ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Volume 9, Número 4, 2014

ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Endereço/*Address*

Coffee Science
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Caixa Postal 3037
37200-000 Lavras, MG, Brasil

Fone: +55 35 3829-4590
e-mail: coffeescience@dag.ufla.br
http://www.coffeescience.ufla.br

COFFEE SCIENCE

COFFEE SCIENCE é uma publicação trimestral, vinculada à Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café-CBP&D/Café, que tem por objetivo publicar artigos originais completos que contribuam para o desenvolvimento da cafeicultura nas diferentes áreas. É indexada na AGROBASE/BINAGRI, AGRIS/CARIS, BIBLIOTECA NACIONAL, IBICT/SEER, CAB ABSTRACTS (CABI – Commonwealth Agricultural Bureaux International), LATINDEX (Regional System of on-line Information for Scientific Publication of Latin America, Caribean, Spain and Portugal), PERIÓDICA (Indice de Revistas Latino Americanas em Ciências), SCOPUS-Elsevier e DOAJ (Directory of Open Access Journals).

Issued every three months, **COFFEE SCIENCE** is a journal linked to the Federal University of Lavras (Lavras, Minas Gerais state, Brazil) and to the Brazilian Consortium for Research and Development in Coffee – CBP&D/Café, which publishes original articles that contribute to the development of coffee production in different areas. COFFEE SCIENCE is indexed to AGROBASE/BINAGRI, AGRIS/CARIS, BIBLIOTECA NACIONAL, IBICT/SEER, CAB ABSTRACTS (CABI – Commonwealth Agricultural Bureaux International), LATINDEX (Regional System of on-line Information for Scientific Publication of Latin America, Caribbean, Spain and Portugal), PERIÓDICA (Indice de revistas Latino Americanas em Ciências), SCOPUS-Elsevier and DOAJ (Directory of Open Access Journals).

Circulação/*Distribution*
Biblioteca Central da UFLA

Impressão/*Printing*
Embrapa Informação Tecnológica - Brasília, DF.

Disponível na WEB*/Available in the web site*
http://www.coffeescience.ufla.br

Indexado em:/Indexed in:
SCOPUS – Elsevier
DOAJ – Directory of Open Access Journals
AGROBASE – Base de Dados da Agricultura Brasileira (Brasil)
AGRIS-FAO – International Information System for the Agricultural Sciences and Technology (Itália)
CAB ABSTRACTS (CABI - Commonwealth Agricultural Bureaux International)
LANTINDEX (Regional System of on-line Information for Scientific Publications of Latin America, Caribbean, Spain and Portugal)
PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas em Ciências)

Ficha Catalográfica /Catalog form
Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA

Coffee Science. – Vol . 9, n.4(out./dez. 2014)- . – Lavras:
Universidade Federal de Lavras, 2013- .
v. : il. ; 27cm.

Trimestral: v. 1, n. 1, 2006. Semestral: a partir do v. 1, n. 2, 2006. Quadrimestral: a partir do v. 5, n. 1, 2010. Trimestral: a partir do v. 8, n. 1, 2013. Início: 2006.
ISSN: 1809-6875

1. Cafeicultura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café.

CDD-633.73

Coffee Science

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
Ministério da Educação
Ministro: Aloizio Mercadante
Reitor: José Roberto Soares Scolforo
Vice-Reitora: Édila Vilela de Resende Von Pinho
Pró-Reitoria de Pesquisa: José Maria de Lima

Consórcio Pesquisa Café
Presidente do Conselho Diretor: Maurício Antônio Lopes

Embrapa Café
Gerente Geral: Gabriel Ferreira Bartholo
Gerente Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento: Antônio Fernando Guerra
Gerente Adjunto de Transferência de Tecnologia: Lucas Tadeu Ferreira
Gerente Adjunto de Administração: Walmir Luiz Rodrigues Gomes

Editora UFLA
Diretoria Executiva
Renato Paiva

Coffee Science
Comissão Editorial/*Editorial board*

Editor-Chefe/*Editor-in-chief*
Rubens José Guimarães – Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil

Editores-Executivos/*Executive-editors*
Antônio Nazareno Guimarães Mendes – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Flávio Meira Borém – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Helena Maria Ramos Alves – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília-DF, Brasil
Luiz Gonzaga de Castro Júnior – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Marcelo Ribeiro Malta – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Lavras-MG, Brasil
Maurício Sérgio Zacarias – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília-DF, Brasil
Myriane Stella Scalco – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Samuel Pereira de Carvalho – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil

Secretaria/*Secretary*
Renata Kelly Silva Rezende

Editoração/*Editorship*
Renata Kelly Silva Rezende

Revisão de Português/*Portuguese language review*
Jane Cherem

Revisão de Inglês/*English language review*
Samuel Pereira de Carvalho

Revisão de Referências Bibliográficas/*Revision of citations and references*
Márcio Barbosa Assis

