passados dois anos do plantio dos clones do cacauzeiro, o bananal foi totalmente eliminado e o experimento passou a ser conduzido na condição de pleno sol.

As recomendações de adubação foram feitas conforme Chepote et al. (2013). As mudas foram produzidas no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), de Uruçuca (BA), usando estaquia de ramos plagiotrópicos e método descrito por Sodré (2013) e transplantadas aos 7 meses para o campo. O controle manual/mecânico de ervas daninhas, poda de formação e manutenção, controle de pragas e controle de sombreamento foi feito de acordo com Marrocos et al. (2003). O plantio foi em box com uso de quebra-ventos com *Pennisetum purpureum*.

As irrigações foram realizadas por um sistema de microaspersão. O manejo da água da irrigação foi feito com o auxílio do aplicativo Irriplus[®] (MANTOVANI et al., 2009), com o qual se determinou a demanda hídrica do cacauzeiro (ET_c), utilizando-se o modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006) para o cálculo da ET_o. Os dados foram coletados de estação meteorológica localizada a 9 km do experimento. A eficiência de aplicação (E_a) foi estimada mediante avaliações do sistema de irrigação a campo (BERNARDO et al., 2008) sendo a média observada igual a 91%. Mediante os resultados de ET_c, E_a e vazão do emissor (q_e), foram calculadas lâminas líquidas, lâminas brutas acumuladas no turno de rega e tempos de

funcionamento do sistema de irrigação. Decorridas as aplicações, as lâminas líquidas foram recalculadas a partir dos tempos de funcionamento já que esses também foram ajustados periodicamente a partir da umidade do solo. A umidade do solo foi determinada pelo método-padrão de estufa (Bernardo et al.; 2008), sendo que as amostras foram coletadas mensalmente em três profundidades de 0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m em cada subparcela, sendo considerada como 0,40 m a profundidade efetiva do sistema radicular.

As avaliações foram feitas em duas safras de cultivo (aos três e quatro anos após o plantio). Três anos após o plantio, ou seja, na primeira safra foram avaliados o número de dias da antese à colheita, altura da planta (cm), medida com fita métrica desde a superfície do solo até o ápice do par de folhas mais jovem e diâmetro do caule (mm) efetuado com o auxílio de um paquímetro digital, a 10 cm da superfície do solo. Os frutos foram colhidos na maturidade fisiológica e posteriormente, encaminhados ao laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Janaúba, onde foram lavados e avaliados: a contagem do número de frutos por planta, a massa do fruto, massa da polpa, massa de semente fresca, utilizando-se uma balança semianalítica com precisão de 0,001 g, comprimento de semente efetuado com o auxílio de um paquímetro digital, e contagem do número de sementes por fruto.

Os frutos amostrados também foram submetidos à análise pós-colheita das seguintes características da polpa: sólidos solúveis (SS), determinada por refratometria, utilizando-se um refratômetro digital e os resultados expressos em °Brix; acidez titulável (AT), determinada por meio da titulação de 10 gramas de polpa triturada e homogeneizada com 90 mL de água destilada. Utilizou-se como titulante solução de NaOH 0,1 N, adicionando à amostra três gotas de fenolftaleína a 1% como indicador e os resultados expressos em eq. mg de ácido cítrico 100 mL⁻¹ de polpa; pH, medido em potenciômetro de bancada, com eletrodo de membrana de vidro calibrado com soluções de pH 4,0 e 7,0 (AOAC, 1997); relação sólidos solúveis /acidez titulável (ratio), dividindo-se a porcentagem de sólidos solúveis totais pela acidez titulável.

Posteriormente essas sementes foram fermentadas em cochos de madeira durante oito dias e secas em estufas de circulação de ar forçado a 40°C até atingirem 7-8% de umidade. Em seguida foram realizadas a pesagem das amêndoas com auxílio de balança eletrônica com precisão de 0,001 g para determinação da produtividade de amêndoas secas. A produtividade foi calculada multiplicando-se a produção por planta pelo número de plantas por hectare e foi expressa em kg ha⁻¹, no qual foi considerado o ano agrícola de 1 de abril de um ano a 31 de março do ano seguinte.

Também foram determinados as seguintes variáveis de produção: massa de uma semente seca (g), utilizando-se uma balança semianalítica com precisão de 0,001 g; massa de sementes secas por fruto (g) que foi determinada multiplicando-se o número de sementes por fruto pela massa de uma semente seca; relação FF/AS entre massa do fruto fresco e massa de amêndoas secas por fruto); índice de fruto (IF), que indica o número de frutos necessários para produzir 1 kg de amêndoas secas, sendo calculado pela razão entre o número médio de sementes por fruto e massa média de sementes, e produção de amêndoas secas por planta ($\text{g planta}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

No quarto ano de plantio, ou seja, segunda safra, foram avaliadas as características: produtividade em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, produção por planta ($\text{g planta}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e produção acumulada dos dois ciclos produtivos.

Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância univariada e multivariada, sendo esta última apenas para 10 características previamente definidas e listadas a seguir: massa do fruto, massa da polpa, comprimento de semente, número de dias da antese à colheita, número de sementes por fruto, massa de semente fresca, número de frutos por planta, altura de planta, produtividade de amêndoas secas, diâmetro do caule, quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Scott-Knott a 5% de significância na análise univariada. A dispersão dos escores da análise de variáveis canônicas foram utilizadas para identificar as características agrônômicas de maior importância relativa em gráfico de dispersão bidimensional. Correlações de Pearson entre as médias das características agrônômicas também foram determinadas e suas significâncias foram estimadas pelo teste t. A análise estatística foi feita com auxílio do software estatístico R (pacote ExpDes.pt).

Resultados e discussão

1ª Safra

Todos os clones de cacaueteiro estudados na condição de pleno sol produziram frutos e amêndoas no terceiro ano de cultivo (primeira safra). Não houve efeito significativo para a interação entre clones e a disponibilidade de água no solo, bem como para a disponibilidade de água no solo de forma isolada, com exceção da relação FF/AS e sólidos solúveis (Tabela 1). As plantas do cacaueteiro apresentaram o mesmo comportamento nas duas condições de disponibilidade de água disponível no solo.

No período de avaliação das duas safras de cultivo, a lâmina líquida média diária foi de 4,96 mm dia⁻¹. Souza (2018) determinou o coeficiente de cultura (kc) e consumo hídrico do cacaueteiro obtidos a partir do método do balanço hídrico de campo, na fase de florescimento e frutificação e observou que o Kc médio do cacaueteiro foi 0,98 e a evapotranspiração média da cultura foi de 3,97 mm por dia. A redução de água no solo não afetou a produção das plantas e uma linha lateral de microaspersores atendeu duas fileiras de plantas de bananeira e duas fileiras de plantas de cacaueteiro no primeiro ano de safra (terceiro ano de cultivo) no semiárido. Esta redução de água no solo representa economia no consumo de água da cultura no semiárido, uma vez que a região apresenta baixo índice pluviométrico (INMET, 2019).

As médias comparadas pelo teste de Scott-Knott apresentaram diferenças significativas para as variáveis produtividade, número de frutos e produção de amêndoas secas por planta (Tabelas 2 e 3) entre os clones testados. Para a produtividade e produção de amêndoas secas houve a separação dos clones em 3 grupos, enquanto para o número de frutos houve a formação de 2 grupos.

Para a característica produtividade de amêndoas secas, o grupo 1 foi formado pelo clone CEPEC 2005, sendo superior em relação aos demais clones dos outros grupos, que produziu nessa primeira o triplo da média observada em região tradicional de cultivo. O grupo 2 foi formado pelos clones CEPEC 2002, CEPEC 2006 e CCN 51 e o grupo 3 com a menor média, pelos clones SJ 02, PS 1319, Ipiranga 1 e PH 16. A formação dos grupos para a produção de amêndoas secas em relação aos grupos formados para a produtividade diferiu apenas para o clone CCN 51 que foi incluído no grupo com menor valor de média.

Para a característica número de frutos, o grupo 1, com médias superiores, foi formado pelos clones CEPEC 2002, CEPEC 2005 e CEPEC 2006. O grupo 2 foi formado pelos clones SJ 02, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16 e CCN 51.

O clone CEPEC 2005 deriva de uma família de alto valor genético, especialmente para produção, e resistência às doenças como podridão parda e vassoura-de-bruxa e tem apresentado produtividade satisfatória em vários locais testados (Arévalo et al., 2012; CEPLAC, 2018), demonstrando também boa adaptação no semiárido no cultivo a pleno sol. Estes resultados confirmam a estabilidade deste clone nos diversos ambientes.

A baixa produtividade de amêndoas secas das plantas dos clones que formaram o grupo 3, provavelmente foram decorrentes do baixo número de frutos por plantas produtivas das parcelas dos clones SJ 02, PS 1319, Ipiranga 1 e PH 16, além de ser mais tardios do ponto de vista de entrada em produção. Os clones de cacaueteiro apresentaram como característica desfavorável para as condições de cultivo no semiárido, o diâmetro dos caules finos e

associados à incidência de ventos constantes e por muitas vezes fortes (acima de 5 m s^{-1}) (INMET, 2019), proporcionaram tombamentos de plantas e conseqüentemente perda de área produtiva. A ação dos ventos é um fator limitante para o crescimento e produção do cacau (LEITE et al., 2012). No entanto, uso de quebra ventos com diversas espécies tem contornado ou reduzido o problema.

Provavelmente os clones que produziram mais frutos foram menos afetados pelas condições climáticas prevaletentes durante o período experimental no semiárido. Outro fator a ser observado é a precocidade de produção que pode variar entre os materiais genéticos.

As variações na forma da amêndoa, como o comprimento, largura, espessura e massa, em cacau, têm sido relacionadas à origem genética (CLEMENT et al., 2003), sendo que genética e fatores ambientais podem interferir no rendimento de uma planta (LEITE et al., 2012). A variável semente é de grande importância na avaliação de plantas de cacau, uma vez que é o indicador de produtividade de amêndoas da cultura. Assim, o perfil agrônômico do grupo 1 torna-se mais adequado, uma vez que é caracterizado por maior produtividade de amêndoas secas que os grupos 2 e 3. Os clones CEPEC 2002, CEPEC 2006 e CEPEC 2005 são caracterizados como plantas muito produtivas, portes médios, com frutos e sementes de tamanhos pequenos (CEPLAC, 2018).

As características físicas dos frutos (massas do fruto, da polpa e da semente) dos clones testados apresentaram valores abaixo dos observados em regiões tradicionais de cultivo (CEPLAC, 2018). Machado e Alvim, (1981), observaram que a deficiência hídrica causou redução na massa dos frutos e atribuíram ao fato do alongamento celular ser o processo fisiológico mais afetado pela deficiência de água. Almeida e Machado, (1993) concluíram que a manutenção da água armazenada no solo, a nível adequado, durante a fase de bilhação, é fundamental para assegurar boas produtividades do cacau. Porém, é preciso considerar o porte das plantas no terceiro ano de cultivo e o tipo de muda utilizada.

A massa de uma semente seca dos clones apresentou valores médios variando de 0,67 a 1,19 g. Geralmente essa variável apresenta valores próximos de 1 g (CEPLAC, 2018). Como o período antese-colheita ocorreu em menos tempo (média de 92 dias), comparando com outras regiões (140-175 dias), provavelmente não houve tempo para o mesmo acúmulo de reservas na semente. De acordo com a Federação de Comércio do Cacau (FCC – Federation of Cocoa Commerce) as amêndoas podem ser agrupadas em 4 tipos sendo: amêndoas padrão (sementes com peso acima de 1 g), amêndoas médias (sementes com peso entre 0,90 e 0,99 g), amêndoas pequenas (sementes com peso entre 0,83 e 0,90 g), amêndoas muito pequenas (sementes com peso inferior a 0,83 g). Considerando esta classificação

apenas as amêndoas produzidas pelo clone CCN 51 atingiram peso acima de 1 g (amêndoa padrão) enquanto os clones PH 16 e Ipiranga 1 produziram sementes médias. Os demais clones produziram amêndoas muito pequenas.

A produção média por planta ano⁻¹ foi de 0,8 kg para a primeira safra. A tendência é de aumento desses valores, à medida que a planta alcance estabilidade de produção. Para que isso aconteça é preciso que ela tenha estrutura de caule e ramos que suportem maiores quantidades de frutos. Como esta variável é um componente da produção o comportamento observado para ela foi o mesmo da produtividade (tabela 2) com a formação de 3 grupos pelo teste de Scott Knot ($p < 0,05$) com destaque para o clone CEPEC 2005. Koko et al. (2013) encontraram valores de 2,56 kg planta⁻¹ em cultivo a pleno sol, 1,21 kg planta⁻¹ para o cacau consorciado com laranjeiras e 1,13 kg planta⁻¹ consorciado com abacateiros na Costa do Marfim.

A massa de sementes secas fruto⁻¹ variou de 25,07 a 47,95 g, sendo variável componente do cálculo da relação FF/AS. A relação FF/AS é calculada entre a massa do fruto fresco e massa de amêndoas desse fruto após a fermentação e secagem para umidade de 7% e apresentou valores entre 8,77 e 15,95. Essa variável é usada para tomada de decisão na escolha do clone a plantar. O ideal é que estes valores variem de 5 a 40 a depender do clone e quanto menor a relação FF/AS mais rentável será o clone.

O índice de fruto (IF) que estima a quantidade de frutos necessários para produzir 1 kg de amêndoas secas variou de 22 a 41, com média de 33,25 frutos. Leite et al. (2012) no semiárido baiano obteve valores médios de IF de 23,9 e 16,1 para os clones PH 16 e CCN 51, respectivamente, aos 52 meses. Este índice permite ao cacauicultor realizar a previsão de safra baseando-se apenas na contagem direta dos frutos que serão colhidos o que possibilita a programação das atividades pós-colheita como fermentação e secagem das sementes bem como as atividades de comercialização.

Nas regiões tradicionais, a produção média atinge a estabilidade a partir do décimo ano com 28-35 frutos planta⁻¹ com mudas seminais (GRAMACHO et al., 1992; SILVA NETO; 2001; SOUZA JUNIOR, 1997;). Leite et al. (2012) obtiveram produção média de 23,2 frutos planta⁻¹ aos 52 meses do plantio e número médio de sementes por fruto entre 39,8 e 47,3 para os clones PH 16 e CCN 51, respectivamente. Neste trabalho, a média de frutos por planta observada para o clone CEPEC 2005 foi de 48,5 frutos aos 36 meses após o plantio (Tabela 3) devendo-se considerar os fatos das plantas ter se originado a partir de mudas de estaquia (ramos plagiotrópicos), irrigadas, adubadas e a pleno sol. Notou-se, portanto, que o modelo de cultivo intensivo do cacauero irrigado e a pleno sol, em região de clima semiárido

alcançou boa produção de frutos em menor tempo. Nas condições do litoral do Espírito Santo, Alexandre et al. (2015) observaram que os clones CCN 10 e CCN 51 apresentaram características superiores em relação à produção de amêndoas. Portanto, o ambiente de cultivo se mostra um importante fator no momento da recomendação ou escolha de qual clone plantar.

Considerando a análise de correlação entre as características agrônômicas dos clones de cacaueteiro estudados (tabela 4), observou-se que a correlação mais forte ocorreu entre número de frutos e produtividade de amêndoas secas (0,88), seguida de número de sementes e comprimento de sementes (0,64), número de frutos e diâmetro do caule (0,64), sendo todas significativas. Também se observou correlação significativa para produtividade e diâmetro do caule (0,60), polpa e fruto (0,53), polpa e massa da semente fresca (0,54).

O diâmetro de caule de cacaueteiros é uma variável que se correlaciona significativamente com precocidade e produção das plantas e, nesse contexto, Balasimha (1988) registrou incrementos de 30% no diâmetro do caule e de 50% na folhagem de cacaueteiros irrigados em relação aos cultivos não irrigados. Planta com diâmetro do caule maior produz maior número de frutos e apresenta maior produtividade de amêndoas secas. Frutos com maior massa de polpa tem maior número de sementes.

Almeida et al. (2012) avaliaram o efeito da irrigação e da adubação nitrogenada na altura de plantas e no diâmetro do caule do clone CCN 51 e verificaram redução do diâmetro em função do aumento do volume de água aplicada, resultado atribuído ao maior crescimento em altura das plantas devido a doses de N aplicadas via irrigação. Portanto, estímulos ao crescimento vegetativo podem proporcionar redução na produtividade, além de aumentar as chances de tombamentos de plantas em função da ocorrência de ventos. Por isso, as margens para erro nessas condições são mínimas e qualquer falta ou excesso podem ocasionar danos sérios com perdas de plantas e conseqüente perda de produtividade. O uso de quebra ventos para evitar a morte de brotações novas e quebra de caule ou de ramos torna-se prática obrigatória nos cultivos intensivos a pleno sol.

Para uma interpretação satisfatória da variabilidade encontrada entre os clones pela técnica de variáveis canônicas é necessário que as duas primeiras variáveis canônicas expliquem pelo menos 80% da variação total contida no conjunto de caracteres (CRUZ et al., 2004). Neste trabalho, as duas primeiras variáveis canônicas explicaram mais de 88% da variância total de caracteres analisados (Tabela 6). Assim é possível explicar de maneira satisfatória a variabilidade manifestada entre os clones considerados nesta avaliação, permitindo representá-las em um gráfico de dispersão bidimensional (Figura 2).

A análise de variância multivariada (MANOVA) não foi significativa ($p < 0,05$) para a interação clones e água no solo, bem como para as subparcelas (água no solo), indicando que os fatores atuam de forma isolada ao considerar a análise de forma multivariada (Tabela 5).