Nomenclatura Científica/*Scientific Nomenclature*
Douglas Antônio de Carvalho

Coffee Science, Lavras, v. 9, n. 4, p. 427 - 561, out./dez. 2014

COFFEE SCIENCE

Editores Científicos/*Scientific-editors*

Alemar Braga Rena, UFV, Viçosa, MG
Amauri Alves de Alvarenga, UFLA, Lavras, MG
André Luis Teixeira Fernandes, UNIUBE, Uberaba, MG
Antônio Nazareno Guimarães Mendes, UFLA, Lavras, MG
Armando Androciolli Filho, IAPAR, Londrina, PR
Augusto Ramalho Morais, UFLA, Lavras, MG
Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca, EMBRAPA CAFÉ, Venda Nova do Imigrante, ES
Carlos Henrique Siqueira de Carvalho, EMBRAPA, Brasília, DF
Édila Vilela de Resende Von Pinho, UFLA, Lavras, MG
Everardo Chartuni Mantovani, UFV,Viçosa, MG
Fábio Moreira da Silva, UFLA, Lavras, MG
Flávia Maria Avelar Gonçalves, UFLA, Lavras, MG
Flávia Maria de Mello Bliska, IAC, Campinas, SP
Gabriel Ferreira Bartholo, EMBRAPA, Brasília, DF
Itamar Ferreira de Souza, UFLA, Lavras, MG
João Batista Silva Araújo, INCAPER, Venda Nova do Imigrante, ES
Laércio Zambolim, UFV, Viçosa, MG
Leandro Carlos Paiva, IFSM, Machado, MG
Lílian Padilha, EMBRAPA CAFÉ, Varginha, MG
Ludwig Heinrich Pfenning, UFLA, Lavras, MG
Luiz Gonzaga de Castro Júnior, UFLA, Lavras, MG
Manoel Alves de Faria, UFLA, Lavras, MG
Maria Amélia Gava Ferrão, EMBRAPA CAFÉ, Venda Nova do Imigrante, ES
Marilusa Pinto Coelho Lacerda, UNB, Brasília, DF
Mário Lúcio Vilela de Resende, UFLA, Lavras, MG
Mário Massayuki Inomoto, ESALQ/USP, Piracicaba, SP
Marta dos Santos Freire Ricci, EMBRAPA AGROBIOLOGIA, Seropédica, RJ
Maurício Alves Moreira, INPE, São José dos Campos, SP
Mirian Peres Maluf, EMBRAPA CAFÉ, Campinas, SP
Paulo Caramori, IAPAR, Londrina, PR
Paulo César Afonso Júnior, EMBRAPA, Brasília, DF
Paulo Rebelles Reis, EPAMIG, Lavras, MG
Ronaldo Alves Libânio, UFLA, Lavras, MG
Rosane Freitas Schwan, UFLA, Lavras, MG
Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira, UFLA, Lavras, MG
Sara Maria Chalfoun, EPAMIG, Lavras, MG
Sônia Maria de Lima Salgado, EPAMIG, Lavras, MG
Stella Dellyzete Veiga Franco da Rosa, EMBRAPA, Brasília, DF
Sylvana Naomi Matsumoto, UESB, Vitória da Conquista, BA
Wander Eustáquio de Bastos Andrade, PESAGRO, Campos dos Goytacazes, RJ

COFFEE SCIENCE

SUMÁRIO/*SUMMARY*

01 Efeito da enxertia e do nematoide *Meloidogyne exigua* sobre o crescimento radicular e a produtividade de cafeeiros
Effect of graft and *Meloidogyne exigua* infestation on coffee's root growth and yield
Dimmy Herllen Silveira Gomes Barbosa, Henrique Duarte Vieira, Weverton Pereira Rodrigues, Júlio Cézar Rodrigues Filho, Deborah Guerra Barroso, Thiago Rodrigues da Conceição Silva 427

02 Eficiência de sistemas de aeração em cascatas no tratamento de águas residuárias do café
Aeration system efficiency of the cascades in the coffee wastewater treatment
Valdeir Eustaquio Junior, Antonio Teixeira de Matos, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco, Mateus Pimentel de Matos..... 435

03 Metabolismo da sacarose em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de sombreamento
Sucrose metabolism in coffee submitted to different shade levels
Danielle Pereira Baliza, Meline de Oliveira Santos, José Donizeti Alves, Rubens José Guimarães, Rodrigo Luz da Cunha 445

04 Consorciação em cafeeiros orgânicos por diferentes períodos com feijão-de-porco ou lablabe
Intercropping of organic coffee with jack beans or hyacinth beans for different periods
Guilherme Musse Moreira, Tatiana Pires Barrella, Fábio Lúcio Martins Neto, Herminia Emilia Prieto Martinez, Ricardo Henrique Silva Santos 456

05 Crescimento inicial de cafeeiro com uso de polímero hidrorretentor e diferentes intervalos de rega
Initial growth of coffee tree with use of hidro retentor polymer and different intervals of watering
Ana Maria Conte e Castro, Guilherme Martins Maia, Juliana Aparecida de Souza, Frederico Luiz Alves Manfio 465

06 Utilização de lodo de curtume como substrato alternativo para produção de mudas de café conilon
Use of sludge tannery substrate as alternative to prepare conilon coffee seedlings
Sávio da Silva Berilli, Joao Paulo Chodacki Quiuqui, Jessica Rembinski, Paulo Henrique Honorato Salla, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, João Marcos Louzada 472

07 **Análise comparativa da infraestrutura de processamento utilizando um sistema de apoio à decisão para o cálculo de custos da fase de pós-colheita do café**
Comparative analysis of infrastructure for processing using a decision support system for the calculation of cost of phase of post-harvest cafe
Rafael Vargas Mesquita dos Santos, Henrique Duarte Vieira, Flávio Meira Borém, Eder Pedroza Isquierdo..... 480

08 Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities
Produtividade do cafeeiro conilon conduzido com a poda programada de ciclo e diferentes densidades de cultivo
Abraão Carlos Verdin Filho, Marcelo Antonio Tomaz, Romário Gava Ferrão, Maria Amélia Gava Ferrão, Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca, Wagner Nunes Rodrigues 489

Coffee Science

09 Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras
Quality of operation of harvesting of coffee at two crops
Felipe Santinato, Rouverson Pereira da Silva, Marcelo Tufaile Cassia, Roberto Santinato 495

10 Processos Fenton e foto-Fenton no tratamento de águas residuárias dos frutos do cafeeiro
Fenton and photo-Fenton process to the wastewater treatment of coffee fruits
Márcia Matiko Kondo, Renan Gaspar Magalhães Moraes, Sandro José de Andrade, Milady Renata Apolinário da Silva 506

11 Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado
Physical-hydric quality of oxisol under irrigation and brachiaria in farming of coffee in the cerrado region
Omar Cruz Rocha, Antonio Fernando Guerra, Maria Lucrécia Gerosa Ramos, Alberto da Silva Oliveira, Gabriel Ferreira Bartholo 516
.
12 Eficiência da colheita mecanizada do café com o uso do inibidor de biossíntese de etileno
Influence of the use of biosynthesis inhibitor ethylene on the efficiency of combine harvesting
Rodrigo Elias Batista Almeida Dias, Fábio Moreira da Silva, João Paulo Barreto Cunha, Rogner Carvalho Avelar, Fernando Costa Fernandes 527

13 Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon
Alternative management of irrigation water in crops of conilon
Diego Zancanella Bonomo, Robson Bonomo, José Ricardo Macedo Pezzopane, Joabe Martins de Souza 537

14 Comparação de classificadores supervisionados na discriminação de áreas cafeeiras em Campos Gerais - Minas Gerais
Comparison of supervised classifiers in discrimination coffee areas fields in Campos Gerais - Minas Gerais
Christiany Mattioli Sarmiento, Gláucia Miranda Ramirez, Priscila Pereira Coltri, Luis Felipe Lima e Silva, Otávio Augusto Carvalho Nassur, Jefferson Francisco Soares 546

15 Nota Prévia
Primeiro relato do *Coffee ringspot virus* **(CoRSV) no Oeste da Bahia**
First record of *Coffee ringspot virus* **(CoRSV) in Western Bahia**
FJoão Eduardo Melo de Almeida, Antonia dos Reis Figueira 558

EFEITO DA ENXERTIA E DO NEMATOIDE *Meloidogyne exigua* SOBRE O CRESCIMENTO RADICULAR E A PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS

Dimmy Herllen Silveira Gomes Barbosa[1], Henrique Duarte Vieira[2], Weverton Pereira Rodrigues[3], Júlio Cézar Rodrigues Filho[4], Deborah Guerra Barroso[5], Thiago Rodrigues da Conceição Silva[6]

(Recebido: 10 de outubro de 2013; aceito: 13 de março de 2014)

RESUMO: O estado do Rio de Janeiro já se destacou como principal produtor de café do País, tendo a infestação dos nematoides de galhas (*Meloidogyne exigua*) provocado a decadência da cafeicultura desde o século XIX. O uso de cultivares resistentes é a principal medida de controle dos nematoides, podendo-se usar materiais resistentes em pés- francos ou enxertados. Além de resistência aos nematoides, a espécie *Coffea canephora* apresenta um sistema radicular mais desenvolvido quando comparado a *C. arabica*, o que pode contribuir para incremento na produção. Neste trabalho, avaliou-se o desenvolvimento radicular e a produtividade de diferentes genótipos de *C. arabica* em pés -francos e enxertados (sobre IAC Apoatã 2258), numa área isenta (SN) e em outra infestada (CN) por *M. exigua.* Os genótipos da área CN apresentaram menores valores de comprimento de raiz quando comparados à área SN. Os genótipos em pés- francos Tupi e Catuaí vermelho 144 na área CN apresentaram maiores valores de diâmetro das raízes e menores valores quando enxertados. A produtividade média de seis safras de genótipos em pés- francos suscetíveis a *M. exigua* produziram até 2,47 vezes menos quando comparada aos genótipos enxertados sobre IAC Apoatã 2258, na área CN e os genótipos, quando enxertados, produziram até 41,2% menos que em pés-francos, na área SN.

Termos para indexação: Nematoide das galhas, *Coffea,* produção.

EFFECT OF GRAFT AND *Meloidogyne exigua* (NEMATA) INFESTATION ON COFFEE'S ROOT GROWTH AND YIELD

ABSTRACT: *The State of Rio de Janeiro was once the main coffee producer in Brazil, but the infestation of nematodes (Meloidogyne exigua) has caused the production decline since the nineteenth century. The use of resistant cultivars is the main measure nematode control, and the resistant genotypes can be used both grafted or not. Coffea canephora is nematode resistant and it has a more developed root system compared to C. arabica. In this study, we evaluated the root development and yield of different cultivars of C. arabica grafted (on Apoatã IAC 2258) or not, established in areas infested (CN) by, or free (SN) of M. exigua. The genotypes in the CN area had shorter roots than those in the SN area. The not-grafted Tupi and Catuai red 144 showed thicker roots in the CN area, but they were the thinner when grafted. In the CN area the average yield of six seasons for not-grafted susceptible genotypes was up to 55% less than of those genotypes grafted on IAC Apoatã 2258. In the SN area the grafted genotypes produced 41.2% less than the not-grafted ones.*

Index terms: *Root-knot nematode, Coffea, production.*

1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio de Janeiro, que já foi o maior produtor nacional de café, atualmente, ocupa apenas a oitava colocação entre os principais Estados produtores, com parque cafeeiro formado, em sua maioria, por lavouras adultas e velhas. Dentre os fatores que dificultam a recuperação da cafeicultura no Estado estão o baixo nível tecnológico dos produtores, a falta de incentivo e o ataque dos nematoides de galhas (NDG) (*Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887*),* cujos prejuízos vêm sendo relatados desde o século XIX, causando perdas de produção de até 45% em lavouras comerciais (BARBOSA et al., 2004).