As importâncias relativas dos caracteres agronômicos nas variáveis canônicas podem ser verificadas na Tabela 6. Quanto maior o valor, maior associação tem a característica naquela variável canônica. As características que tiveram maior associação na variável canônica 1 (VC1) foram produtividade de amêndoas secas (0,80) e número de frutos por planta (0,70). Enquanto as características que tiveram maior associação na variável canônica 2 (VC2) foram altura de planta (-0,61) e número de frutos por planta (-0,51). Os clones CEPEC 2005, CEPEC 2006 e CCN 51 demonstraram maiores associações com maiores produtividades de amêndoas secas e maiores números de frutos (Figura 2). Os clones CEPEC 2005 e CEPEC 2006 apresentaram muito próximos, com plantas altas e produtivas. As características do clone CCN 51 como plantas produtivas e de menor porte são importantes, uma vez que exigirá menos mão-de-obra na poda das plantas e possibilidade de cultivos mais adensados. O clone PH 16 apresentou porte pequeno, enquanto Ipiranga 1 foi menos produtivo.

As características pós-colheita dos frutos de cacau diferiram entre os clones estudados apenas para sólidos solúveis (Tabelas 7). Os SS indicam a quantidade dos sólidos (açúcares) que se encontram dissolvidos na polpa dos frutos, aumentando com o avanço da maturação, com unidades em °Brix. As médias de SS para os clones CEPEC 2002, CEPEC 2005, PS 1319 e CCN 51 que formaram um grupo de acordo com o teste Scott-knot foram superiores a outro grupo formado pelos demais clones (Tabela 7). Estas diferenças entre os clones são observadas em razão das diferenças genéticas entre os materiais estudados.

As quantidades de água disponível no solo (75 e 100%) também influenciaram os sólidos solúveis (SS), sendo maior na quantidade de água reduzida a 75%. Estes resultados indicam que os frutos que recebem menor quantidade de água na fase de maturação podem obter maiores quantidades de açúcares na polpa, característica importante para o processo de fermentação das amêndoas e produção de subprodutos como o mel de cacau. A qualidade da polpa do cacau cultivado no semiárido apresentou valores médios superiores para pH (3,70) e SS (16,21°Brix) em relação aos valores mínimos de 3,40 para pH e SS (14 °Brix) para a cultura do cacau estabelecido pela Portaria N° 58 de 30 de agosto de 2016 pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

Anvoh et al. (2009) relacionaram o baixo pH e a alta acidez total encontrada na polpa de cacau à presença de vários ácidos orgânicos, tais como ácido cítrico e ácido acético.

Segundo esses autores, os ácidos preservam a cor, o sabor e as características gustativas da polpa, e preservam a polpa de contaminação bacteriana. Alexandre et al. (2015) encontraram valores de 14,35;13,42;15,05 °Brix para os clones Cepec 2002, PH 16, PS 1319 e CCN 51, respectivamente. Para pH, estes autores encontraram valores de 3,36; 3,31; 3,45 e 3,24 para estes mesmos clones.

Em condições semiáridas ocorre precocidade no crescimento, vigor e início da produção com 1,5 ano em relação à região tradicional; além de alta produtividade de (1.770 kg ha⁻¹) de amêndoas secas (Leite et al., 2012). No presente estudo, o clone CEPEC 2005 apresentou produtividade média de 1.340 kg ha⁻¹ nas condições do semiárido na primeira safra que correspondeu a toda produção obtida no terceiro ano de cultivo. Santos et. al (2017) avaliaram os clones CCN 10, CCN 51, CEPEC 2002 e PH 16 plantados nas entrelinhas de um bananal e concluíram que CEPEC 2002 é o mais indicado para o cultivo na região do Norte de Minas Gerais. Por se tratar de uma cultura perene, que tem longa vida útil (mais de 20 anos), avaliações de longo prazo devem ser realizadas para atestar com segurança quais os clones mais adaptados para a condição de cultivo.

2ª Safra

Todos os clones de cacauero estudados na condição de pleno sol produziram frutos e amêndoas na segunda safra (quarto ano de cultivo). Não houve efeito significativo para interação entre clones e disponibilidade de água no solo, bem como para as subparcelas (água no solo), com exceção da variável produção acumulada (tabelas 8 e 9).

A produtividade de amêndoas secas apresentou valores médios de 1.690 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (tabela 8). A produtividade observada na 2ª safra está bem acima da média nacional é de 279,4 kg ha⁻¹ (IBGE, 2018). A produção média por planta de amêndoas secas entre os clones testados foi de 1.014 gramas, apresentando um aumento de 21% em relação à primeira safra. Koko et al. (2013) avaliaram cultivo solteiro e consorciado e ficou evidenciado que a produtividade foi 50% maior em cultivo a pleno sol quando comparadas em consórcio com citrus e abacateiro. Esses autores verificaram que a produção foi afetada pelo espaçamento de plantio entre os cacaueros e as árvores frutíferas.

Para a característica produção acumulada, o grupo 1, na condição de 100% de disponibilidade de água disponível no solo, foi formado pelos clones SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, PS 1319, CEPEC 2006, PH 16 e CCN 51 (tabela 9), sendo superiores em relação ao clone Ipiranga 1 do outro grupo formado pelo teste Scot-Knott.

As quantidades de água disponível no solo (75 e 100%) também influenciaram a variável produção acumulada do clone CEPEC 2005 que apresentou maior produção acumulada (2ª e 3ª safras) nas plantas que receberam menos água (75%). Esta característica pode indicar que este clone seja menos exigente em água e provavelmente mais adaptado as regiões com menor disponibilidade de água ou até mesmo como porta-enxerto de outros clones.

Segundo a FAO (2007), as plantas novas têm um requisito de sombreamento para o crescimento ideal, mas para a cultura estabelecida, o rendimento ideal só pode ser obtido sob luz solar total. Estes resultados confirmam isso e o fato da planta de cacau ser uma planta tolerante ao sombreamento, mas que pode ser cultivada com sucesso a pleno sol.

Situações em que a temperatura frequentemente cai abaixo de 18,8°C, ou sobe acima de 32,2°C são consideradas desfavoráveis. No presente estudo realizado em ambiente semiárido (tropical seco), a temperatura ultrapassou 32,2°C em 212 dias e por 99 dias no ano ficou abaixo de 18,8°C. Portanto, os clones mais tolerantes a altas temperaturas serão aqueles que vão se destacar, especialmente nos cultivos a pleno sol. Entretanto, essas faixas de temperaturas não inviabilizaram o cultivo do cacau no semiárido sendo observados valores de produtividade bem acima dos cultivos tradicionais.

Fatores importantes afetando a qualidade da amêndoa ocorreram no presente estudo. Dentre estes fatores destacam-se problemas com germinação de sementes nos frutos maduros (viviparidade), que foi favorecida pelas condições climáticas no período de maturação do fruto como o tempo chuvoso, umidade relativa elevada e associado a altas temperaturas. Porém, fatores positivos no cultivo do cacau no semiárido se destacaram como a não ocorrência de doenças e as produtividades elevadas. Contudo, técnicas de cultivo, associadas à determinação correta do ponto de colheita e tecnologias de fisiologia pós-colheita podem mitigar o efeito desse fenômeno indesejado.

O cultivo do cacau poderá ser implementado dentro dos bananais já implantados, reduzindo assim os custos de produção da cultura sendo possível a manutenção de sistema de irrigação por microaspersão com faixa molhada (linha plantio com microaspersores) e faixa seca (linha plantio sem microaspersores) desde que o sistema seja dimensionado para molhar 100% da área. A irrigação plena com 100% de água e reduzida com 75% de água disponível no solo não afeta a produção do cacau cultivado a pleno sol em clima semiárido.

Segundo Müller e Valle (2012), o cultivo de cacau a pleno sol aumenta a atividade fotossintética, implicando em maior demanda por nutrientes, portanto, necessitam de adubações mais frequentes e em quantidades mais elevadas, mesmo que o solo possua alta

fertilidade natural. Nesta condição, os ataques de pragas podem ser mais intensos. No entanto, os cacauzeiros desenvolvidos a pleno sol e com uso de fertilizantes apresentam, geralmente maior produção que aqueles desenvolvidos sob condições de sombreamento.

Analisando o comportamento produtivo dos clones testados no semiárido, nota-se que alguns ajustes devem ser feitos para otimizar o processo e aumentar a produção e qualidade das amêndoas. Pesquisas para determinação do coeficiente de cultura (kc) na fase de maturação do fruto poderiam melhorar as características físico-químicas da polpa, além de reduzir a viviparidade nos frutos. Testar diferentes modelos de SAF, visando conforto térmico, aumento de polinizadores na área e fonte de renda extra para o produtor. Correções na adubação nitrogenada para controle do crescimento vegetativo reduziriam a mão-de-obra com o manejo da poda. Manejo da floração para que o florescimento e produção dos frutos ocorram nos meses de temperatura mais amena ou nas épocas de escassez de amêndoas no mercado para obtenção de melhores preços no mercado.

Conclusões

Todos os clones de cacauzeiro avaliados, na condição de pleno sol em ambiente semiárido, têm viabilidade agrônômica de cultivo.

O clone CEPEC 2005 tem desempenho agrônômico superior, com maior produtividade e produção de amêndoas secas por plantana primeira safra ou terceiro ano de cultivo.

A disponibilidade de água no solo de 100 e 75% não afeta a produtividade do cacauzeiro cultivado a pleno sol em clima semiárido.

Os clones CEPEC 2002, CEPEC 2005, PS 1319 e CCN 51 apresentam valores superiores para sólidos solúveis da polpa.

As características agrônômicas: número de frutos e produtividade de amêndoas secas; número de sementes e comprimento de sementes; número de frutos e diâmetro do caule; produtividade e diâmetro do caule; massa da polpa e massa do fruto; massa da polpa e massa da semente fresca se correlacionam nos clones de cacauzeiro.

A produtividade de amêndoas secas e produção média por planta entre os clones testados aumentam 21% em relação à primeira safra.

A produção acumulada do clone CEPEC 2005 é maior quando a disponibilidade de água no solo é reduzida para 75%.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pela parceria, ao Instituto Biofábrica pelas doações das mudas, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (COD 001) pela concessão de bolsas e apoio financeiro.

Referências

ALEXANDRE, R. S.; CHAGAS, K.; MARQUES, H. I. P.; COSTA, P.R.; CARDOSO FILHO, J. Caracterização de frutos de clones de cacauzeiros na região litorânea de São Mateus, ES. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 785-790, 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Rome: Food & Agriculture, 2006. 298 p.

ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n. 4, p. 425-448, 2007.

ALMEIDA, H. A.; MACHADO, R. C. R. Efeito de interações entre elementos meteorológicos na produção de cacau: influência do balanço hídrico. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 11., 1993, Yamoussoukro. **Proceedings ...** London: J. de Lafforest Transla Inter, 1993. p. 667-673.

ALMEIDA, R. L. S.; GARÓFALO CHAVES, L. H.; SILVA, E. F. Growth of Cocoa as Function of Fertigation with Nitrogen Iranica. **Iranica Journal of Energy & Environment**, v. 3, n. 2, p. 386-390, 2012.

ALVIM P. T. Relações entre fatores climáticos e produção do cacauzeiro. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 10., **Proceedings ...** Santo Domingo, Dominican Republic, 1988. p. 159-167.

ANVOH, K. Y. B.; BI, A. Z.; GNAKRI, D. Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. **Pakistan Journal of Nutrition**, Lahore, v. 8, n. 2, p. 129-133, 2009.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Washington: AOAC, 1997. 771 p.

BALASIMNHA, D. Water relations, growth and other indicators of plant water stress in cocoa under drought. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EM

CACAO, 10., Santo Domingo, 1987. **Annals [...]**. Actas. Lagos, Cocoa Producers' Alliance, 1988. p. 215-217.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Conselho Deliberativo. Resolução n. 107, de 27 de julho de 2017. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 48, 13 jul. 2017.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔNIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. **Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacau no sul da Bahia**. Ilhéus: MAPA, 2013. 43 p.

CLEMENT, D.; RISTERUCCI, A. M.; MOTAMAYOR, J. C.; N'GORAN, J.; LANAUD, C. Mapping quantitative trait loci for bean traits and ovule number in *Theobroma cacao* L. **Genome**, Ottawa, v. 46, n. 1, p. 103-111, 2003.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. CEPLAC. **Lista de clones**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/ListaClones.asp>. Acesso em: 10 maio 2018.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480 p.

DICZBALIS, Y.; LEMIN, C.; RICHARDS, N.; WICKS, C. **Producing Cocoa in Northern Australia**. Australian Government: Rural Industries Research and Development Corporation Report 09/092, 2010. 306 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO no Brasil. Rome: FAO ECOCROP, 2007. Disponível em: <http://ecocrop.fao.org>. Acesso em: 20 jul. 2018.

GRAMACHO, I. C. P.; MAGNO, A. E. S.; MANDARINO, E. P.; MATOS, A. **Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia**. Ilhéus: CEPLAC, 1992. 124 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2019. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola mensal. Acesso em: 23 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 25 jan. 2019.

INTERNACIONAL COCOA ORGANIZATION. ICCO. **Boletim Trimestral da ICCO de Estatísticas do Cacau**, v. 44, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.icco.org>. Acesso em: 13 mar. 2019.

KOKO, L. K.; SNOECK, D.; LEKADOU, T.T.; ASSIRI, A. A. Cacao-fruit tree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour and light interception in Côte d'Ivoire. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 87, n. 5, p. 1043-1052, 2013.

LEITE, J. B. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; MARIVALDO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo do cacau no semiárido do Brasil. **Agrotropica**, Itabuna, v. 24, n. 2, p. 85-90, 2012.

LOBÃO, D. E.; SETENTA, W. C.; VALLE, R. R. Sistema agrossilvicultural cacauero: modelo de agricultura sustentável. **Agrossilvicultura**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 163-173, 2004.

MACHADO, R. C. R.; ALVIM, P. T. Efeito da deficiência hídrica no solo sobre a renovação de folhas, floração e estado de água no cacauero. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 11, n. 3, p. 183-191, 1981.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 358 p.

MARROCOS, P. C. L.; PACHECO, R. G.; CHEPOTE, R. E. S.; RAM, A.; ROSA, I. S.; SODRÉ, G. A.; MAIA, V. B.; NAKAYAMA; LIMA, J. L. C; ROCHA, J. B. **Normas para plantio de mudas de cacauero propagadas por estaquia: atualização**. 3. ed. Ilhéus: CEPLAC, 2005. 30 p.

MULLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Sistemas Agroflorestais com Cacauero. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. p. 407-35. Brasília, DF: CEPLAC, 2012.

MULLER, M. W.; VALLE, R. R. Ecofisiologia do cultivo do cacauero. p. 31-66. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. Brasília, DF: CEPLAC, 2012.

SANTOS, R. R.; COSTA, K. P.; JESUS, M. S.; BARBOSA, L. O.; MARTINS, E. R. Avaliação de clones de cacau (*Theobroma cacao* L.) no Norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 9, n. 2, p. 28-35, 2017.

SCERNE, R. M. C. **Estudo agroclimático do cacauero (*Theobroma cacao* L.) em Belém, PA**. 1988. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, 1988.

SILVA NETO, P. J. **Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira**. Belém: CEPLAC, 2001. 125 p.

SODRÉ, G. A. **Formação de mudas de cacauero, onde nasce a boa cacauicultura**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2013. 48 p.

SOUZA JÚNIOR, J. O. **Fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade do cacauero cultivado no Sul da Bahia, Brasil**. 1997. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, 1997.

SOUZA, G. S. B. **Coefficiente de cultura e consumo hídrico do cacauero irrigado e cultivado a pleno sol no semiárido**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)-Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2018.