O uso de cultivares resistentes é uma das principais medidas para o controle dos nematoides. O melhoramento do cafeeiro visa, além da resistência a nematoides, a seleção de genótipos com características desejáveis, ou seja, alta produtividade, adaptabilidade, estabilidade produtiva, qualidade de bebida e resistência a outras pragas e doenças (CAMPOS; VILLAIN, 2005). Dentre essas técnicas de obtenção de cultivares resistentes de forma mais rápida, o uso de fontes de resistência genética, através de enxertia hipocotiledonar, usando-se como porta-enxerto cultivares resistentes aos nematoides tem sido relatado (SERA et al., 2006).

[1]Embrapa Mandioca e Fruticultura - CNPMF/NUGENE -Rua Embrapa s/n - 44380-000 - Cruz das Almas -BA dimmy.barbosa@embrapa.br
[2,5]Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/ UENF/CCTA - Laboratório de Fitotecnia - Av. Alberto Lamego 2000 - 28015-360 - Campos dos Goytacazes - RJ - henrique@uenf.br, deborah@uenf.br
[3,6]Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF/CCTA - Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal Av. Alberto Lamego 2000 - 28015-360 - Campos dos Goytacazes - RJ - wprodrigues@hotmail.com, thiagrofi@hotmail.com
[4]Fertilizantes Heringer - Rodovia BR 101 Km 66,5 - Zona Rural - 49760-000 - Rosário do Catete -SE - julio-rodrigues1983@hotmail.com

Ao contrário do que se verifica em *Coffea arabica* L., fontes de resistência a espécies do gênero *Meloidogyne* estão presentes em outras espécies de café (*C. canephora* Pierre ex A. Froehner*, C. congensis* A. Froehner e *C. dewevrei* DeWild. & T. Durand), isso porque a resistência aos nematoides está aliada a um sistema radicular mais desenvolvido nessas espécies (DAMATTA et al., 2007), e/ou porque essas espécies apresentam mais resistências a outros patógenos. Várias progênies derivadas das populações de cruzamentos entre diferentes espécies têm sido avaliadas na busca de fontes de resistência para os nematoides (MATA et al., 2002; SERA et al., 2006).

Devido aos grandes prejuízos provocados por *M. exigua,* em várias regiões cafeeiras do País, vêm sendo realizadas, nos últimos anos, pesquisas sobre a utilização de mudas enxertadas em áreas infestadas por *M. exigua* e também em áreas sem a presença de nematoides, verificando-se seus efeitos no crescimento e produtividade dos cultivares.

O sistema radicular das plantas apresenta características diferenciadas de acordo com a espécie, cultivar, idade da planta, época do ano, clima, densidade de plantio, ataque de pragas, doenças, textura e estrutura de solo, entre outros aspectos. Assim, o conhecimento do sistema radicular de uma espécie é de grande importância para proporcionar um manejo adequado da cultura (PRADO; NATALE, 2004; ROSOLEM et al., 2003). Além disso, podem ser utilizadas diferentes correlações entre a produção de raízes e a produtividade das plantas (SOARES et al., 2007).

De acordo com Rena e Guimarães (2000), o sistema radicular do cafeeiro é pseudopivotante, pois, na maioria dos casos, suas raízes pivotantes se apresentam curtas, grossas e terminam abruptamente. Raramente estendendo-se mais de 45 cm abaixo da superfície do solo e sendo, frequentemente, múltiplas.

Apesar de haver na literatura resultados sobre o tipo de muda de cafeeiro (pé- franco ou enxertada), desenvolvimento radicular em áreas com ou sem infestação de nematoides, bem como sua influência no crescimento vegetativo e produção, há carência de informações sobre o efeito da presença ou não de nematoides e do tipo de muda viável em relação a essas variáveis.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desenvolvimento radicular e a produtividade de diferentes cultivares de *Coffea arabica* enxertados e em pés-francos numa área isenta e em outra naturalmente infestada por *M. exigua,* nas condições do Noroeste Fluminense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A produção de mudas foi realizada na Estação Experimental da PESAGRO-RIO em Campos dos Goytacazes – RJ, na qual as mudas dos genótipos em pés-francos foram produzidas por semeadura direta e as enxertadas pelo processo de garfagem hipocotiledonar. Das cultivares utilizadas, IAC Apoatã 2258 constituiu o porta-enxerto e os demais, os pés-francos e enxertos.

O experimento foi instalado em duas áreas próximas (ambientes) no Sítio Candelária, município de Bom Jesus do Itabapoana – RJ. O clima, segundo a classificação Köppen-Geiger (KÖPPEN; GEIGER, 1928), é tropical de altitude com verões quentes e úmidos e invernos secos, precipitação anual média de 1.200 mm, temperatura média anual de 19ºC, e as médias máximas e mínimas são de 24,6ºC e 14,2ºC, respectivamente. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013).

A área sem nematoides (SN) era de pastagem, onde não havia infestação dos NDG, verificada através da realização de análise nematológica. Já a área infestada por *M. exigua* (CN) era de lavoura adulta de café arábica da cultivar IAC Catuai vermelho 144, plantada num espaçamento 3,0 x 1,0 m, apresentava população alta e bem distribuída do nematoide (média de 35 J2/100 cc solo).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, cujos tratamentos foram constituídos por 10 genótipos de *Coffea arabica* , sendo 4 enxertados sobre IAC Apoatã 2258 (IAC Obatã, Iapar 59, IAC Tupi e IAC Catuai vermelho 144) e seis em pés-francos (IAC Obatã, Iapar 59, IAC Tupi, IAC Catuai vermelho 144, Catucai vermelho 785/15 e Acauã), com parcelas de 10 plantas com 5 repetições, num espaçamento de 1,5 x 1,0 m, plantados em maio de 2003, exceto o genótipo Acauã que, devido a problemas na germinação das sementes obtidas, foi plantado em março de 2004. Apesar do plantio 10 meses após os demais genótipos, a presença desse genótipo no trabalho era de fundamental importância por ser uma cultivar disponível no mercado com tolerância à *Meloidogyne exigua* juntamente com Iapar 59 e Catucai vermelho 785/15 (MATIELLO et al., 2010).

No preparo da área infestada por *M. exigua* (lavoura adulta de café da cultivar IAC Catuai vermelho 144), efetuou-se um esqueletamento da "saia" das plantas de modo a evitar sombreamento

sobre as mudas dos genótipos que foram plantadas nas entrelinhas e, um ano após o plantio, realizou-se uma poda do tipo "decote + esqueletamento".

Para a avaliação do sistema radicular das plantas, 34 meses após o plantio, foram retirados monólitos de solo com raízes de duas plantas de cada unidade experimental. As amostras foram retiradas a 25 cm de distância do tronco, no sentido da entrelinha, por meio de trado tipo sonda, na profundidade de 0–10 cm.

As amostras coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e mantidas em câmara fria (aproximadamente -10º C) até a lavagem para a separação das raízes que foi realizada sob água corrente, em peneira de 30 mesh. As raízes coletadas pela peneira de 30 mesh foram transferidas para outra de 60 mesh e, novamente, lavadas em água corrente. As raízes lavadas foram colocadas entre duas placas de vidro (30 x 21 x 0,2 cm) e digitalizadas. As imagens foram submetidas ao programa QuantRoot v. 1.0 (desenvolvido pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa) para quantificação do comprimento, área superficial e diâmetro das raízes, conforme procedimentos adotados por Freitas et al. (2005). Para análise, utilizaram-se as raízes inferiores a um mm de diâmetro e os dados foram estimados por dm^3 de solo.

A colheita durante seis safras foi realizada de acordo com o estádio de maturação dos genótipos, sendo os resultados de volume de café colhido transformado em sacas beneficiadas de 60 $Kg.ha^{-1}$.

Os dados de área superficial, comprimento e diâmetro do sistema radicular de cada genótipo foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Já os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância, considerando o DIC em esquema de parcelas subsubdivididas no espaço e no tempo. Nas parcelas, foram testados os ambientes (áreas), nas subparcelas, os genótipos e nas subsubparcelas, os anos de avaliação. As médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott & Knott, em nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os genótipos possuem um desenvolvimento radicular diferenciado em função do tipo de muda (pé-franco ou enxertada) e da área em que foram plantados (sem infestação de nematoides – SN, com infestação de nematoides – CN) (Tabela 1).

De maneira geral, na área infestada (CN) observaram-se maiores valores de diâmetro das raízes dos genótipos, quando comparados aos tratamentos da área SN, ou seja, a penetração dos nematoides nas raízes e a reação dos cafeeiros ao processo de infecção resultou em maiores diâmetros de raízes para os genótipos da área CN, especialmente dos genótipos suscetíveis a *M. exigua*. Aumento no diâmetro de raízes infestadas por nematoides já foi verificado em outras plantas (PINHEIRO et al., 2010; ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994).

Na área CN, os maiores valores de diâmetro das raízes foram verificados para o genótipo IAC Tupi e IAC Catuaí vermelho 144 em pés-francos e os menores para os mesmos genótipos quando enxertados, tendo sido verificada diferença estatisticamente significativa entre esses tratamentos. Esses resultados evidenciam a interferência dos nematoides na fisiologia da planta (SALGADO et al., 2005), pois após a penetração dos juvenis infectantes (J_2) nas raízes, ocorre hipertrofia e hiperplasia das células das raízes, levando a um engrossamento das mesmas, acarretando em maiores valores de diâmetro de raízes para os cafeeiros na área infestada.

Maiores valores de diâmetro de raízes quando não em decorrência da ação de nematoides, como verificado neste trabalho, ocorre devido ao aumento da densidade do solo (RENA; GUIMARÃES, 2000) e a profundidade (PARTELLI et al., 2006), bem como pode estar associada à baixa fertilidade nas camadas mais profundas do solo, que pode ser o principal impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro (RENA; GUIMARÃES, 2000).

Os genótipos da área CN apresentaram menores valores de comprimento de raiz quando comparados à área SN, tendo sido observada diferença estatisticamente significativa para o genótipo IAC Catuaí Vermelho 144, enxertado.

Na área CN, o genótipo IAC Obatã em pé-franco apresentou os menores valores de comprimento e área superficial em relação ao mesmo genótipo quando enxertado. Provavelmente, esse efeito tenha sido causado pela reprodução dos nematoides em suas raízes, como foi observado por Barbosa et al. (2007).

Os crescimentos iniciais são de grande importância, pois é ele que vai permitir uma maior exploração do solo-arranque, associado ao fato de uma estreita correlação raízes e parte aérea de cafeeiros.