Figuras e tabelas

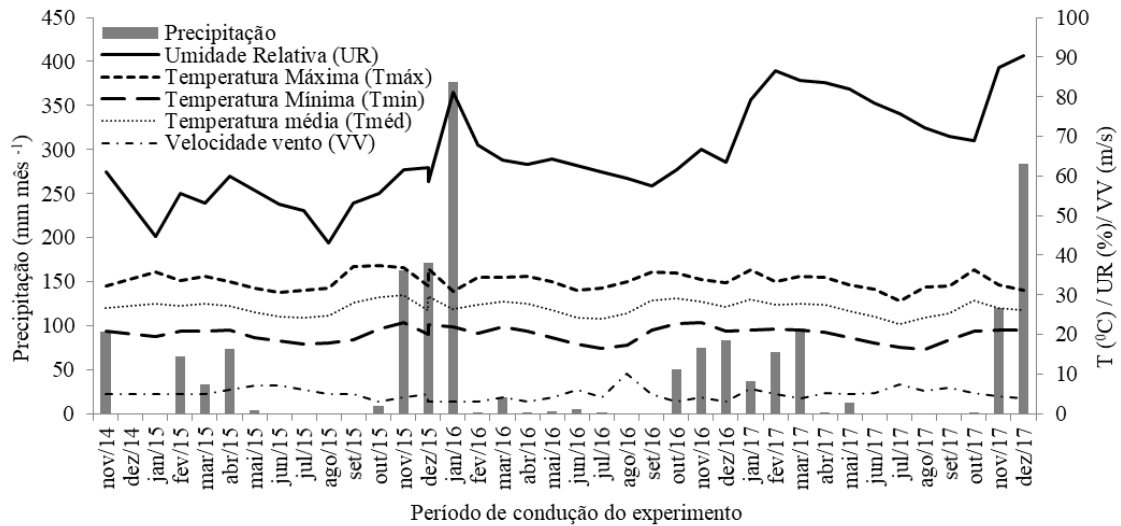


Figura 1- Temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e velocidade do vento durante o período experimental (INMET, 2018).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para oito clones de cacaueteiro e duas condições de água no solo avaliadas em condições de semiárido no terceiro ano de cultivo

Quadrado médio											
FV	GL	PROD	NF	MFR	MPO	NS	SF	CS	ND	ALT	DCA
Clones (A)	7	640,604*	1093,620*	9711,100 ^{ns}	2629,500 ^{ns}	42,172 ^{ns}	1,142 ^{ns}	0,111 ^{ns}	11,330 ^{ns}	615,370 ^{ns}	0,403 ^{ns}
Bloco	2	1307,506	378,140	28912,500	15138	2,572	0,045	0,021	42,188	964,01	0,114
Resíduo A	14	97,021	213,600	7188,700	1416	48,295	0,718	0,082	11,33	558,58	0,430
Água no solo (B)	1	84,815 ^{ns}	4,430 ^{ns}	56,800 ^{ns}	5396,500 ^{ns}	23,157 ^{ns}	0,338 ^{ns}	0,064 ^{ns}	1,688 ^{ns}	14,070 ^{ns}	0,087 ^{ns}
A x B	7	67,053 ^{ns}	127,230 ^{ns}	6912,700 ^{ns}	2293,200 ^{ns}	34,932 ^{ns}	0,238 ^{ns}	0,060 ^{ns}	1,688 ^{ns}	146,240 ^{ns}	0,188 ^{ns}
Resíduo B	16	119,162	137,95	9995,3	2091,1	21,504	0,224	0,086	1,688	151,91	0,259
CV 1(%)		42,3	60,26	21,69	34,21	16,97	40,54	13,31	3,23	12,62	15,32
CV 2(%)		46,88	48,43	25,58	41,57	11,32	22,69	13,63	1,24	6,58	11,9
MÉDIA		736,27	24,25	390,77	109,99	40,93	2,09	21,58	104,06	187,18	42,8
FV	GL	MSS	MSF	FF/AS	IF	PPL	SS	PH	AT	SS/AT	
Clones (A)	7	0,182 ^{ns}	329,830 ^{ns}	35,112 ^{ns}	165,620 ^{ns}	1631,299*	9,357*	0,163*	0,063 ^{ns}	102,385 ^{ns}	
Bloco	2	0,007	5,45	25,883	42,75	154,161	3,637	0,1	0,273	9,469	
Resíduo A	14	0,114	213,07	13,26	211,01	189,618	2,25	0,045	0,098	68,735	
Água no solo (B)	1	0,055 ^{ns}	180,420 ^{ns}	29,141*	108,000 ^{ns}	277,482 ^{ns}	13,020*	0,068 ^{ns}	0,020 ^{ns}	70,883 ^{ns}	
A x B	7	0,038 ^{ns}	129,640 ^{ns}	5,103 ^{ns}	206,810 ^{ns}	83,195 ^{ns}	2,678 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,088 ^{ns}	47,296 ^{ns}	
Resíduo B	16	0,035	71,74	5,177	142,77	225,307	2,677	0,042	0,071	53,215	
CV 1(%)		40,47	42,57	29,65	43,68	54,48	9,24	5,73	48,66	29,6	
CV 2(%)		22,67	24,7	18,52	35,93	59,36	10,09	5,58	41,57	26,05	
MÉDIA		0,84	34,28	12,28	33,25	799,14	16,21	3,70	0,64	28	

*: 5% de significância pelo teste F, ns: não significativo.

PROD: produtividade de amêndoas secas, NF: número de frutos por planta, MFR: massa do fruto, MPO: massa da polpa, NS: número de sementes por fruto, SF: massa de uma semente fresca, CS: comprimento de semente, ND: número de dias da antese à colheita, ALT: altura de planta, DCA: diâmetro do caule, MSS: massa de 1 semente seca, MSF: massa de sementes secas fruto⁻¹FF/AS: massa do fruto fresco/massa de amêndoas, IF: índice de fruto, PPL: produção planta⁻¹ ano⁻¹ de amêndoas secas, SS: sólidos solúveis da polpa, PH: pH da polpa, AT: acidez titulável, SS/AT: relação sólidos solúveis/acidez titulável.

Tabela 2 - Médias dos resultados de PROD: produtividade de amêndoas secas (kg ha⁻¹ano⁻¹), NFR: número de frutos por planta, MFR: massa do fruto (g), MPO: massa da polpa (g), NS: número de sementes por fruto, SFR: massa de 1 semente fresca (g), CS: comprimento de semente (mm), ND: número de dias da antese à colheita, ALT: altura de planta (cm) e DCA: diâmetro do caule(mm) entre clones de cacau cultivados no semiárido no terceiro ano de cultivo (1ª safra)

CLONES	PROD	NFR	MFR	MPO	NS	SFR	CS	ND	ALT	DCA
SJ 02	657,68 C	18,23 B	408,60 A	102,21 A	43,06 A	1,74 A	23,0 A	104 A	198,78 A	44,18 A
CEPEC 2002	828,66 B	29,21 A	390,61 A	119,30 A	37,53 A	1,68 A	19,6 A	102 A	185,56 A	41,72 A
CEPEC 2005	1,340,13 A	48,59 A	385,16 A	90,00 A	40,25 A	1,82 A	20,1 A	105 A	193,45 A	45,83 A
PS 1319	497,92 C	18,92 B	312,55 A	98,69 A	43,17 A	1,86 A	20,7 A	105 A	182,83 A	41,33 A
CEPEC 2006	972,96 B	37,98 A	448,61 A	124,65 A	41,69 A	1,97 A	21,5 A	105 A	193,34 A	46,50 A
IPIRANGA 1	306,48 C	9,45 B	363,25 A	89,08 A	36,70 A	2,35 A	21,8 A	105 A	197,00 A	40,02 A
PH 16	480,20 C	11,12 B	416,33 A	104,67 A	43,95 A	2,31 A	23,3 A	102 A	172,94 A	39,50 A
CCN 51	806,13 B	20,50 B	401,07 A	151,37 A	41,11 A	2,98 A	22,6 A	105 A	173,56 A	43,30 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Tabela 3 - Médias dos resultados de MSS: massa de uma semente seca (g), MSF: massa de sementes secas fruto⁻¹ (g), FF/AS (massa do fruto fresco/massa de amêndoas), IF (índice de fruto) e PPL: produção de amêndoas secas (g planta⁻¹ ano⁻¹) entre clones de cacau cultivados no semiárido no terceiro ano de cultivo (1ª safra)

CLONES	MSS	MSF	FF/AS	IF	PPL
SJ 02	0,70 A	30,05 A	13,96 A	35 A	640,70 C
CEPEC 2002	0,67 A	25,07 A	15,95 A	41 A	1.183,56 B
CEPEC 2005	0,73 A	29,21 A	13,35 A	36 A	1.741,21 A
PS 1319	0,75 A	32,45 A	10,13 A	34 A	593,67 C
CEPEC 2006	0,79 A	33,33 A	14,05 A	33 A	1.204,97 B
IPIRANGA 1	0,94 A	33,88 A	11,37 A	32 A	357,06 C
PH 16	0,93 A	42,35 A	10,66 A	33 A	260,47 C
CCN 51	1,19 A	47,95 A	8,77 A	22 A	411,45 C

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott-Knott. a 0,05 de significância.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre as características agronômicas dos clones de cacau cultivados no semiárido no terceiro ano de cultivo (1ª safra)

	MFR	MPO	NS	SF	CS	ND	NFR	PROD	ALT	DCA
MFR	1	0,53*	0,41 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,47 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}
MPO	0,53*	1	0,35 ^{ns}	0,54*	0,35 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,18 ^{ns}
NS	0,41 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1	0,19 ^{ns}	0,64**	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
SF	0,25 ^{ns}	0,54*	0,19 ^{ns}	1	0,57*	0,18 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,5 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
CS	0,47 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,64**	0,57*	1	0,01 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,33 ^{ns}
ND	-0,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1	0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,28 ^{ns}
NFR	0,27 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1	0,88**	0,22 ^{ns}	0,64**
PROD	0,42 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,88**	1	0,17 ^{ns}	0,60*
ALT	0,09 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,5 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1	0,39 ^{ns}
DCA	0,08 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,64**	0,60*	0,39 ^{ns}	1

** : 1 e 5% de significância pelo teste t. respectivamente. ns: não significativo.

MFR: massa do fruto, MPO: massa da polpa, NS: número de sementes por fruto, SF: massa de uma semente fresca, CS: comprimento de semente, ND: número de dias da antese à colheita, NFR: número de frutos por planta, PROD: produtividade de amêndoas secas, ALT: altura de planta e DCA: diâmetro do caule.

Tabela 5 - Análise de variância multivariada para oito clones de cacau e duas condições de água no solo avaliadas em condições de semiárido no terceiro ano de cultivo (1ª safra)

Fontes de variação	Df	Pillai	F approx	num Df	den Df	Pr(>F)
Clone (A)	7	4,455	1,925	70,000	77,000	0,002
Blocos	2	1,558	2,117	20,000	12,000	0,091
Resíduo A	14					
Parcelas	7					
Água no solo (B)	1	0,713	1,739	10,000	7,000	0,237
A x B	7	2,774	0,853	70,000	91,000	0,754
Resíduo B	16					
Total	47					

Tabela 6 - Correlação canônica entre 10 características avaliadas (massa do fruto, massa da polpa, número de sementes por fruto, massa de uma semente fresca, comprimento de semente, número de dias da antese à colheita, número de frutos por planta, produtividade de amêndoas secas, altura de planta e diâmetro do caule) em clones de cacau cultivados no semiárido no terceiro ano de cultivo (1ª safra)

VARIÁVEL	Can1	Can2
MASSA DO FRUTO	0,380	-0,145
MASSA DA POLPA	0,486	0,145
NÚMERO DE SEMENTES	0,129	0,138
MASSA DE UMA SEMENTE FRESCA	-0,005	0,495
COMPRIMENTO DE SEMENTE	-0,136	0,253
NÚMERO DE DIAS ANTESE-COLHEITA	0,181	-0,243
NÚMERO DE FRUTOS	0,705	-0,517
PRODUTIVIDADE	0,806	-0,399
ALTURA DE PLANTA	-0,044	-0,610
DIÂMETRO DO CAULE	0,374	-0,354

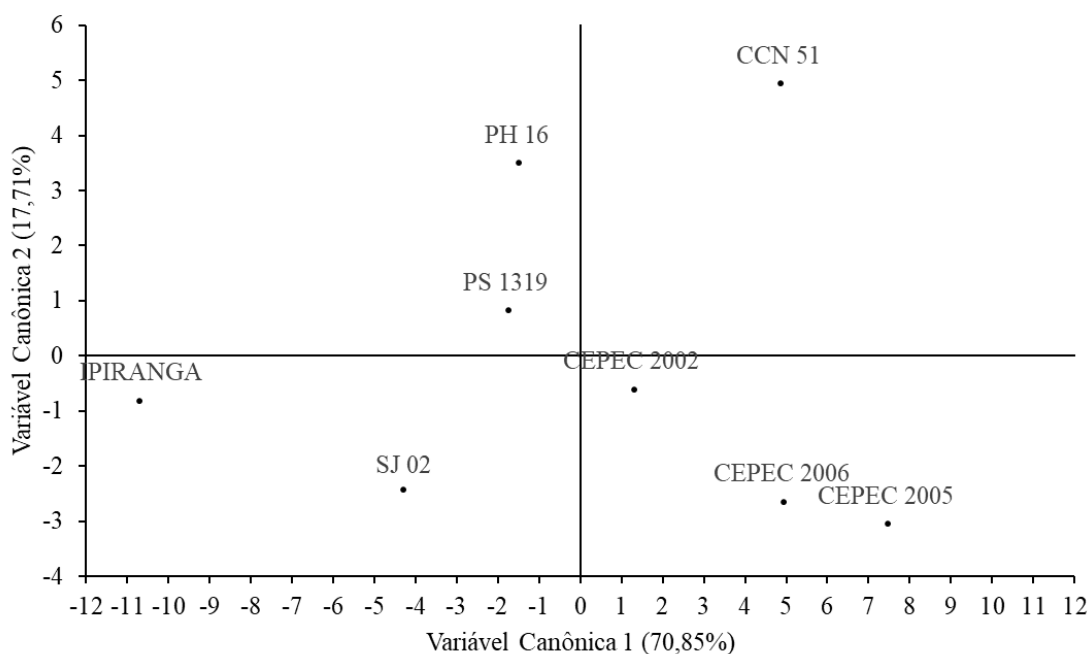


Figura 2 - Dispersão gráfica dos escores em relação às duas primeiras variáveis canônicas (VC1 e VC2) em clones de cacau no terceiro ano de cultivo (1ª safra).

Tabela 7 - Médias dos resultados de variáveis físico-químicas da polpa: sólidos solúveis (SS) expressos em °Brix, pH da polpa (PH), acidez titulável em % (AT), relação sólidos solúveis /acidez titulável em % (SS/AT) de frutos de cacauzeiros cultivados no semiárido no terceiro ano de cultivo (1ª safra)

CLONES	SS	PH	AT	SS/AT
SJ 02	15,56 B	3,61 A	0,73 A	23,69 A
CEPEC 2002	16,71 A	3,66 A	0,65 A	26,39 A
CEPEC 2005	17,46 A	3,73 A	0,59 A	31,65 A
PS 1319	17,53 A	3,44 A	0,74 A	25,36 A
CEPEC 2006	15,68 B	3,89 A	0,74 A	29,54 A
IPIRANGA 1	15,43 B	3,94 A	0,44 A	35,97 A
PH 16	14,01 B	3,78 A	0,58 A	24,86 A
CCN 51	17,31 A	3,58 A	0,65 A	26,52 A
100% ÁGUA NO SOLO	15,69 B			
75% ÁGUA NO SOLO	16,73 A			
CV 1%	9,24	5,73	48,66	29,60
CV 2 %	10,09	5,58	41,57	26,05

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott. a 0,05 de significância.

Tabela 8 - Médias dos resultados de PROD: produtividade de amêndoas secas (kg ha⁻¹ ano⁻¹), PPL: produção de amêndoas secas (g planta⁻¹ ano⁻¹) entre clones de cacau cultivados no semiárido no quarto ano de cultivo (2ª safra)

CLONES	PROD	PPL
SJ 02	1,688 A	1,013 A
CEPEC 2002	1,669 A	1,002 A
CEPEC 2005	1,695 A	1,017 A
PS 1319	1,732 A	1,039 A
CEPEC 2006	2,185 A	1,311 A
IPIRANGA 1	917 A	550 A
PH 16	1,999 A	1,200 A
CCN 51	1,636 A	982 A

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Tabela 9 - Produção acumulada (kg ha^{-1}) do terceiro e quarto anos de cultivo de oito clones de cacaueteiro submetidos a duas condições de água disponível no solo (100% e 75%).

CLONES	ÁGUA NO SOLO	
	100%	75%
SJ 02	1.329,33 Aa	1.988,00 Aa
CEPEC 2002	1.890,66 Aa	1.730,33 Aa
CEPEC 2005	1.883,00 Ab	2.813,66 Aa
PS 1319	1.886,66 Aa	1.199,33 Aa
CEPEC 2006	1.982,33 Aa	1.867,66 Aa
IPIRANGA	230,00 Ba	587,33 Aa
PH 16	1.209,66 Aa	1.406,33 Aa
CCN 51	1.996,00 Aa	1.514,66 Aa
CV 1 = 47.11 %		
CV 2 = 25.56 %		

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

CAPÍTULO 3

Estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo cultivado com cacaueteiro em clima semiárido

(Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Fruticultura)

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CACAUEIRO EM CLIMA SEMIÁRIDO

Resumo: A adoção de sistemas agrícolas consorciados, com menor revolvimento do solo e maior produção de resíduos vegetais favorecem a estocagem de carbono e nitrogênio no solo, constituintes considerados fundamentais para a manutenção da produtividade agrícola e a sustentabilidade edáfica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estocagem de carbono e nitrogênio em Latossolo, ao longo do tempo de cultivo, com diferentes clones de cacau em ambiente semiárido. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas de oito clones de cacau (SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51) e as subparcelas corresponderam a oito épocas de avaliação (180, 360, 540, 720, 900, 1.080, 1.260 e 1.440 dias após o plantio-DAP). O trabalho foi desenvolvido utilizando-se amostras de solos provenientes de cultivo de cacau coletadas nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. Foram avaliadas as seguintes características: teores e estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total, teor de matéria orgânica do solo, relação C/N do solo. O teor de carbono orgânico do solo aumenta na camada superficial nas épocas de eliminação do bananal e poda do cacau. A mudança no sistema de cultivo de sombreado com bananeira para pleno sol reduz os estoques de C no solo nas condições de clima semiárido. O cultivo do cacau incrementa o teor e estoque de NT nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade do solo no decorrer do tempo. A relação C/N apresenta maiores valores na camada 0-0,2 m aos 700 DAP (estação seca). O uso de irrigação em clima semiárido intensifica a decomposição da matéria orgânica do solo.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, resíduos vegetais, matéria orgânica.

Abstract: The adoption of intercropped agricultural systems, with less soil overturning and greater production of plant residues, favors the storage of carbon and nitrogen in the soil, constituents considered fundamental for the maintenance of agricultural productivity and soil sustainability. The objective of this work was to evaluate the storage of carbon and nitrogen in Latosol, over the time of cultivation, with different cacao clones in a semiarid environment. The experimental design used was in randomized blocks, in a split-plot scheme with three replications. The plots consisted of eight cocoa clones (SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16, CCN 51) and the subplots corresponded to eight

evaluation periods (180, 360, 540, 720, 900, 1,080, 1,260 and 1,440 days after planting-DAP). The work was developed using soil samples from cocoa cultivation collected at depths of 0-0.2 and 0.2-0.4 m. The following characteristics were evaluated: contents and stocks of total organic carbon and total nitrogen, soil organic matter content, soil C / N ratio. The organic carbon content of the soil increases in the superficial layer at the time of bananal elimination and cacao pruning. The change in the shading system with banana trees to full sun reduces C stocks in the soil under semi-arid climate conditions. The cultivation of cacao increases the NT content and stock in the layers of 0-0.2 and 0.2-0.4 m of soil depth over time. The C/N ratio presents higher values in the 0-0.2 m flow at 700 DAP (dry season). The use of irrigation in a semi-arid climate intensifies the decomposition of soil organic matter.

Keywords: *Theobroma cacao*, plant residues, organic matter.

Introdução

O cultivo do cacaueiro (*Theobroma cacao*) consorciado com espécies que lhe proporcionem sombreamento compõe um dos mais conhecidos e bem-sucedidos exemplos de sistemas agroflorestais (SAF) no Brasil e no mundo (MULLER e GAMA-RODRIGUES, 2012). Esse sistema de produção acumula material orgânico no solo e conseqüentemente, carbono orgânico e nitrogênio no solo. Modelos de produção sustentável devem conservar o carbono orgânico no solo, uma vez que seu aumento eleva a produtividade das culturas e a eficiência na utilização dos nutrientes (PAUL et al., 2013).

Características das regiões de clima semiárido, como temperaturas elevadas, precipitações pluviométricas irregulares e alta taxa de evaporação (BATISTA et al., 2017), somadas aos sistemas de manejo do solo que resultam em baixas quantidades de resíduos vegetais deixados na superfície do solo e no preparo contínuo do solo, reduzem o carbono orgânico total (SACRAMENTO et al., 2013). De acordo com Caetano et al. (2013), em condições semiáridas, a decomposição dos materiais orgânicos incorporados e presentes no solo desempenha papel importante no armazenamento de carbono (C) e nitrogênio (N) nos solos.

Na decomposição da matéria orgânica do solo, parte do carbono orgânico presente nos resíduos retorna à atmosfera como CO₂ e parte é incorporada a matéria orgânica como constituinte do solo (BAYER e MIELNICZUK 2008). O balanço de C no solo ocorre pela relação entre a entrada de C assimilado pelas plantas e suas perdas para a atmosfera por meio

da oxidação biológica do carbono orgânico a dióxido de carbono (COSTA et al., 2008). O agregado de C representa um equilíbrio dinâmico de ganhos e perdas e é conhecido por ser influenciado por fatores edáficos (textura do solo, estrutura e diversidade biológica), chuva, temperatura, sistema de cultivo e manejo do solo (LAL, 2004).

Juntamente com o C, o N é elemento importante na dinâmica de compostos orgânicos no solo (D'ANDRÉA et al., 2004), por favorecer a estabilização do C no solo. As grandes mudanças nas condições ambientais correlacionam os processos de mineralização, imobilização e lixiviação do N com fatores climáticos, como a temperatura e a precipitação pluvial (FRANCIS et al., 1998; MURDOCH et al., 1998), atributos físicos, químicos e biológicos do solo e sucessão e rotação de culturas (BAIJUKYA et al., 2006). Segundo Santana e Cabala (1982), a principal via de entrada do N em agrossistemas de cacau, desconsiderando a adubação, seria a fixação biológica na simbiose rizóbio-leguminosa florestal.

Dependendo das condições ambientais e uso da terra, os solos podem atuar como fonte ou sumidouro para carbono (GAMA-RODRIGUES et al., 2010). Técnicas de manejo conservacionista favorecem a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (PEGORARO et al., 2018). Estudos que abordem sistemas de manejo do solo em regiões não tradicionais de cultivo do cacau são importantes no sentido de avaliar o impacto sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

O armazenamento do carbono e nitrogênio em solos do semiárido foi avaliado em condições sob cultivo de bananal, cana-de-açúcar, pastagem, mata nativa, manga, milho, girassol, sorgo e sistemas de manejo do solo com plantio direto e convencional (PEGORARO et al., 2018; SALES et al., 2017; SILVA et al., 2016). No entanto, estudos relacionados à estocagem de C e N em solos cultivados com cacauzeiros no semiárido em modelos intensivos de produção a pleno sol são considerados escassos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de carbono e nitrogênio em Latossolo, ao longo do tempo de cultivo, com diferentes clones de cacauzeiro em ambiente semiárido.

Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em condições de campo, na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, no município de Janaúba (MG), localizada a 15°43'49"S, 43°19'22"O, 533 m de altitude. O clima é do tipo Aw, e a região está incluída no semiárido brasileiro. A precipitação média anual é de 800 mm, dos quais 80% ocorrem entre

novembro e março (INMET, 2019). Os atributos químicos e físicos da área experimental antes da instalação do experimento constam na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), em parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas consistiram de oito clones de cacaueteiro (SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga, PH 16 e CCN 51) e as subparcelas corresponderam a oito épocas de avaliação (180, 360, 540, 720, 900, 1.080, 1.260 e 1.440 dias após o plantio-DAP). As épocas 180, 540, 900 e 1.260 DAP coincidiram com o final de estação chuvosa na região. Por outro lado, as épocas 360, 720, 1.080 e 1.440 DAP coincidiram com o final da estação seca.

Baseado no histórico da área, o bananal da cultivar Prata-anã foi plantado em torno de 45 meses antes e recebeu adubação anual correspondendo a 333 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (SS), 700 kg ha⁻¹ de K₂O (na forma de cloreto de potássio), 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio (na forma de sulfato de amônio) e 20 litros de esterco bovino por cova. O preparo do solo foi feito com grade aradora e a irrigação por microaspersão.

O plantio do cacaueteiro foi realizado em novembro de 2014, em área sombreada nas entrelinhas de bananal da cultivar Prata-Anã. O espaçamento utilizado foi de 3 x 2 m entre linhas de plantio e plantas, respectivamente. As irrigações foram realizadas no sistema por microaspersão.

No primeiro ano de cultivo do cacaueteiro área foi realizada adubação de plantio com 250 g de fosfato monoamônico (MAP) por cova e adubação orgânica com esterco bovino com 2 litros por planta além de duas adubações de cobertura com 25 g de N e 25 g de K₂O por planta. As fontes de N e K₂O foram sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. No segundo ano de cultivo foram feitas três adubações orgânicas com 5 litros de esterco bovino por vez e três adubações de cobertura com N e K₂O nas mesmas doses e fontes do primeiro ano. O bananal recebeu adubação de 440 g de superfosfato simples, 92 g de sulfato de amônio (SA) e 110 g de cloreto de potássio (KCl) aplicados por família nos dois anos de cultivo. No terceiro ano de cultivo foram feitas quatro adubações de cobertura com N e K₂O (50 g de SA e 50 g de KCl por vez), duas adubações de cobertura com micronutrientes (2 g de ácido bórico, 5 g de sulfato de zinco e 2 g de sulfato de cobre por planta) e duas de P com 500 g de SS e 300 g de MAP. No quarto ano de cultivo as adubações foram 240 g SS por planta em duas aplicações, 35 g de KCl e 75 g de SA por planta por mês, e uma adubação de 12 g de ácido bórico, 15 g de sulfato de zinco e 35 g de sulfato de ferro por planta. As adubações foliares com macro e micronutrientes foram realizadas no intervalo de 90 dias nos dois primeiros anos de cultivo e a cada 45 dias no terceiro e quarto ano de cultivo.

O controle mecânico de plantas daninhas, poda de formação e manutenção, controle de pragas e controle de sombreamento foi feito de acordo com Marrocos et al. (2003). O plantio foi em box com uso de quebra-ventos com *Pennisetum purpureum*. Passados dois anos do plantio dos clones do cacaueteiro, o bananal foi totalmente eliminado e o experimento passou a ser conduzido na condição de pleno sol. Em maio de 2017 foi feito plantio da leguminosa amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) para manter a cobertura vegetal viva e melhorar as propriedades do solo.

Foram coletadas amostras compostas de solos, formadas por quatro amostras simples, em cada parcela, nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. Essas amostras foram coletadas na linha de plantio, com uso do trado holandês, a cada seis meses após o plantio do cacau, totalizando oito épocas de amostragem. Nas mesmas profundidades, foram coletadas amostras para determinar a densidade do solo segundo Blake e Hartge (1986).

O carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado a partir de amostras de TFSA trituradas em almofariz, passadas em peneira de 0,5 mm e submetidas à determinação do teor de carbono orgânico (CO) por oxidação úmida, com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988). O nitrogênio total (NT) do solo foi determinado por destilação após digestão com ácido sulfúrico (Bataglia et al., 1983), a partir dos quais determinou-se a relação C/N. A matéria orgânica foi calculada multiplicando o valor de COT pelo fator 1,72. Os estoques de COT e NT nas camadas do solo foram calculados multiplicando-se o teor de C ou N, a densidade do solo e a profundidade da camada conforme fórmula:

Estoque = Teor x densidade x profundidade

onde: Estoque = estoque de C ou N ($t\ ha^{-1}$), teor = teor de C ou N ($dag\ kg^{-1}$), densidade = densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$), profundidade = profundidade da camada de solo (cm).

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, de acordo com o coeficiente de determinação e potencial para explicar o fenômeno biológico em questão. As análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio dos softwares R e Sigma Plot 12.0 versão Demo. Os tratamentos foram analisados de modo separado em cada profundidade de amostragem (camadas de solo).

Resultados e discussão

Os teores de C, N, MOS, C/N e estoques de C e N do solo não diferiram entre os diferentes clones de cacaueteiro utilizados. Também não houve efeito significativo da interação

entre clones e épocas (Tabela 2). Conforme o resumo de análise de variância (Tabela 2) houve significância apenas nas épocas estudadas, indicando a variação das características avaliadas em função das práticas de cultivo e do manejo realizado ao longo do tempo. Este fato foi observado nas duas profundidades estudadas.

O maior teor de COT ($0,94 \text{ dag kg}^{-1}$) foi verificado aos 833 DAP na camada de 0-0,2 m (Figura 1). Na camada de 0,2-0,4 m o COT no solo reduziu até 666 DAP, atingindo teor mínimo de $0,57 \text{ dag kg}^{-1}$. Em seguida foi observado acréscimo do COT nesta camada chegando ao valor de $0,74 \text{ dag kg}^{-1}$ aos 1440 DAP, última data de avaliação. Na área do experimento, aos 720 e 810 DAP foi realizada desbaste e a eliminação do bananal além dapoda de formação do cacauzeiro, respectivamente.

Provavelmente, o resíduo vegetal produzido pelo pseudocaule do bananal e pela poda do cacauzeiro promoveu incremento nosteriores de C, o que implicou maior adição de C ao solo na forma de raízes, folhas e ramos. No entanto, esse incremento de C não foi mantido ao longo do tempo. É possível que o manejo da cultura com uso de irrigação e adubação mineral somados as condições climáticas do clima semiárido (tropical seco) intensificou a decomposição da MOS, reduzindo o teor de C no solo ao longo do tempo de cultivo. A perda de C na forma de CO_2 em função de ação de microrganismos é muito pronunciada em ambientes de clima tropical.

Segundo Addiscot (1992), o sistema de cultivo alcança o estado estável quando as taxas de adição e de perdas se equivalem. Notou-se que houve comportamento inverso em relação às profundidades do solo no decorrer do tempo. Na camada superficial (0-0,2 m) houve inicialmente aumento no teor de COT, seguido de redução. Enquanto na camada mais profunda (0,2-0,4 m) o COT inicialmente foi reduzido com o tempo, seguido de incremento no teor até atingir números próximos a condição inicial de avaliação.

Os resultados obtidos indicaram que nas épocas com maior aporte de resíduos culturais do bananal e do cacauzeiro houve maior teor de COT no solo, enquanto nas épocas com menor deposição de resíduos vegetais o teor de COT foi reduzido. Loss et al. (2010) observaram em SAF formado por banana, açaí, cacau, mamão e guapuruvu aos cinco anos de cultivo, o teor de COT variou de $0,94$ e $0,90 \text{ dag kg}^{-1}$, na estação do verão, na profundidade de 0-5 cm e $0,7$ e $0,81 \text{ dag kg}^{-1}$ no inverno, na profundidade de 0,05-0,1 m.

O nitrogênio total do solo apresentou resposta linear em função do tempo, atingindo maior teor na última data de avaliação, para a camada de 0-0,2 m de solo (Figura 1). Aumento no teor de NT no solo ($0,10 \text{ dag kg}^{-1}$) também foi obtido, na camada de 0,2-0,4 m, aos 1000

DAP. Geralmente, os teores de NT dos solos agrícolas variam entre 0,02 e 0,5 dag kg⁻¹ e 98% deste encontra-se na forma orgânica (MENDONÇA e MATOS, 2005).

Provavelmente, as adubações do solo criaram condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores que associados a presença de cobertura vegetal viva com amendoim forrageiro, contribuíram para o incremento de N ao sistema, pois essa leguminosa fixa C e N₂ atmosféricos, resultado da simbiose dessa espécie com bactérias diazotróficas (COSTA, 1993; PERIN, 2001), evidenciando o efeito positivo da incorporação de resíduos vegetais no sistema e do uso de plantas que tem associação simbiótica. Segundo Camargo et al. (1999), os teores de NT dependem de fatores como temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico depositado no solo.

Considerando os teores de NT avaliados em superfície e em camada mais profunda do solo (0,2-0,4 m), foi armazenado, em média 52% do NT até 0,2 m de solo. Rangel et al. (2008), em estudo conduzido em solos com cafeeiro, verificou que, a 0,1 m de solo, foram armazenados, em média, 57% do CO e 62% do NT, provavelmente em razão do maior acúmulo de material orgânico nos horizontes superficiais e nos sistemas de manejo dos resíduos. Acredita-se que o fator que mais tenha contribuído para aumentar os teores de NT ao longo dos anos, seja o aumento da adubação nitrogenada a partir da fase reprodutiva das plantas, aplicada mensalmente com a dose de 75 g de sulfato de amônio por planta, associada à decomposição dos resíduos vegetais.

A matéria orgânica do solo seguiu a mesma dinâmica do COT (Figura 2). Nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, aos 850 e 800 DAP foram verificados os maiores teores de MO no solo de 1,62 e 0,89 dag kg⁻¹, respectivamente. Provavelmente, o manejo da área com roçadas e manutenção dos resíduos vegetais contribuiu no aumento de carbono orgânico no solo, melhorando o aporte de matéria orgânica na superfície do solo nestas épocas (PERIN et al., 2002). No entanto, esta tendência não foi mantida ao longo do tempo. Possivelmente, com a retirada do bananal, houve redução de resíduos na área, assim não foi possível manter os níveis de MO no solo. Além disso, o uso de irrigação em clima semiárido intensifica a decomposição da matéria orgânica do solo.

Os níveis adequados de matéria orgânica no solo nas regiões tradicionais de cultivo de cacauzeiro variam entre 1,5 e 5,0 dag kg⁻¹ no horizonte A (CHEPOTE et al., 2012). No entanto, os valores médios do COT e MO do solo verificados nesse trabalho foram classificados como baixos de acordo com Ribeiro et al. (1999) para o Estado de Minas Gerais.

A relação C/N na camada de 0-0,2 m apresentou comportamento quadrático atingindo o valor máximo (7,9) aos 700 DAP (Figura 2), com queda nas épocas seguintes. Entretanto,

na camada de 0,2-0,4 m o comportamento foi inverso atingindo valor mínimo da relação C/N (3,7) aos 1000 DAP, com posterior aumento nestes valores.

Em solos tropicais não revolvidos, na profundidade de solo de 0–0,2 m, a relação C/N varia de 10 a 15/1 (STEVENSON, 1994). Rangel et al. (2008) observaram que os baixos valores de relação C/N no solo sob cafeeiro podem ser consequência da menor relação C/N dos resíduos da cultura depositados no solo, decorrentes das adubações nitrogenadas feitas na cultura cafeeira. Esses autores relataram que outro fator a ser considerado são as prováveis perdas mais rápidas de CO em relação ao NT em sistemas com adições frequentes de resíduos orgânicos.

Redução da relação C/N do solo de 22 para 8 a 10 em três profundidades, num período de dois anos na palha de milho foram verificadas por Sampaio et al. (1990). Segundo os autores, isso resulta da perda mais acelerada de CO que do NT, principalmente na fase inicial da mineralização, em que as taxas de desaparecimento das formas mais lábeis do CO foram de duas a três vezes maiores que as de N.

Os maiores estoques de C orgânico no solo de 31,34 t ha⁻¹ na camada de 0-0,2 m e de 17,75 t ha⁻¹ na camada de 0,2-0,4 m foram observados aos 832 e 827 DAP, respectivamente (Figura 3). Enquanto de estoques de nitrogênio no solo na profundidade de 0-0,2 m apresentou comportamento linear atingindo os maiores estoques (4,47 t ha⁻¹) na última avaliação (1.150 DAP). Pegoraro et al. (2018) também observaram os maiores estoques de C no solo de (38,7 e 32,6 t ha⁻¹) e NT no solo de (4,4 e 3,6 t ha⁻¹) nas camadas superficiais (0-0,2 e 0,2-0,4 m) de culturas agrícolas no semiárido. Esses autores verificaram que o estoque de C e NT nas frações das substâncias húmicas da MOS não diferiu entre a maioria dos sistemas de cultivo e a mata nativa, indicando a manutenção do C e N nos solos cultivados em comparação à condição nativa.