TABELA 1 - Valores de diâmetro, comprimento e área superficial das raízes de cafeeiros enxertados e de pés-francos plantados em áreas isenta (SN) e infestadas por *Meloidogyne exigua* (CN), retiradas na profundidade de 0-10 cm e a 25 cm de distância do tronco em lavoura de café arábica (*Coffea arabica*), com 34 meses de idade, nas condições do Noroeste Fluminense.

Genótipos	Diâmetro das raízes (mm)		Comprimento ($m.dm^{-3}$)		Área superficial ($cm^2.dm^{-3}$)	
	CN	SN	CN	SN	CN	SN
Obatã PF	0,040 ab A	0,028 ab B	85,42 bA	175,59 abA	11,98 bA	17,42 abA
Obatã Enx	0,039 ab A	0,032 a B	206,59 aA	205,63 abA	26,12 aA	22,00 abA
Iapar 59 PF	0,038 ab A	0,032 a B	115,27 abA	203,75 abA	15,12 abA	21,64 abA
Iapar 59 Enx	0,041 ab A	0,031 ab B	129,92 abA	156,58 bA	16,93 abA	16,38 abA
Tupi PF	0,043 a A	0,032 a B	123,77 abA	177,51 abA	16,29 abA	19,43 abA
Tupi Enx	0,036 b A	0,029 ab B	124,14 abA	208,87 abA	15,45 abA	21,22 abA
Catuaí Vermelho 144 PF	0,043 a A	0,032 a B	150,61 abA	165,33 abA	20,56 abA	18,06 abA
Catuaí Vermelho 144 Enx	0,036 b A	0,031 ab B	112,70 abB	276,24 aA	13,68 abB	29,16 aA
Catucaí Vermelho 785/15	0,040 ab A	0,034 a B	144,52 abA	146,63 bA	19,04 abA	16,94 abA
Acauã	0,038 ab A	0,026 b B	121,31 abA	179,73 abA	15,53 abA	15,81 bA
CV (%)	8,05		33,94		35,05	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Entre os genótipos enxertados na área isenta de nematoides, houve diferença significativa para comprimento de raiz entre as cultivares IAC Catuaí Vermelho 144 (276,24 m/dm^3) e Iapar 59 (156,58 m/dm^3). De um modo geral, esperava-se não encontrar diferença significativa dessa característica entre as mudas enxertadas, por ser o porta-enxerto originário de um único material genético. Entretanto, fatores como a segregação genética do IAC Apoatã 2258 e a combinação parte aérea/sistema radicular podem explicar tal diferença. Isso pode ter ocorrido devido a uma menor compatibilidade entre o enxerto e o porta-enxerto, o que está de acordo com Tomaz et al. (2005) que observaram que a enxertia em café pode influenciar positiva ou negativamente o desenvolvimento das plantas, quando se comparam diferentes combinações enxerto/porta-enxerto com os respectivos pés-francos.

Desde as primeiras colheitas na área infestada (CN) verificou-se a interferência dos nematoides sobre os cafeeiros, inicialmente devido ao menor desenvolvimento vegetativo dos genótipos suscetíveis (BARBOSA et al., 2007) e, posteriormente, na produção dos genótipos, como observado para os genótipos que se comportaram como altamente suscetíveis a *M. exigua* (IAC Catuai Vermelho 144 e IAC Obatã em pés-francos). O genótipo Catucai vermelho 785/15, que apresenta resistência a *M. exigua* , produziu, em média, 82% a mais que o genótipo IAC Obatã, suscetível ao nematoide (Tabela 2).

Perdas de produtividade de até 45% foram estimadas em lavouras cafeeiras adultas com os melhores tratos culturais, na Região Noroeste Fluminense infestadas por *M. exigua* (BARBOSA et al., 2004).

A parte aérea de cafeeiros é fonte de todos os compostos orgânicos e as raízes a fonte principal de nutrientes, água e fitormônios, indispensáveis ao crescimento normal da planta como um todo (ALVES; LIVRAMENTO, 2003). Durante os ciclos de desenvolvimento do cafeeiro, em condições normais de crescimento, frações específicas de metabólitos são dirigidas às raízes e à parte aérea. Entretanto, se houver qualquer distúrbio em um desses órgãos, a planta inicia um processo que é chamado de crescimento compensatório. Então, novas correlações são estabelecidas, sendo dirigidas por fitormônios sintetizados, tanto na parte aérea, quanto na raiz. Portanto, o crescimento adequado das plantas depende de um equilíbrio no crescimento e na função entre raízes e na parte aérea, de forma que não haja limitações na contribuição de substâncias essenciais (RENA; GUIMARÃES, 2000).

Embora os genótipos resistentes à *M. exigua* tenham apresentado boas produtividades, essas se mostraram bem inferiores quando comparadas às produtividades da área SN (tabela 2). Esses resultados evidenciam a interferência de *M. exigua* na fisiologia dos cafeeiros, na qual a energia despendida pela planta, para expressar a resistência ao nematoide,acarreta menor crescimento vegetativo e reprodutivo dos genótipos na área infestada ,quando comparada à área sem infestação.

O uso de mudas enxertadas em área infestada com *Meloidogyne spp.* proporcionou acréscimos na produtividade, como observado por Costa, Gonçalves e Fazuoli (1991), que verificaram aumento de 4,5 vezes na produção de mudas enxertadas de *C. arabica* sobre *C. canephora* cv. Robusta, quando comparadas às mudas de pé-franco Mundo Novo, em uma área infestada com *M. incognita*. No presente trabalho, na área infestada por *Meloidogyne exigua* foi verificado aumento de até 2,47 vezes na produção dos genótipos enxertados, quando comparados aos pés-francos (Obatã).

Na área SN, os genótipos em pés-francos apresentaram produtividades superiores até a 4ª colheita, quando comparados com os seus respectivos tratamentos enxertados. Nas safras seguintes, as produtividades de poucos tratamentos se diferenciaram significativamente, embora na média das seis safras, os genótipos em pés-francos produziram de 14,3 a 41,2% (Tupi e Iapar 59, respectivamente) a mais que seus respectivos genótipos, quando enxertados sobre IAC Apoatã 2258.

Os resultados deste trabalho não corroboram os de Fahl et al. (1998), que avaliaram as características de crescimento, nutrição mineral e produção de plantas de cafeeiros *C. arabica* enxertados sobre *C. canephora* e *C. congensis*, conduzidos em solos com ausência de nematoides durante quatro colheitas, concluindo que a utilização da enxertia aumentou a produção do café, com maior efeito na cultivar Catuaí.

O crescimento e a produção de C. arabica em função de diferentes combinações copa/porta-enxerto foi avaliado, em condições de campo, em Paula Cândido – MG por Tomaz et al. (2011), tendo observado que, em plantas de cafeeiro enxertadas de seis anos, as combinações de enxertia Catuaí 15/Conilon, Oeiras/Apoatã, Oeiras/EMCAPA e H419/EMCAPA suplantaram os respectivos pés-francos na produção de café.

TABELA 2 - Produtividade média (sacas/ha) de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), enxertados sobre IAC Apoatã 2258 (enx) e em pés francos (pf) numa área isenta (SN) e em outra infestada (CN) por *Meloidogyne exigua,* durante seis colheitas (2005-2010) na Região Noroeste Fluminense.

Área	Genótipos									
	IAC Obatã pf	IAC Obatã enx	Iapar 59 pf	Iapar 59 enx	IAC Tupi pf	IAC Tupi enx	IAC Catuai 144 pf	IAC Catuai 144 enx	Catucai 785/15pf	Acauã pf
Ano 1										
CN	0,11 aB	0,04 aA	0,11 aB	0,86 aA	0,94 aB	0,53 aA	0,11 aB	0,24 aA	0,10 aB	0,00 aA
SN	27,22 aA	9,58 bA	30,83 aA	11,89 bA	23,05 aA	10,00 bA	40,69 aA	9,58 bA	25,97 aA	0,00 bA
Ano 2										
CN	7,08 bB	20,83 aB	22,91 aB	31,66 aB	15,27 aB	22,35 aB	9,11 bB	25,55 aB	17,49 aB	3,16 bB
SN	79,71 aA	40,27 cA	79,43 aA	55,27 cA	78,06 aA	49,71 cA	87,76 aA	43,88 cA	64,99 bA	21,66 dA
Ano 3										
CN	2,86 bB	13,97 bB	10,36 bB	17,26 aB	23,24 aB	27,02 aB	5,38 bB	27,46 aB	16,38 aB	8,27 bB
SN	61,66 aA	42,21 bA	51,1 bA	47,77 bA	61,93 aA	51,1 bA	59,02 aA	49,99 bA	56,52 aA	44,16 bA
Ano 4										
CN	18,6 cB	51,66 aB	39,99 aB	48,99 aB	49,91 aB	52,77 aB	30,46 bB	49,71 aB	45,71 aB	33,67 bB
SN	121,5 aA	90,96 bA	98,6 bA	78,88 cA	103,6 aA	98,6 bA	112,9 aA	83,74 cA	107,7 aA	91,04 bA
Ano 5										
CN	21,77 bA	31,7 bA	29,49 bA	35,82 aA	29,77 bA	47,25 aA	21,03 bA	40,58 aA	29,16 bA	30,66 bB
SN	32,88 bA	33,18 bA	31,33 bA	34,99 bA	38,81 bA	55,69 aA	20,44 bA	35,25 bA	38,32 bA	66,06 aA
Ano 6										
CN	21,33 bB	43,55 aA	25,73 bB	27,03 bA	21,33 bB	22,16 bB	14,6 bB	36,34 aB	27,03 bB	25,71 bB
SN	58,66 bA	53,92 bA	66,28 aA	35,73 cA	41,82 cA	39,16 cA	69,83 aA	66,66 aA	68,88 aA	52,73 bA
CV (%)						26,5				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Trabalhos com enxertia de cultivares de *C. arabica* sobre *C. canephora* cv. Apoatã proporcionaram expressivos aumentos no crescimento e na produção das plantas enxertadas, em solos livres de nematoides (FAHL et al., 1998). O melhor desempenho das plantas enxertadas foi atribuído à maior capacidade do sistema radicular do porta-enxerto em explorar o solo, resultando em maior absorção de água e nutrientes.

Dias et al. (2009) avaliaram a produção de sete cultivares de *C. arábica* pé- franco, auto-enxertados e enxertados no porta-enxerto *C. canephora*, cultivar Apoatã IAC 2258, em condições de campo isento de nematoides, em Lavras – MG. Os resultados da primeira produção mostraram que as plantas enxertadas produziram menos que as outras autoenxertadas e pés-francos, independentemente da cultivar, tendo a enxertia reduzido a produção em 38% comparada às plantas em pé-franco.