Fernandes et al. (2018) estimaram o estoque de carbono em diferentes sistemas agroflorestais e observaram variação no estoque de carbono (8,01-1,42 t ha⁻¹) dentre os tipos de SAFs. Esses autores concluíram que a intensificação das plantações de cacau resulta em restrição da capacidade de estoque de carbono na fase inicial de estabelecimento de sistemas agroflorestais biodiversos. Torres et al. (2014) observaram que há grande variação no incremento médio em carbono nos diferentes modelos de sistemas agroflorestais, variando de 1,26 a 11,19 t C ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo da sua estrutura.

A dinâmica do carbono orgânico no solo no semiárido pode ser alterada por diferentes tipos de manejo. Alvarez et al. (2014) citaram o plantio direto e inclusão de gramíneas (milho) em sistema de rotação de culturas com soja. Palm et al. (2001) relataram que as plantas

presentes no semiárido usadas como adubação verde podem fornecer nutrientes, através do processo da decomposição e síntese de substrato para a matéria orgânica do solo. Oliveira et al. (2013) verificaram que sistema menos intensivo (goiabeira e banana irrigada) recupera os estoques de C e N do solo. Silva et al. (2016) observaram que o composto orgânico aumentou o estoque de C em substâncias húmicas. Na região semiárida do Mediterrâneo, Brahim et al. (2011) mostraram que em solo argiloso, o C orgânico era controlado por propriedades químicas e densidade aparente mais do que as propriedades físicas, enquanto no solo arenoso, o C orgânico era controlado por propriedades químicas mais do que propriedades físicas.

Oliveira (2016) avaliou o estoque de C dos solos de SAF de cacau e seringueira; SAF de cacau e eritrina; plantação de seringueira; pastagem floresta natural. A floresta natural obteve 65 t ha⁻¹ de C na profundidade de 0,2-0,4 m. De maneira geral, entre as profundidades de 0,2-0,6 m, houve aumento de C, principalmente na floresta natural e na pastagem.

O sistema de cultivo adotado neste trabalho inicialmente com a presença do bananal proporcionou acúmulo de biomassa na área, renovação de serapilheira e raízes, contribuindo para a estocagem de C no solo. Apesar do pseudocaulo da bananeira ser um resíduo lignificado e pouco eficiente na conversão em MOS, reduzindo a taxa de mineralização (PEGORARO et al., 2018). Em adição a isto, devido às condições climáticas do local do trabalho, com altas temperaturas e clima seco do semiárido, a taxa de degradação da palhada é considerada rápida (CAETANO et al., 2013). A produção de cacau em pleno sol deteriorou significativamente a qualidade do solo na Costa do Marfim, onde esse sistema de cultivo é atualmente o mais difundido (TONDOH et al., 2015).

O sistema de cultivo intensivo adotado no cacauero no semiárido com adubação, irrigação, material genético adaptado com plantas altamente produtivas, provavelmente alteraram a dinâmica do carbono e nitrogênio no solo. O cultivo do cacauero em qualquer sistema é um SAF (consorciado, cabruca, a pleno sol e intensivo) uma vez que o cacauero é uma espécie florestal. Desse modo, apresenta vantagens comparado aos outros cultivos como café, fruteiras, pastagens e até de vegetação nativa em regiões de agreste e semiárido pela presença necessária de a) sombreamento inicial; b) quebra-vento permanente e c) pela necessidade de poda frequente. Assim comparar o cultivo intensivo com sistemas agroflorestais, podem não refletir a verdadeira dimensão dos benefícios à biota do cultivo do cacauero.

Os resultados obtidos indicam que o elevado aporte de resíduos vegetais no cultivo do cacauero e da cultura usada como sombreamento provisório, e a ausência de revolvimento do solo durante a condução do trabalho, provavelmente contribuíram para aumentar ou preservar

os teores de C orgânico do solo. No entanto, para manter o estoque de carbono ao longo do tempo há necessidade de ajustes no manejo adotado. A utilização de espécies de plantas que são mais resistentes a decomposição (CAETANO et al., 2013) para aumentar a deposição de resíduos e uso de espécies florestais para sombreamento e quebra-ventos podem contribuir com a formação da matéria orgânica do solo, o sequestro de carbono, a reciclagem de nutrientes e a manutenção da biodiversidade (LOBÃO et al., 2007; MÜLLER e GAMA RODRIGUES, 2007) e assim aumentar os estoques de carbono e nitrogênio em solos semiáridos.

Conclusões

O teor de carbono orgânico do solo aumenta na camada superficial nas épocas de eliminação do bananal e poda do cacaueteiro.

A mudança no sistema de cultivo de sombreado com bananeira para pleno sol reduz os estoques de C no solo nas condições de clima semiárido.

O cultivo do cacaueteiro incrementa o teor e estoque de NT nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade do solo, no decorrer do tempo.

A relação C/N apresenta maiores valores na camada 0-0,2 m aos 700 DAP (estação seca).

O uso de irrigação em clima semiárido intensifica a decomposição da matéria orgânica do solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pela parceria; ao Instituto Biofábrica pelas doações das mudas; à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (COD 001) pela concessão de bolsas e apoio financeiro.

Referências

- ADDISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 161-168, 1992.
- ALVAREZ, C.; ALVAREZ, C. R.; CONSTANTINI, A.; BASANTA, M. Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 142, p. 25-31, 2014.
- BAIJUKYA, F. P.; RIDDER, N.; GILLER, K. E. Nitrogen release from decomposing residues of leguminous covercrop and their effect on maize yield on depleted soils of Bukoba District, Tanzania. **Plant Soil**, v. 279, p. 77-93, 2006.
- BASU, P. Forestry: a green investment. **Nature News**, v. 457, n. 8, p. 144-146, 2009.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983.
- BATISTA, A. A.; DUTRA, I.; CARMO, F. F.; IZIDIO, N. S. C.; BATISTA, R. O. Qualidade dos frutos de mamoeiro produzidos com esgoto doméstico tratado. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 70-80, 2017.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2008. p. 7-18.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- BRAHIM, N.; BLAVET, D.; GALLALI, T.; BERNOUX, M. Application of structural equation modeling for assessing relationships between organic carbon and soil properties in semiarid Mediterranean region. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, v. 8, p. 305-320, 2011.
- CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SILVA, G. P.; SILVA, I. R.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO. 2013. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1245-1255, 2013.
- CAMARGO, F. A. C.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.117-137.
- CHEPOTE, R. E.; SANTANA, S. O.; ARAUJO, Q. R.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERODIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Aptidão

agrícola e fertilidade de solos para a cultura do cacau. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacau**. Brasília, DF: CEPLAC, 2012. p. 67-110.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.

COSTA, M. B. B. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.

FERNANDES, C. A. F.; MATSUMOTO, S. N.; FERNANDES, V. S. Estoque de carbono no desenvolvimento de diferentes projetos de sistemas agroflorestais de biodiversidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 10, p. 720-725, 2018.

FRANCIS, G. S.; BARTLEY, K. M.; TABLEY, F. J. The effect of winter cover crop management on nitrate leaching losses and crop growth. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 131, n. 3, p. 299-308, 1998.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two 48 cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, New York, v. 45, n. 2, p. 274-283, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 25 jan. 2019.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LOBÃO, D. E.; SETENTA, W. C.; LOBÃO, E. S. P.; CURVELO, K.; VALLE, R. R. Cacau cabruca: sistema agrossilvicultural tropical. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacau**. Brasília, DF: CEPLAC, 2007. p. 290-323.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. B. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 913-922, 2010.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MULLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Sistemas agroflorestais com cacau. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacau**. Brasília, DF: CEPLAC, 2007. p. 246-271.

MURDOCH, P. S.; BURNS, D. A.; LAWRENCE, G. B. Relation of climate change to the acidification of surface waters by nitrogen deposition. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 32, n. 11, p. 1642-1647, 1998.

- NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 1, p. 10-23, 2009.
- PALM, C. A.; GILLER, K. E.; MAFONGOYA, P. L.; SWIFT, M. J. Management of organic in the tropics: Translating theory into practice. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 1-2, p. 63-75, 2001.
- PEGORARO, R. F.; MOREIRA, C. G.; DIAS, D. G.; SILVEIRA, T. C. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 49, n. 4, p. 574-583, 2018.
- PERIN, A. **Desempenho de leguminosas herbáceas perenes com potencial de utilização para cobertura viva e seus efeitos sobre alguns atributos físicos do solo**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 713-720, 2002.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaços de plantio de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2051-2059, 2008.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALAVEZ, V. H. V. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: UFV, 1999.
- RITA, J. C. O.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; POLIDORO, J. C.; MACHADO, R. C. C.; BALIGAR, V. C. C and N content in density fractions of whole soil and soil size fraction under cacao agroforestry systems and natural forest in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, New York, v. 48, n. 1, p. 134-141, 2011.
- SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. M.; ESCOBAR, E. O.; XAVIER, F. A. S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Estoque de carbono e nitrogênio no solo em sistemas agrícolas e agroflorestais tradicionais na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 784-795, 2013.
- SALES, R. P.; PEGORARO, R. F., PORTUGAL, A. F., MOREIRA, J. A. A., KONDO, M. K. Frações da matéria orgânica em latossolo irrigado no semiárido sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 303-312, 2017.
- SAMPAIO, E. V. S.; SALCEDO, I. H.; LIMA JÚNIOR, M. A.; BETTANY, J. Decomposição de palha de milho (14C-15N) incorporada a três profundidades em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 269-276, 1990.
- SANTANA, M. B. M.; CABALA, R. P. Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. **Plant Soil**, v. 67, p. 91-103, 1982.

SILVA, J. R.; SILVA, D. J.; GAVA, C. A. T.; OLIVEIRA, T. C. T.; FREITAS, M. S. C. Carbon in humic fractions of organic matter in soil treated with organic composts under mango cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-11, 2016.

SILVA, L. F.; MELO, A. A. O.; CARVALHO FILHO, R.; DIAS, A. C. C. P. Características dos principais solos de cacau da Bahia. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 2., 1967. **Anais [...]** p. 412-416.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: Genesis, composition, reactions. New York: John Wiley & Sons, 1994. 512 p.

TEDESCO, H. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRS, 1985. 12 p. Boletim Técnico, 5.

TONDOH, J. E.; KOUAMÉ, F. N.; GUÉI, A. M.; SEY, B.; KONÉ, A. W.; GNESSOUGOU, N. Ecological changes induced by full-sun cocoa farming in Côte d'Ivoire. **Global Ecology and Conservation**, Oxford, v. 3, p. 575-595, 2015.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.

WEBER, R.; FAUST, H.; SCHIPPERS, B.; MAMAR, S.; SOETARTO, E.; KREISEL, W. Migration and ethnicity as cultural impact factors on land use change in the rainforest margins of Central Sulawesi, Indonesia. In: TSCHARNTKE, T.; LEUSCHNER, C.; ZELLER, M.; GUHARDJA, E.; ARIFUDIN, B. (Eds.). **The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation**. Berlin: Springer, 2007. p. 417-436.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

Figuras e tabelas

Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo (camada 0-0,2 m) coletado na área de cultivo de cacauero na região de semiárido antes da implantação do experimento

pH ¹	MO ²	P ³	K ³	Na ³	Ca ⁴	Mg ⁴	Al ⁴	H+Al ⁵	SB	t	T
	dag kg ⁻¹	-- mg dm ⁻³ --						cmol _c dm ⁻³			
5,4	0,9	3,7	72,0	0,1	1,3	0,5	0,3	1,8	2,1	2,4	3,9
V	m	B ⁶	Cu ³	Fe ³	Mn ³	Zn ³	Prem ⁸	CE	Areia	Silte	Argila
----- % -----				mg dm ⁻³			mg L ⁻¹	dS m ⁻¹	----- dag kg ⁻¹ -----		
53,0	13	0,3	0,5	31,3	5,3	0,5	39,6	0,5	64	9	27

¹pH em água; ²Colorimetria; ³Extrator: Mehlich-1; ⁴Extrator: KCl 1mol L⁻¹; ⁵pH SMP; ⁶Extrator: BaCl₂;

⁸Solução equilíbrio de P. SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; P-REM: Fósforo remanescente; CE: Condutividade elétrica.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância dos tratamentos para os atributos químicos de solo cultivado com cacaueteiro em condições de semiárido em oito épocas e duas camadas de solo

Quadrado médio							
FV	GL	C	MO	N	C/N	ESTC	ESTN
0-0,2 m							
Clones (C)	7	0,016 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,761 ^{ns}	17,945 ^{ns}	0,324 ^{ns}
Bloco	2	0,478	1,423	0,001	17,062	526,573	1,089
Resíduo A	14	0,022	0,068	0,000	1,878	25,410	0,444
Época (E)	7	0,529 ^{***}	1,565 ^{***}	0,012 ^{***}	30,630 ^{***}	581,879 ^{***}	12,930 ^{***}
C x E	49	0,008 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,000 ^{ns}	1,894 ^{ns}	8,843 ^{ns}	0,404 ^{ns}
Resíduo B	126	0,021	0,064	0,000	2,502	23,960	0,313
Total corrigido	191						
CV 1(%)		17,11	17,19	15,00	19,40	17,18	15,34
CV 2 (%)		16,70	16,67	13,49	22,39	16,68	12,89
MÉDIA		0,88	1,52	0,13	7,06	29,34	4,34
0,2-0,4 m							
Clones (C)	7	0,017 ^{ns}	0,062 ^{ns}	0,000 ^{ns}	1,481 ^{ns}	19,221 ^{ns}	0,658 ^{ns}
Bloco	2	0,030	0,103	0,002	24,443	34,600	2,746
Resíduo A	14	0,013	0,045	0,000	1,115	15,646	0,213
Época (E)	7	0,064 ^{***}	0,210 ^{***}	0,011 ^{***}	121,719 ^{***}	73,951 ^{***}	13,111 ^{***}
C x E	49	0,004 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,000 ^{ns}	1,022 ^{ns}	4,809 ^{ns}	0,252 ^{ns}
Resíduo B	126	0,009	0,0321	0,000	3,817	11,055	0,414
Total corrigido	191						
CV 1 (%)		20,24	21,68	12,66	18,89	20,23	11,74
CV 2(%)		17,01	17,84	16,48	34,95	17,01	16,37
MÉDIA		0,57	0,98	0,11	5,58	19,54	3,93

***: 5% de significância pelo teste F, ns: não significativo pelo teste F. C: carbono orgânico do solo; MO:

matéria orgânica; N: nitrogênio total do solo; C/N: relação C/N do solo; ESTC: estoque de carbono total do solo;

ESTN: estoque de nitrogênio total do solo.

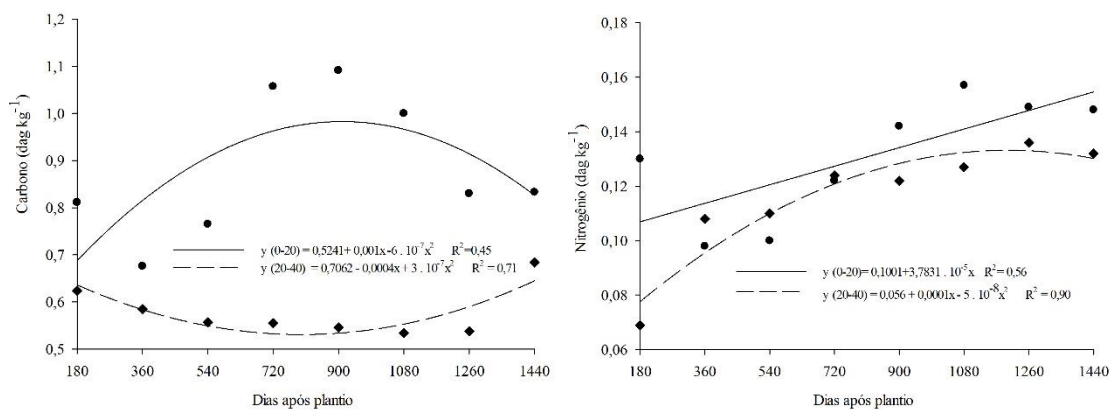


Figura 1 - Carbono orgânico total do solo e nitrogênio total do solo cultivado com cacauero em condições semiáridas.

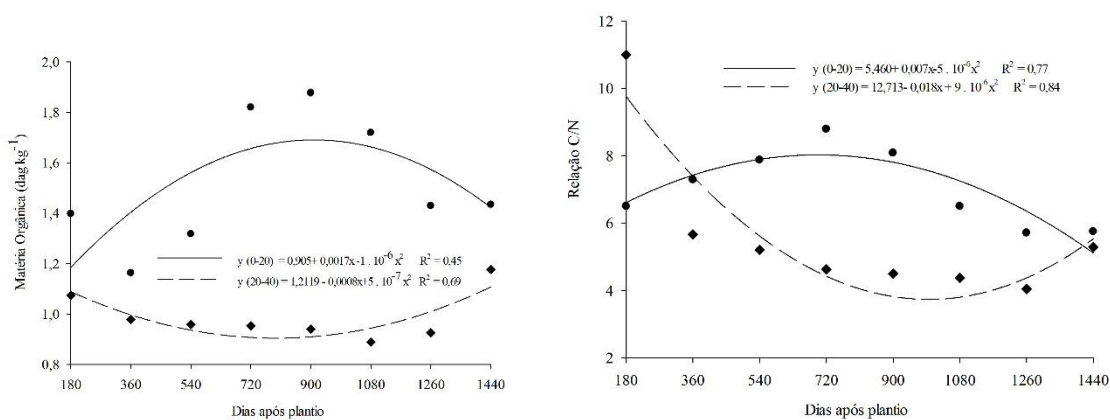


Figura 2 - Matéria orgânica e relação C/N no solo cultivado com cacauero em condições semiáridas.

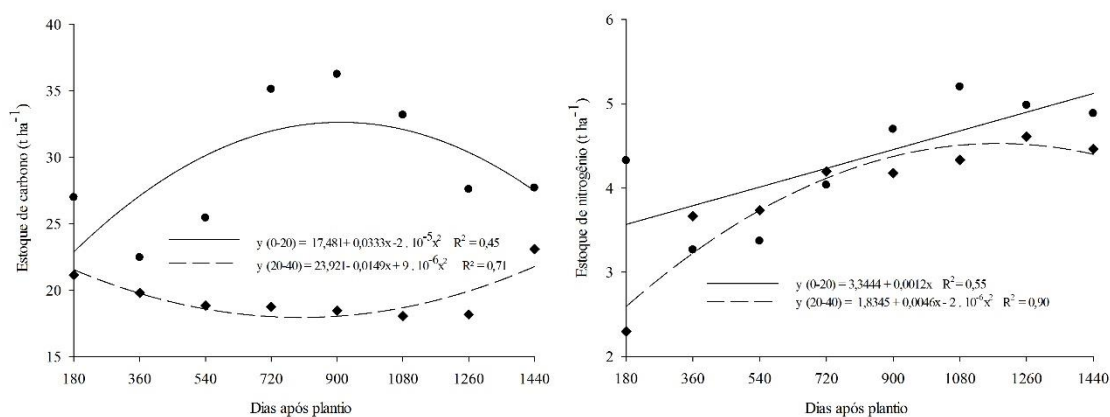


Figura 3 - Estoque de carbono orgânico total do solo e estoque de nitrogênio total no solo cultivado com cacauero em condições semiáridas.

CAPÍTULO 4

**Teores foliares de macronutrientes e índice de clorofila na fase reprodutiva de
cacaueiros no semiárido**

(Formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Fruticultura)

TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES E ÍNDICE DE CLOROFILA NA FASE REPRODUTIVA DE CACAUEIROS CULTIVADOS NO SEMIÁRIDO

Resumo: O cultivo de clones de cacaueteiro em regiões não tradicionais de cultivo requer novos estudos relacionados aos aspectos nutricionais em função das alterações no manejo, condições climáticas e das distintas demandas nutricionais dos clones. Objetivou-se avaliar os teores foliares de macronutrientes e o índice de clorofila (SPAD) em clones de cacaueteiro na fase reprodutiva, sob duas condições de disponibilidade de água no solo e em duas épocas de avaliação. O experimento foi delineado em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas oito clones (SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16 e CCN 51), nas subparcelas duas condições de água disponível no solo: faixa com irrigação plena (fileira de plantas com microaspersores próximos, proporcionando 100% da água disponibilizada ao solo) e faixa que recebeu 25% a menos de água em relação à primeira (fileira com microaspersores afastados, de modo a disponibilizar 75% da água no solo). As duas épocas de avaliação nas sub subparcelas foram: E1: época 1 (março/2017) e E2: época 2 (setembro/2017). A época 1 corresponde ao final da estação chuvosa na região, enquanto a época 2 corresponde ao final da estação seca. Foram feitas avaliações em duas épocas no ano de 2017 do índice SPAD e análises foliares dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Os dados foram interpretados por meio de análise de variância univariada e multivariada, correlação de Pearson e variáveis canônicas. O teor foliar de macronutrientes em todos os clones e duas épocas de amostragem tem a seguinte ordem decrescente: N>Ca>K>Mg>S>P. O índice SPAD nas folhas do cacaueteiro não se correlaciona com o teor de N nas plantas cultivadas no semiárido. A redução de disponibilidade de água no solo reduz o teor de K e aumenta o teor de Ca nas folhas do cacaueteiro ao final da estação chuvosa. Os teores foliares de macronutrientes Mg, Ca, S, N e K apresentam maiores associações quando avaliados de forma conjunta no cultivo do cacaueteiro a pleno sol e em clima semiárido.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, macronutriente, nutrição, manejo da irrigação.

Abstract: The cultivation of cocoa clones in non-traditional cultivation regions requires further studies related to nutritional aspects due to changes in management, climatic conditions and the different nutritional demands of the clones. The objective was to evaluate the macronutrient leaf contents and the chlorophyll index (SPAD) in cacao clones in the

reproductive phase, under two conditions of water availability in the soil and in two evaluation periods. The experiment was designed in randomized blocks in sub-divided plots, with eight clones in the plots (SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16 and CCN 51), in the subplots, two conditions of water available in the soil: strip with full irrigation (row of plants with micro sprinklers nearby, providing 100% of the water available to the soil) and strip that received 25% less water compared to the first (row with micro-sprinklers in order to provide 75% of the water in the soil). The two assessment periods in the sub-plots were: E1: season 1 (March/2017) and E2: season 2 (September/2017). Season 1 corresponds to the end of the rainy season in the region, while season 2 corresponds to the end of the dry season. Evaluations were made at SPAD index in two seasons in 2017 and foliar analyzes of the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S). The data were interpreted using univariate and multivariate analysis of variance, Pearson's correlation and canonical variables. The leaf content of macronutrients in all clones and two sampling times has the following decreasing order: N > Ca > K > Mg > S > P. The SPAD index on cacao leaves does not correlate with the N content in plants grown in the semiarid region. The reduction of water availability in the soil reduces the K content and increases the Ca content in the cacao leaves at the end of the rainy season. Leaf contents of macronutrients Mg, Ca, S, N and K show greater associations when evaluated together in the cultivation of cacao in full sun and in a semiarid climate.

Keywords: *Theobroma cacao*, macronutrient, nutrition, irrigation management.

Introdução

O Brasil é atualmente o sétimo produtor mundial de cacau (ICCO, 2019) com sua produção distribuída principalmente pelos estados da Bahia, Pará, Espírito Santo e Rondônia (IBGE, 2019). Contudo dos últimos anos, tem havido implantação de novos plantios com uso intensivo de tecnologias, com excelentes resultados, nas regiões tradicionais de cultivo bem como nas regiões não tradicionais como Cerrado, Tabuleiros Costeiros e Semiárido (LEITE et al., 2012).

O Brasil é um dos países que mais utilizam tecnologia no cultivo do cacau (CHEPOTE et al., 2005; SOUZA et al., 2016). Dentre os diversos fatores tecnológicos que asseguram esse comportamento destacam-se os ajustes com adubação e nutrição do cacau.

Segundo Marschner (2012) a absorção, a disponibilidade e a distribuição de nutrientes na planta estão relacionadas com sua taxa de crescimento e são fatores que exercem grande influência sobre a produtividade. Santos (2018) avaliou a distribuição relativa de nutrientes em sete clones de cacauzeiros (CCN 51, CCN 10, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2007, PH 15 e PS 1319) nas folhas, casca e amêndoas, e observou que os nutrientes envolvidos diretamente nos processos fotossintéticos e estruturais acumulam-se mais nas folhas (N, Ca, Mg e S), o K na casca e o P na amêndoa, evidenciando o quanto o cacauzeiro é exigente para este nutriente. Essa autora verificou com base nas médias gerais dos clones, a ordem decrescente de absorção dos macronutrientes foi a seguinte: $N > K > Ca > Mg > P > S$.

A maior exigência de nitrogênio pelo cacauzeiro e a sua baixa disponibilidade em solos tropicais faz com que este seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade (REIS et al., 2006).

A análise foliar é uma boa ferramenta na recomendação da adubação. Porém, há necessidade de obtenção de novos métodos que determinem de forma mais rápida e confiável o teor foliar de nutrientes em plantas cultivadas, uma vez que dependendo da localidade e disponibilidade de laboratório de análises químicas, a entrega dos resultados pode ser demorada e de alto custo (DANTAS et al., 2012). Nesse contexto, os clorofilômetros podem ser utilizados como ferramentas não destrutivas para a avaliação do conteúdo de N em plantas (DANTAS et al., 2012). A avaliação do índice SPAD possibilita o rápido diagnóstico do estado nutricional da planta do cacauzeiro (DANTAS et al., 2012). Assim pode contribuir para o fornecimento adequado de fertilizantes nitrogenados (SANT'ANA et al., 2010) e ajustes nos programas de adubação. Em algumas frutíferas, como *Ananas comosus* var. *comosus* (LEONARDO et al., 2013), *Citrus* sp (SOUZA et al., 2011) e *Carya illinoensis* (HARDIN et al., 2012), o uso do índice SPAD tem-se mostrado adequado para auxiliar no manejo na adubação nitrogenada.

Os trabalhos de pesquisa com demanda nutricional em plantas de cacauzeiro foram realizados em condições climáticas e edáficas diferentes do semiárido (ARDISANA et al., 2018; DANTAS et al., 2012; MEDAUAR et al., 2018; SANTOS, 2018) e da mesma forma, com materiais genéticos de cacau também diferentes. Por isso, faltam informações sobre o estado nutricional do cacauzeiro em condições semiáridas e cultivados a pleno sol.

Portanto, objetivou-se avaliar o índice SPAD e os teores foliares de macronutrientes em clones de cacauzeiro na fase reprodutiva em duas condições de disponibilidade de água no solo e em duas épocas no ambiente de clima semiárido.

Material e métodos

O experimento foi implantado na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, no município de Janaúba, MG, localizada a 15°43'49" S, 43°19'22" O, com 533 metros de altitude. O solo da área no momento da primeira amostragem foliar tinha os seguintes atributos na camada 0-0,2 m: pH (em água) 7,0; matéria orgânica 1,3 dag kg⁻¹; P e K(Mehlich-1) 17,0 e 175,0 mg dm⁻³, respectivamente; Ca e Mg (KCl 1 mol L⁻¹) 6,2 e 1,3 cmol_c dm⁻³, respectivamente; H+Al (pH SMP) 1,2 cmol_c dm⁻³ e V de 87%. Na área utilizada na camada de 0,2-0,4 m: pH (em água) 6,1; matéria orgânica 0,8 dag kg⁻¹; P e K(Mehlich-1) 4,3 e 141,8 mg dm⁻³, respectivamente; Ca e Mg (KCl 1 mol L⁻¹) 3,7 e 0,9 cmol_c dm⁻³, respectivamente; H+Al (pH SMP) 2,2 cmol_c dm⁻³ e V de 69%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso. Para a análise univariada considerou parcelas subdivididas com os clones nas parcelas e duas condições de água disponível no solo nas subparcelas e as épocas analisadas de modo separado em cada época de avaliação. Para a análise multivariada foi considerado o esquema em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas oito tratamentos (clones), nas subparcelas duas condições de água no solo e nas sub subparcelas duas épocas de avaliação, com três repetições.

Os clones utilizados foram: SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2005, CEPEC 2006, PS 1319, Ipiranga 1, PH 16 e CCN 51. As duas condições de disponibilidade de água no solo nas subparcelas foram: faixa com irrigação plena (fileira de plantas com microaspersores próximos, proporcionando 100% da água disponibilizada ao solo) e faixa que recebeu 25% a menos de água em relação à primeira (fileira com microaspersores afastados, de modo a disponibilizar 75% da água no solo, verificados pelo monitoramento periódico de umidade do solo). As duas épocas de avaliação nas sub subparcelas foram: E1: época 1 (março/2017) e E2: época 2 (setembro/2017). A época 1 corresponde ao final da estação chuvosa na região, enquanto a época 2 corresponde ao final da estação seca.

As mudas foram produzidas no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), de Ilhéus (BA), usando estaquia de ramos plagiotrópicos e método descrito por Sodré (2013) e transplantadas aos 7 meses para o campo. O controle mecânico de plantas daninhas, poda de formação e manutenção, controle de pragas e controle de sombreamento foi feito de acordo com Marrocos et al. (2003).

As irrigações foram realizadas por um sistema de microaspersão. O manejo da água da irrigação foi feito com o auxílio do aplicativo Irriplus[®] (MANTOVANI et al., 2009), com o qual se determinou a demanda hídrica do cacauzeiro (ET_c), utilizando-se o modelo de Penman-

Monteith (ALLEN et al., 2006) para o cálculo da ETo. Os dados foram coletados de estação meteorológica localizada a 9 km do experimento. A eficiência de aplicação (Ea) foi estimada mediante avaliações do sistema de irrigação a campo (BERNARDO et al., 2008) sendo a média observada igual a 91%. Mediante os resultados de ETc, Ea e vazão do emissor (qe), foram calculadas lâminas líquidas, lâminas brutas acumuladas no turno de rega e tempos de funcionamento do sistema de irrigação. Decorridas as aplicações, as lâminas líquidas foram recalculadas a partir dos tempos de funcionamento já que esses também foram ajustados periodicamente a partir da umidade do solo. A umidade do solo foi determinada pelo método-padrão de estufa (BERNARDO et al., 2008), sendo que as amostras foram coletadas mensalmente em três profundidades de 0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m em cada subparcela, sendo considerada como 0,40 m a profundidade efetiva do sistema radicular.

O espaçamento utilizado foi de 3 x 2 m entre linhas de plantio e plantas, respectivamente. O espaçamento dos microaspersores foi de 6 x 2 m, sendo um microaspersor com vazão média de 95,1 L h⁻¹ (à pressão média de 14 m.c.a) para cada duas plantas. O plantio foi feito em box com uso de quebra-ventos com *Pennisetum purpureum*, em área sombreada com bananal da cultivar Prata-Anã. Passados dois anos do plantio dos clones do cacauero, o bananal foi totalmente eliminado e o experimento passou a ser conduzido na condição de pleno sol.

No terceiro ano de cultivo, quando foram feitas as avaliações e realizadas quatro adubações de cobertura com N e K₂O (50 g de sulfato de amônio e 50 g de cloreto de potássio por vez), duas adubações de cobertura com micronutrientes (2 g de ácido bórico, 5 g de sulfato de zinco e 2 g de sulfato de cobre por planta) e duas de P com 500 g de superfosfato simples e 300 g de MAP e oito adubações foliares com macro e micronutrientes a cada 45 dias.

As amostras foliares foram coletadas em duas épocas no ano de 2017 (março e setembro) no terceiro ano de cultivo do cacauero que coincidiu com o primeiro ano de produção. A estimativa de intensidade de cor verde foi avaliada por meio do medidor portátil de clorofila SPAD-502 Chlorophyll Meter (Minolta). Foram feitas três leituras em cada folha amostrada. Essa mesma folha foi coletada para análise foliar. Para realização das avaliações foram utilizadas a terceira folha a partir do ápice de um lançamento recém amadurecido, na meia altura da copa da planta conforme metodologia proposta por Sodré et al. (2001). As folhas coletadas para análise foram acondicionadas em sacos plásticos e transportados para o laboratório, sendo lavados em água destilada para retirada dos resíduos. Posteriormente, foi realizada a secagem em estufa a 65°C por 72 horas. As amostras foram trituradas em moinho

tipo Wiley e então, submetidas à digestão nítrico-perclórica para a determinação dos teores de K (fotometria de chama), de P (colorimetria, pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo, 1974), Ca, Mg e S (espectroscopia de absorção atômica). O nitrogênio (N) foi determinado por destilação após digestão com ácido sulfúrico (BATAGLIA et al., 1983).

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância univariada e multivariada. As médias dos fatores qualitativos foram comparadas pelo teste de Scot-Knott a 5% de significância. Correlações de Pearson entre as médias das características avaliadas também foram estimadas e suas significâncias foram estimadas pelo teste t. A dispersão dos escores da análise de variáveis canônicas foram feitas em gráfico de dispersão bidimensional. A análise estatística foi feita com auxílio do software estatístico R, pacote ExpDes.pt.

Resultados e discussão

O teor de macronutrientes e o índice clorofila não foram influenciados pela interação entre clones e água no solo (Tabela 1) em nenhuma das épocas avaliadas. Conforme o resumo de análise de variância univariada observou-se significância na época 1, dos fatores isolados das parcelas (clone) no teor foliar de Ca e da subparcela (água no solo) nos teores foliares de K e Ca. Na segunda época de avaliação estudada (época 2), observou-se efeito apenas dos clones nos teores foliares de P, S e Mg.

Considerando a primeira época de avaliação (março de 2017), foi observado a separação dos clones em 2 grupos para os teores foliares de Ca pelo teste Scot-Knott. O primeiro grupo foi formado pelo clone CEPEC 2002 isoladamente que se mostrou superior aos demais clones para esta característica. Quanto à disponibilidade de água no solo, os teores foliares de K e Ca foram superiores quando as plantas receberam 100 e 75% de disponibilidade de água no solo, respectivamente (Tabela 1).

Na segunda época de avaliação (setembro de 2017), houve diferenças significativas entre clones para os teores foliares dos macronutrientes P, S e Mg. Em todos os casos foram formados 2 grupos pelo teste de Scott-Knot ($p < 0,05$). Para os teores foliares de P, o primeiro grupo foi formado pelos clones PS 1319 e CCN 51, com valores de 1,98 e 2,07 g kg⁻¹, sendo estes valores superiores aos valores observados no segundo grupo. Os clones que formaram o segundo grupo (SJ 02, CEPEC 2002, 2005 e 2006, Ipiranga 1 e PH 16) apresentaram valores médios de teores foliares de P variando de 1,52 a 1,73 g kg⁻¹. Estes valores estão abaixo da faixa de suficiência para clones de cacauzeiros sugeridos por Sodré (2017), acima de 1,8 g kg⁻¹. Somente os clones que foram superiores no agrupamento que apresentaram teores adequados,

indicando que a faixa de suficiência para P pode variar conforme o material genético, uma vez que todas as plantas receberam o mesmo tratamento de adubação, e a região de cultivo. Como as plantas estavam em fase de produção, provavelmente o P, foi translocado das folhas para as sementes, uma vez que essas demandam P em grande quantidade (SANTOS, 2018).

Ainda considerando a segunda época, para os teores foliares de S, os clones também foram separados em dois grupos, com os clones CEPEC 2002, CEPEC 2006, PH 16 e CCN 51 no primeiro grupo, com valor superior, e os clones SJ 02, CEPEC 2005, PS 1319 e Ipiranga 1 formando o segundo grupo. Os teores foliares deste macronutriente foram adequados para todos os clones, pois valores entre 1,0-2,5 g kg⁻¹ (SOUZA JUNIOR et al., 2012) são suficientes para a cultura do cacaueteiro.

Os teores foliares de Mg também apresentaram diferenças significativas entre clones na segunda época de avaliação. Da mesma forma foram formados dois grupos pelo teste de Scott-Knot sendo os clones SJ 02, CEPEC 2002, CEPEC 2006, Ipiranga 1 e CCN 51 componentes do grupo superior estatisticamente (6,48 a 7,33 g kg⁻¹). A maior eficiência de utilização de Mg para estes clones pode ser vinculada a sua utilização no metabolismo e crescimento, demonstrando a existência de diferenças entre os materiais genéticos testados. O Mg tem sua principal função na planta no processo de fotossíntese (GUIMARÃES, 2000) por fazer parte da molécula de clorolifa além de ser ativador enzimático da ribulose 1,5-bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

Maior crescimento e desenvolvimento das plantas requer maiores taxas fotossintéticas, culminando numa maior exigência em Mg. O Mg se movimenta na parte aérea pela corrente transpiratória, sendo móvel no floema (MALAVOLTA et al., 1997; MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017), assim é translocado das folhas mais velhas para as mais novas ou para os pontos de crescimento (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

A sequência dos teores foliares observados para todos os clones, nas duas épocas, em ordem decrescente foi N>Ca>K>Mg>S>P. Estes resultados diferiram de Santos (2018) apenas em relação ao Ca e K, em que os nutrientes apresentaram uma sequência de N > K > Ca > Mg > P > S. Entretanto, corroboraram com os resultados de Puentes-Paramo et al. (2016) para o clone CCN 51.

O N apresentou os maiores teores entre os macronutrientes analisados. Os teores médios variaram entre 23,66 e 24,69 g kg⁻¹ e não diferiram entre os clones e níveis de água disponível no solo. Daymond et al. (2011) avaliaram clones de cacaueteiro e encontraram teores médios de N foliar entre 23,9 g kg⁻¹, corroborando com os resultados encontrados. Esses

autores verificaram que folhas mais finas foram parcialmente compensadas por maior concentração de nitrogênio por unidade de massa (mg^{-2}).

Segundo Basso (1995), citado por Souza Junior et al. (2008), as fontes de N podem modificar a nutrição de Ca devido a alteração do pH externo; competição com NH_4^+ ou estimulação pelo NO_3^- na absorção de Ca; melhoria do transporte de Ca no xilema, porque o NO_3^- é o ânion acompanhante preferencial no transporte de Ca dentro da planta.

O K é um dos macronutrientes mais absorvidos pelas plantas do cacau nas folhas, frutos e casca (SANTOS, 2018; SODRÉ et al., 2007). Estes autores verificaram teores de K superiores aos de Ca, o que não foi observado no presente estudo. O K corresponde a 70% dos nutrientes na seiva do xilema do cacau (ALMEIDA e VALLE, 2007). No semiárido, o K foi o terceiro macronutriente mais absorvido pelas folhas do cacau, divergindo dos trabalhos de Santos (2018) e Souza Junior et al. (2012). Fatores como translocação de K para os frutos, disponibilidade de água no solo, interação do K com a intensidade luminosa e com outros nutrientes, fontes de adubos potássicos, tipo de solo, lixiviação e fixação de acordo com as doses aplicadas, teor de reserva total de K no solo e sua ciclagem no agrossistema do cacau, influenciam a resposta do cacau à adubação com K (RODRIGUES, 1983). Gama-Rodrigues (1995) atribuíram a adubação com K, um dos mecanismos de redução dos efeitos negativos do estresse hídrico severo no cacau.

As maiores médias para Ca foram observadas no clone CEPEC 2002 quando as plantas foram irrigadas com 75% de água disponível no solo na primeira época de avaliação. Os teores foliares médios de Ca ($19,89$ e $23,16 \text{ g kg}^{-1}$) para as duas épocas de avaliação se encontram em excesso para a cultura do cacau (SODRÉ, 2017). Entretanto, esses valores estão próximos aos verificados por Abreu Junior (1996) que considerou adequados teores foliares de Ca entre $16,7$ - $22,2 \text{ g kg}^{-1}$. Os altos teores de carbonato de cálcio provenientes da água de poço utilizada parcialmente na irrigação podem ter elevado os teores de cálcio nas folhas. O Ca é componente da parede celular (MARSCHNER, 2012), assim, para maior crescimento da planta são necessários maiores teores de Ca disponíveis para a absorção na raiz, caule, folha, flor ou fruto (NEVES et al., 2015).

Os teores foliares de N, P, Mg e S observados no presente estudo são próximos aos valores reportados por Santos (2018) em estudo avaliando a produtividade e exportação de nutrientes pelos clones de cacaueiros: CCN-51, CCN-10, CEPEC2002, CEPEC2005, CEPEC2007, PH15 e PS1319. Puentes-Paramo et al. (2014), avaliando o clone CCN 51, obtiveram valores de $20,7$, $2,31$ e $24,22 \text{ g kg}^{-1}$ de N, P e K, respectivamente. Os clones testados neste trabalho são autocompatíveis com alta produção de flores. Portanto, estes

clones têm maior demanda de nutrientes para a formação destas estruturas, condição que garante uma alta fertilidade e conseqüente produção (MORA et al., 2011).

Os índices SPAD para as épocas 1 e 2 corresponderam a 47,05 e 47,22, respectivamente (Tabela 2). Estes resultados estão abaixo ao observado na literatura para a cultura do cacau. Medauar et al. (2018) e Dantas et al. (2012) encontraram valores médios de índice SPAD de 56 e 52,25, respectivamente. Medauar et al. (2018) observaram que os índices foliares de clorofila em setembro, janeiro e fevereiro apresentaram variação intermediária, enquanto nos meses de outubro, março e abril apresentaram baixa variação. Variações nos índices de clorofila para a mesma espécie são correspondentes às adaptações morfológicas ocorridas em resposta às variações de luminosidade no ambiente (DANTAS et al., 2012).

A tabela 3 apresenta as correlações de Pearson das características foliares dos clones de cacau avaliadas. Não houve correlação entre o índice SPAD e os teores foliares de macronutrientes estudados. A maior correlação significativa ocorreu entre os teores foliares dos macronutrientes N e P (0,69), seguida dos macronutrientes N e K (0,64), N e S (0,46), P e K (0,37) e P e S (0,37).

Segundo Puentes-Paramo et al. (2016), as relações entre os nutrientes N/Mg, N/P, N/S e N/K apresentaram associação com o rendimento do cacau, sendo os dois primeiros, apresentando efeito positivo e o restante apresentou efeito negativo no rendimento. Quanto a relação N/P foliar, esses autores relataram que o teor de fósforo varia nas plantas devido à dose e forma da aplicação de nitrogênio e quando nitratos são aplicados, uma situação semelhante ocorre com a concentração de fósforo no floema, o que é favorecido pela aplicação de nitrogênio amoniacal. O P e o N interagem de forma sinérgica e em doses adequadas, promovem aumentos na produção vegetal (SHUMAN, 1994).

Quanto a correlação significativa observada para os teores de nutrientes foliares de N e S, Puentes-Paramo et al. (2016) verificaram que a absorção de enxofre e outros ânions é afetada pela dose e altas concentrações de nitrogênio e pela forma do nitrogênio, seja amônio ou nitrato. Estes autores verificaram efeito negativo na relação N/S foliar nos tratamentos com maiores doses de N e notaram que os teores de nitrogênio em solos sem enxofre no programa de fertilização criam um desequilíbrio afetando o rendimento do cacau.

O índice SPAD nas folhas do cacau não se correlacionou com o teor de N na planta (Tabela 3). O índice SPAD pode modificar durante as fases de desenvolvimento da planta. À medida que aumenta a disponibilidade de luz, há menos necessidade de produção de clorofila (GODOY et al., 2008). Wang et al. (2012) relataram que folhas expostas ao sol priorizam a

produção bioquímica da fotossíntese, de modo que N é preferencialmente alocado em enzimas cloroplásticas, como redutase de nitrato, rubisco, entre outras, em detrimento do sistema de coleta de luz (clorofilas), preterido sob baixa irradiância. Portanto, deve-se considerar o fato de que neste trabalho, na época da coleta dos dados, o cultivo era a pleno sol e a radiação fotossinteticamente ativa medida no local ultrapassa com frequência o valor de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Outro fator a ser considerado para a ausência de correlação entre o teor de N e o índice SPAD é que não existem níveis de N no estudo para que a correlação possa ser caracterizada, indicando dispersão dos dados em uma relação específica. Isso é confirmado pela ausência de efeitos significativos dos teores foliares de N. Entretanto, Dantas et al. (2012) determinaram a capacidade do SPAD em estimar o teor foliar de N do cacauzeiro e obtiveram correlação significativa e positiva com o teor foliar de N.

Estes resultados indicam que o teor foliar de N é melhor parâmetro para prever a necessidade de N do que a leitura SPAD, uma vez que os teores foliares de N encontram-se adequados para o cacauzeiro e as leituras foram feitas no mesmo local de coleta tradicional de folhas para diagnose foliar. Vale ressaltar que em todas as análises feitas (análise univariada e multivariada, correlação de Pearson, variáveis canônicas) não houve efeito significativo para índice SPAD.

Silva et al. (2018) avaliaram o uso da imagem digital para prever o status nutricional de N em cacauzeiros e observaram que o déficit hídrico reduziu a radiação interceptada, e aumentou a radiação refletida pelas árvores, mostrando que o fator umidade pode influenciar na utilização desse indicador do status de N na planta. Estes autores concluíram que o método da análise de imagem digital mostrou restrições para prever o estado nutricional de N em cacauzeiros.

Ardisana et al. (2018) observaram maiores diferenças na medição de índice SPAD na estação seca, e atribuíram esses resultados à maior adaptabilidade de alguns clones às condições de baixa disponibilidade de água. Todavia, no presente trabalho não houve diferenças para o índice SPAD para os níveis de água disponível no solo. Avila-Lovera et al. (2016) avaliaram plantas de cinco anos de idade de cultivares de cacau crioulo e encontraram teor de N total nas folhas de 2 e 5 mg^{-2} . Eles relataram que a baixa taxa fotossintética pode ser explicada pelo baixo teor de N.

Santos (2018) verificou que as diferenças de teores foliares dos nutrientes entre os clones podem ser reflexo de demandas nutricionais distintas ou ainda dos efeitos concentração/diluição, ou seja, clones que têm maior produção. No entanto, a variação nos

teores foliares de alguns nutrientes pode ser explicada pelas diferentes respostas dos clones a práticas de manejo, bem como as diferenças fenológicas entre os genótipos.

A análise de variância multivariada (MANOVA) apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) da interação entre clones x épocas, bem como para os efeitos isolados destes fatores. O efeito significativo da interação indica que os clones e épocas atuam de forma conjunta ao considerar a análise de forma multivariada (Tabela 4). As importâncias relativas dos caracteres foliares nas variáveis canônicas podem ser verificadas na Tabela 5. Quanto maior o valor da correlação canônica, maior a associação entre a característica estudada e a variável canônica.

Observou-se que as características que tiveram maior associação com a variável canônica 1 (VC1) foram os teores foliares de magnésio (0,70) e cálcio (-0,65) (Figura 1). Neste sentido é possível inferir que os tratamentos CEPEC 2002 E2, CEPEC 2002 E1 e PS 1319 E2 foram aqueles que apresentaram maiores teores foliares de magnésio e menores teores de cálcio, respectivamente. Contrariamente a estes tratamentos, os menores teores de magnésio e cálcio foram verificados nos tratamentos CEPEC 2005 E1 e CEPEC 2006 E1.

Ao analisar as correlações entre as características avaliadas com a variável canônica 2 (VC2) (Figura 1), observou-se que a maior associação ocorreu com os teores foliares de enxofre (0,66), nitrogênio (0,49) e potássio (0,49). Dessa forma é possível inferir que os tratamentos CEPEC 2002 E2, PS 1319 E1, SJ 02 E1 e CCN 51 E2 apresentaram os maiores teores foliares de enxofre, nitrogênio e potássio, respectivamente, uma vez que estes estão alocados mais distantes a partir da origem (0) do eixo das variáveis canônicas. Já o tratamento Ipiranga 1 E1 e PS 1319 E2 foram os que apresentaram menores teores desses nutrientes (S, N e K).

Estes macronutrientes foliares foram os que mais acumularam nas folhas do cacaueteiro em trabalho realizado por Santos (2018) corroborando com os resultados encontrados, demonstrando a importância desses macronutrientes envolvidos diretamente nos processos fotossintéticos e estruturais do cacaueteiro.

Na absorção do Mg e do Ca pela planta há competição e o excesso de um desses elementos resulta na diminuição na absorção do outro (EPSTEIN, 1975). A água de poço trás aporte maior de Ca e aumenta a disponibilidade de Ca no solo em detrimento do Mg. Fatores como o tipo de solo, o pH, a concentração e o equilíbrio entre a fração trocável e em solução do solo, além de interações iônicas afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes (MALAVOLTA, 1997).

Conclusões

O teor foliar de nutrientes em todos os clones, nas duas épocas, tem a seguinte ordem decrescente: N>Ca>K>Mg>S>P.

O índice de clorofila SPAD nas folhas do cacauero não se correlaciona com o teor de N nas plantas cultivadas no semiárido.

O tratamento com menor disponibilidade de água no solo reduz a disponibilidade de K e aumenta a de Ca nas folhas do cacauero ao final da estação chuvosa.

Os clones de cacauero CEPEC 2002 e CCN 51, na estação seca, e PS 1319 e SJ 02, na estação chuvosa, apresentam os maiores teores foliares de enxofre, nitrogênio e potássio, no cultivo a pleno sol e em clima semiárido.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pela parceria; ao Instituto Biofábrica pelas doações das mudas; à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (COD 001) pela concessão de bolsas e apoio financeiro.

Referências

ABREU JÚNIOR, C. H. Foliar nutrient concentration and ratios in height yield cocoa genotypes and relations yield and intensity of witches broom disease. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE PESQUISAS EM CACAO. Salvador, Bahia. **Annals [...]**. Atas Lagos, Nigeria. Cocoa Producer's Alliance. p. 773-780, 1996.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Rome: Food & Agriculture Org., 2006. 298 p.

ARDISANA, E. F. H.; GARCÍA, A. T.; TÉLLEZ, O. F.; ÁLAVA, J. A.; PIN, G. T. S.; AGUILAR, R. L. Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). **La Técnica Revista de Las Agrociencias**, Manabí, n. 20, p. 11-18, 2018.

ÁVILA-LOVERA, E.; CORONEL, I.; JAIMEZ, R.; URICH, R.; PEREYRA, G.; ARAQUE, O.; CHACÓN, I.; TEZARA, W. Ecophysiological traits of adult trees of Criollo cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) from a germplasm bank in Venezuela. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 52, n. 1, p. 137-153, 2016.

- BASSO, C. **Influence of potassium, calcium, and magnesium availability in the soil on nutrients in leaves and fruits and the evolution of surface wax and nutrients during apple fruit development.** 1995. (Doctoral Tese) – North Carolina State University, Raleigh, 1995.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. F.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: IAC, 1978.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔNIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. **Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia: 2ª aproximação.** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2005. 36 p.
- DANTAS, P. A. S.; SOUZA JÚNIOR, J. O.; GOMES, F. P.; RIBEIRO, D. O. Estimativa não destrutiva do teor foliar de nitrogênio em cacauero utilizando clorofilômetro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 669-677, 2012.
- DAYMOND, A.; TRICKER, P.; HADLEY, P. Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 55, n. 1, p. 99-104, 2011.
- GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JÚNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 217-226, 2008.
- GUIMARÃES, G. F. P. B. **Avaliação de quatro forrageiras tropicais cultivadas em dois solos da Ilha do Marajó-PA submetidos a crescentes saturações por bases.** 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- HARDIN, J. A.; SMITH, M. W.; WECKLER, P. R.; CHEARY, B. S. In Situ Measurement of Pecan Leaf Nitrogen Concentration using a Chlorophyll Meter and Vis-near Infrared Multispectral Camera. **Hortscience**, Alexandria, v. 47, n. 7, p. 955-960, 2012.
- INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. ICCO. **Boletim Trimestral da ICCO de Estatísticas do Cacau**, v. 43, 2018. Disponível em <https://www.icco.org>. Acesso em: 23 jul. 2018.
- LEONARDO, F. A. P.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. M.; COSTA, J. P. Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. Vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 377-383, 2013.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 40 p.

- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 355 p.
- MARROCOS, P. C. L.; PACHECO, R. G.; CHEPOTE, R. E. S.; RAM, A. ROSA, I. S.; SODRÉ, G. A.; MAIA, V. B.; NAKAYAMA; LIMA, J. L. C.; ROCHA, J. B. **Normas para plantio de mudas de cacau propagadas por estaquia: atualização**. 3. ed. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2005. 30 p.
- MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Massachusetts: Academic Press, 2012. 672 p.
- MEDAUAR, C. C.; GALVÃO, I. M.; CARVALHO, L. C. C.; SILVA, S. A. 2018. Spatial-temporal variability of leaf chlorophyll and its relationship with cocoa yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 3, p. 164-169, 2018.
- MORA, R. J.; BURBANO, O. H.; BALLESTEROS, P. W. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao. **Revista Ciência Agrícola**, La Habana, v. 28, n. 2, p. 81-94, 2011.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, E. V. O.; ASSIS, R. P. Nutrição mineral, crescimento e níveis críticos foliares de cálcio e magnésio em mudas de umbuzeiro, em função da calagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 6, p. 575-583, 2015.
- PUNTES PÁRAMO, Y. J.; CARABALÍ, A. G.; FLORES, J. C. M. Influence of the relationship among nutrients on yield of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 65, n. 2, p. 176-182, 2016.
- PUNTES PÁRAMO, Y. J.; FLORES, J. C. M.; CARABALÍ, A. G.; HERNANDEZ, F. A. Absorción y distribución de nutrientes em clones de cacao y sus efectos em el rendimiento. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 63, n. 2, p. 145-152, 2014.
- REIS, A. R.; FURLANI JÚNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.
- RODRIGUES, A. C. G. O potássio na cultura do cacau. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 5, n. 1, p. 1-12, 1983.
- SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura spad e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.
- SANTOS, E. R. **Produtividade e exportação de nutrientes por cacauzeiros**. 2018. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)-Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2018.
- SHUMAN, L. M. Mineral nutrition. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). **Plant environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 149-182.

SILVA, T. A.; SOUZA JÚNIOR, J. O.; MIELKE, M. S.; HERNÁNDEZ, C. O. A. Uso de imagem digital para estimar o teor foliar de nitrogênio em cacauzeiros. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 30, n. 1, p. 15-24.

SODRÉ, G. A. **Cultivo do cacauzeiro no Estado da Bahia**. Ilhéus: MAPA/CEPLAC/CEPEC, 2017. 126 p.

SODRÉ, G. A. **Formação de mudas de cacauzeiro, onde nasce a boa cacauicultura**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2013. 48 p.

SODRÉ, G. A.; MARROCOS, P. C. L.; CHEPOTE, R. E.; PACHECO, R. G. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho da amostra de plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 13, n. 3, p. 145-150, 2001.

SODRÉ, G. A.; MARROCOS, P. C. L.; PACHECO, R. G.; FONTES, M. I. L.; SERÓDIO, M. H.; LEMOS, M. T. Atributos químicos do extrato da casca do cacauzeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

SOUZA JÚNIOR, J. O.; MENEZES, A. A.; SODRÉ, G. A.; GATTWARD, J. N.; DANTAS, P. A. S.; NETO, R. O. C. Diagnose foliar na cultura do cacau. In: PRADO, R. M. (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em frutíferas**. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FAPESP/CNPq, 2012. p. 443-476.

SOUZA JÚNIOR, J. O.; CARMELLO, Q. A. C. Formas de adubação e doses de uréia para mudas clonais de cacau cultivadas em substrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2367-2374, 2008.

SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S.; AGUILAR, M. A. G. Importância econômica e social. In: SOUZA, C. A. S. et al. (Eds.). **Cacau: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016. p. 9-40.

SOUZA, T. R.; SALOMÃO, L. C.; ANDRADE, T. F.; BÔAS, R. L. V.; QUAGGIO, J. A. Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 993-1003, 2011.

WANG, D.; MAUGHAN, M. W.; SUN, J.; FENG, X.; MIGUEZ, F.; LEE, D.; DIETZE, M. C. Impact of nitrogen allocation on growth and photosynthesis of *Miscanthus* (*Miscanthus giganteus*). **Global Change Biology Bioenergy**, Oxford, v. 4, p. 688-697, 2012.

Figuras e tabelas

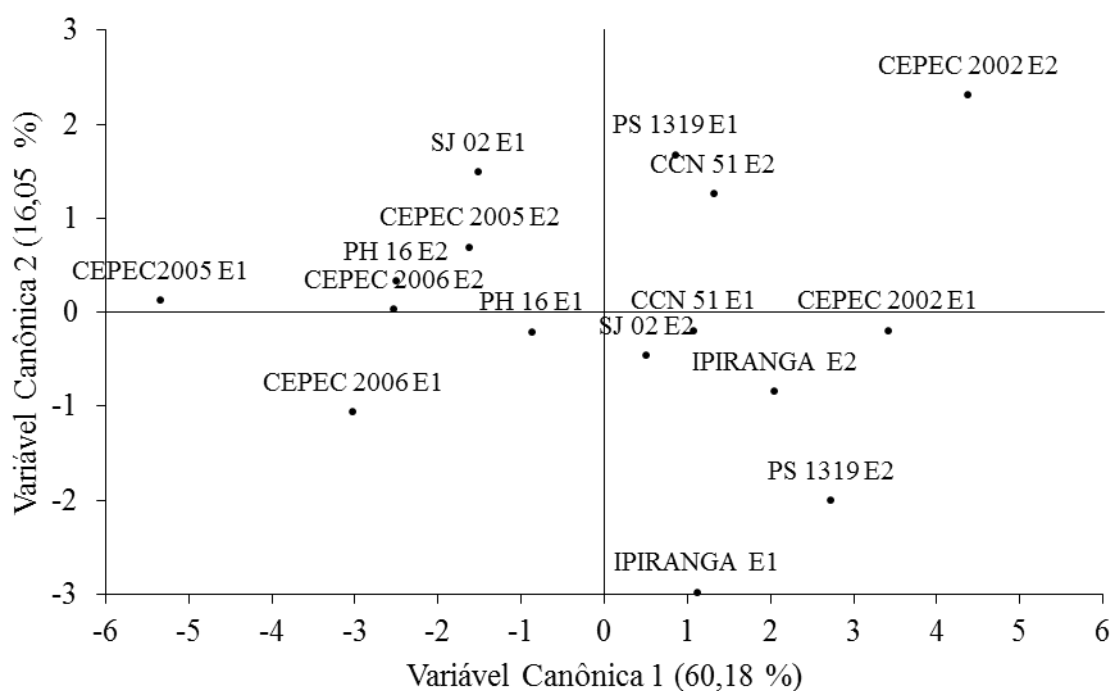


Figura 1 - Dispersão gráfica dos escores em relação às duas primeiras variáveis canônicas (VC1 e VC2) em clones de cacaueteiro em duas épocas. Legenda: E1: época 1; E2: época 2.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância univariada para Índice SPAD e teores de macronutrientes foliares (g kg^{-1}) de oito clones de cacaueteiros irrigados e cultivados a pleno sol no semiárido em duas épocas (época 1: março/2017 e época 2: setembro/2017)

Época 1								
Fonte de variação	GL	Quadrados médios						
		SPAD	N	P	K	S	Ca	Mg
Clone (C)	7	30,319 ^{ns}	1,803 ^{ns}	0,076 ^{ns}	15,392 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	84,603 ^{**}	0,609 ^{ns}
Bloco	2	30,531	1,026	0,106	26,548	0,141	40,491	2,348
Resíduo A	14	14,396	2,034	0,066	6,806	0,077	17,602	0,609
Água (A)	1	1,353 ^{ns}	8,501 ^{ns}	0,047 ^{ns}	22,963 [*]	0,200 ^{ns}	80,342 [*]	0,041 ^{ns}
C * A	7	19,816 ^{ns}	3,767 ^{ns}	0,027 ^{ns}	5,139 ^{ns}	0,031 ^{ns}	15,507 ^{ns}	0,351 ^{ns}
Resíduo B	16	15,213	2,249	0,023	4,005	0,048	14,661	0,632
Total corrigido	47							
CV 1 (%)		8,06	5,78	14,24	14,12	12,94	18,11	15,88
CV 2(%)		8,29	6,07	8,46	10,84	10,25	16,53	16,18
Média		47,05	24,69	1,8	18,47	2,14	23,16	4,91
Época 2								
Fonte de variação	GL	Quadrados médios						
		SPAD	N	P	K	S	Ca	Mg
Clone (C)	7	16,300 ^{ns}	4,271 ^{ns}	0,288 ^{**}	20,899 ^{ns}	0,290 ^{**}	22,585 ^{ns}	2,898 [*]

Bloco	2	83,969	13,667	0,089	29,350	0,123	15,731	1,940
Resíduo A	14	18,193	2,095	0,047	14,695	0,062	9,591	0,693
Água (A)	1	23,422 ^{ns}	0,542 ^{ns}	0,006 ^{ns}	1,357 ^{ns}	0,094 ^{ns}	4,083 ^{ns}	0,034 ^{ns}
C * A	7	10,939 ^{ns}	1,476 ^{ns}	0,034 ^{ns}	13,975 ^{ns}	0,023 ^{ns}	20,395 ^{ns}	0,730 ^{ns}
Resíduo B	16	6,850	1,208	0,024	24,134	0,069	14,414	0,804
Total corrigido	47							
CV 1 (%)		9,03	6,12	12,7	22,07	11,26	15,57	13,2
CV 2 (%)		5,54	4,64	9,04	28,28	11,85	19,08	14,21
Média		47,22	23,66	1,70	17,36	2,21	19,89	6,31

** : * : significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F; ns: não significativo pelo teste F.

Tabela 2 - Índice SPAD e teores de macronutrientes foliares (g kg^{-1}) de oito clones de cacauzeiros irrigados e cultivados a pleno sol no semiárido em duas épocas

Época 1 (MARÇO/2017)							
Clone	Característica						
	SPAD	N	P	K	S	Ca	Mg
SJ02	47,81 a	25,43 a	1,93 a	19,88 a	2,20 a	22,45 b	5,27 a
CEPEC2002	49,34 a	24,32 a	1,65 a	15,37 a	2,15 a	31,10 a	5,20 a
CEPEC2005	46,93 a	23,97 a	1,70 a	16,78 a	2,12 a	24,73 b	4,68 a
PS 1319	47,02 a	25,00 a	1,92 a	19,82 a	2,08 a	18,70 b	4,57 a
CEPEC 2006	49,74 a	24,00 a	1,72 a	18,92 a	2,07 a	19,72 b	5,30 a
IPIRANGA 1	42,83 a	24,78 a	1,87 a	19,63 a	2,10 a	22,43 b	5,03 a
PH16	47,72 a	24,80 a	1,72 a	18,80 a	2,12 a	23,52 b	4,62 a
CCN51	45,04 a	25,23 a	1,88 a	18,57 a	2,28 a	22,63 b	4,63 a
Água no solo							
100%	47,22 a	25,11 a	1,83 a	19,16 a	2,20 a	21,87 b	4,94 a
75%	46,89 a	24,27 a	1,77 a	17,77 b	2,08 a	24,45 a	4,88 a
Época 2 (SETEMBRO/2017)							
Clone	Característica						
	SPAD	N	P	K	S	Ca	Mg
SJ02	47,35 a	23,01 a	1,62 b	15,72 a	2,10 b	20,67 a	7,33 a
CEPEC2002	49,74 a	24,22 a	1,70 b	18,43 a	2,38 a	23,98 a	6,57 a
CEPEC2005	47,76 a	22,74 a	1,43 b	15,45 a	1,87 b	19,15 a	5,30 b
PS1319	45,67 a	24,52 a	1,98 a	18,16 a	2,16 b	17,68 a	5,61 b
CEPEC 2006	48,26 a	23,91 a	1,52 b	20,92 a	2,40 a	20,37 a	7,05 a
IPIRANGA 1	44,95 a	22,64 a	1,58 b	15,47 a	2,00 b	18,52 a	6,25 a
PH16	48,40 a	23,41 a	1,73 b	17,48 a	2,25 a	18,70 a	5,88 b
CCN51	45,70 a	24,88 a	2,07 a	17,33 a	2,52 a	20,10 a	6,48 a
Água no solo							
100%	46,52 a	23,77 a	1,69 a	17,53 a	2,25 a	20,18 a	6,28 a
75%	47,92 a	23,56 a	1,71 a	17,20 a	2,16 a	19,60 a	6,34 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Tabela 3 - Correlação de Pearson para SPAD e teores de macronutrientes foliares de clones de cacauzeiros cultivados no semiárido

	SPAD	N	P	K	S	Ca	Mg
SPAD	1	-0,20 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,20 ^{ns}
N	-0,20 ^{ns}	1	0,69 **	0,64**	0,46**	0,06 ^{ns}	-0,32 ^{ns}
P	-0,27 ^{ns}	0,69**	1	0,37*	0,43*	-0,20 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
K	-0,11 ^{ns}	0,64**	0,37*	1	0,42 *	-0,24 ^{ns}	-0,13 ^{ns}
S	-0,01 ^{ns}	0,46**	0,43*	0,42*	1	0,01 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Ca	0,24 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1	-0,15 ^{ns}
Mg	0,20 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	1

** , * : significativo pelo teste t ao nível de 1 e 5%, respectivamente. ^{ns}: não significativo ao nível de 5% de significância pelo teste t. SPAD: Índice SPAD; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; S: enxofre; Ca: cálcio; Mg: magnésio.

Tabela 4 – Análise de variância multivariada para oito clones de cacauzeiro, duas condições de água no solo e duas épocas avaliadas em condições de semiárido

Fontes de variação	Df	Pillai	F approx	num Df	den Df	Pr(>F)
CLONES (A)	7	3,473	1,969	49,000	98,000	0,002 **
BLOCO	2	0,727	0,734	14,000	18,000	0,718
RESÍDUO A	14					
ÁGUA NO SOLO (B)	1	0,559	1,808	7,000	10,000	0,191
A * B	7	1,984	0,904	49,000	112,000	0,648
RESÍDUO B	16					
ÉPOCA (C)	1	0,880	27,173	7,000	26,000	2,052e-10 **
C * B	2	0,490	1,250	14,000	54,000	0,269
C * A	14	3,173	1,895	98,000	224,000	5,253e-05 **
C * B * A	14	2,198	1,046	98,000	224,000	0,388
RESÍDUO C	32					

Tabela 5 - Correlação canônica entre sete características foliares avaliadas (SPAD: índice SPAD, N: nitrogênio, P: fosforo, K: potássio, S: enxofre, Ca: cálcio, Mg: magnésio) em clones de cacauzeiros cultivados no semiárido

VARIÁVEL	Correlação canônica	
	CAN1	CAN2
SPAD	-0,045	0,070
N	-0,427	0,499
P	-0,194	0,359
K	0,060	0,494
S	0,114	0,660
Ca	-0,658	0,255
Mg	0,702	0,285

CONCLUSÃO GERAL

No semiárido o manejo de poda, corte da irrigação e seguido da fertirrigação poderão promover lançamentos foliares, floração e frutificação. Também ocorre deslocamento do período de bilração para junho, em relação as regiões tradicionais de cultivo enquanto os períodos de maior pecamento de frutos ocorrem em setembro e coincidem com período seco e quente na região.

A produtividade de amêndoas secas atingiu na primeira safra (terceiro ano de cultivo) de $1.690 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto na segunda safra (quarto ano de cultivo) o valor alcançado foi de $2.185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Ambos valores foram superiores às regiões tradicionais de cultivo.

A qualidade da amêndoa seca foi afetada por problemas com germinação de sementes nos frutos (viviparidade). Este fenômeno foi favorecido pelas condições climáticas no período de maturação do fruto como o tempo chuvoso, umidade relativa elevada e associado a altas temperaturas. Contudo, técnicas de cultivo, associadas à determinação correta do ponto de colheita e tecnologias de fisiologia pós-colheita podem mitigar o efeito desse fenômeno indesejado. Além das altas produtividades em plantas ainda jovens destaca-se como fator positivo no cultivo do cacauzeiro no semiárido a não ocorrência de doenças.

Os teores de nitrogênio total foram armazenados, em média 52% até 0,2 m do solo. O estoque de nitrogênio no solo aumentou ao longo do tempo de cultivo dos clones de cacau, na camada de 0-0,2 m. A mudança no sistema de cultivo de sombreado com bananeira para pleno sol reduziu os estoques de C no solo nas condições de clima semiárido. O maior teor de carbono orgânico ($0,94 \text{ dag kg}^{-1}$) foi verificado nas épocas de poda do bananal e do cacauzeiro. A relação C/N apresentou maiores valores na camada 0-0,2 m aos 700 DAP (estação seca). O uso de irrigação e adubação mineral em clima semiárido intensificou a decomposição da matéria orgânica do solo e aumento no estoque de N no solo.

O teor foliar de nutrientes em todos os clones, ao final da estação chuvosa e estação seca, tem a seguinte ordem decrescente: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. O índice de clorofila SPAD nas folhas do cacauzeiro não se correlaciona com o teor de N nas plantas cultivadas no semiárido. O tratamento com menor disponibilidade de água no solo reduz a disponibilidade de K e aumenta a de Ca nas folhas do cacauzeiro ao final da estação chuvosa.

Os clones de cacauzeiro CEPEC 2002 e CCN 51, na estação seca, e PS 1319 e SJ 02, na estação chuvosa, apresentaram os maiores teores foliares de enxofre, nitrogênio e potássio, no cultivo a pleno sol e em clima semiárido.