Os resultados deste trabalho demonstram a importância de utilização de táticas de manejo de modo a reduzir o nível populacional dos nematoides antes da renovação de cafezais em áreas infestadas, visto o grande decréscimo de produtividade observado nos genótipos suscetíveis ao nematóide em áreas infestadas. Os genótipos Obatã e IAC Catuai vermelho 144, em pés-francos (classificados como altamente suscetíveis ao nematóide) produziram 55% a menos, quando comparados aos seus respectivos genótipos enxertados. Práticas de manejo cultural (alqueive/pousio, rotação de culturas etc.) devem anteceder os novos plantios, devendo o produtor optar por genótipos resistentes à *M. exigua,* mudas em pés-francos ou enxertadas, quando disponíveis.

4 CONCLUSÕES

Os genótipos em pés-francos (Tupi e Catuaí vermelho 144) na área infestada (CN) apresentaram maiores valores de diâmetro das raízes. Os menores valores foram observados para os mesmos genótipos enxertados.

Os genótipos da área infestada apresentaram menores valores de comprimento de raiz ,quando comparados à área isenta de nematoides.

Genótipos em pés-francos suscetíveis a *M. exigua* produziram até 55% menos quando comparados aos genótipos enxertados sobre IAC Apoatã 2258,na área infestada pelo nematoide.

Os genótipos quando enxertados produziram até 41,2% menos que em pés-francos, na área isenta de *Meloidogyne exigua.*

5 REFERÊNCIAS

ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Morfologia e fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 46 p.

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Desenvolvimento vegetativo e reação de genótipos de *Coffea* spp. a uma população de *Meloidogyne exigua* virulenta a cultivares resistentes. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2007.

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Estimativas a campo de perdas de produção e níveis de dano em lavouras cafeeiras afetadas por *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 28, n. 1, p. 49-54, 2004.

CAMPOS, V. P.; VILLAIN, L. Nematode parasites of coffee and cocoa. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Org.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2nd ed. London: CAB International, 2005. p. 529-579.

COSTA, W. M. da; GONÇALVES, W.; FAZUOLI, L. C. Produção do café Mundo Novo em porta-enxertos de *Coffea canephora* em área infestada com *Meloidogyne incognita* raça 1. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 15, n. 1, p. 43-50, 1991.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production: review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DIAS, F. P. et al. Produção de cafeeiros *Coffea arabica* L. pés francos, auto-enxertados e enxertados em Apoatã IAC 2258. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 484-487, mar./abr. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

FAHL, J. I. et al. Enxertia de *Coffea arabica* sobre *Coffea canephora* e *Coffea congensis* na nutrição mineral, crescimento e produção. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 297-312, 1998.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FREITAS, T. A. S. et al. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 853-861, 2005.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

MATA, J. S. da et al. Resistência de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) de São Jorge do Patrocínio ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* (EMN2001.07). **SBPN Scientific Journal**, São Paulo, v. 6, p. 34-36, 2002. Special issue.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil:** manual de recomendações. Varginha: Fundação PROCAFE, 2010. 546 p.

PARTELLI, F. L. et al. Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 949-954, jun. 2006.

PINHEIRO, J. B. et al. **Manejo do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em cultivos de cenoura na região de Irecê, BA**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2010. 7 p. (Comunicado Técnico, 77).

PRADO, R. de M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular de goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1007-1012, 2004.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro:** estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80 p.

ROSOLEM, C. A. et al. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 301-309, 2003.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 68, p. 1-16, dez. 1994.

SALGADO, S. M. L. et al. Reprodução de *Meloidogyne exigua* em cultivares de cafeeiros resistentes e suscetíveis. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 413-415, 2005.

SERA, G. H. et al. Porta-enxertos de café robusta resistentes aos nematóides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 1 e 2. **Semina**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 171-184, 2006.

SOARES, A. R. et al. Produção e distribuição de raízes em cafeeiros irrigados por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 130-140, 2007.

TOMAZ, M. A. et al. Porta-enxertos afetando o crescimento e a produção de plantas de *Coffea arabica* L. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 34, n. 1, p. 229-234, jan./jun. 2011.

TOMAZ, M. A. et al. Porta-enxertos afetando o desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica* L. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 570-575, maio/jun. 2005.

EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE AERAÇÃO EM CASCATAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO CAFÉ

Valdeir Eustaquio Junior[1], Antonio Teixeira de Matos[2], Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco[3], Mateus Pimentel de Matos[4]

(Recebido: 04 de novembro de 2013; aceito: 23 de abril de 2014)

RESUMO: Para avaliar-se a eficiência de sistemas de aeração em cascatas, no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC), a mesma foi aplicada em cascata com 4,14 m de altura, distribuída em 23 degraus (altura, largura e comprimento de 0,18; 0,32 e 0,60 m, respectivamente). No final da cascata foi instalado um reservatório para recepção/detenção da ARC escoada, de onde, após um tempo de detenção de três horas e transferência para um reservatório de distribuição, essa foi recirculada no sistema. Durante a fase experimental, o sistema de tratamento ficou em operação por trinta dias, sendo a ARC recirculada, três vezes por dia, e substituída a cada dez dias. A cada recirculação, amostras do afluente e efluente foram coletadas e analisadas. De acordo com os resultados obtidos, pôde-se concluir que a eficiência de remoção média de DQO foi de 28,9 % durante o experimento; as remoções de sólidos totais, sólidos voláteis totais, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis, nitrogênio, fósforo, potássio e compostos fenólicos foram de 57,3; 71,6; 26,5; 17,2; 35,7; 62,5; 49,5 e 55 %, respectivamente. A cascata de aeração mostrou ser importante alternativa para composição de sistemas de tratamento da ARC, tendo em vista que é o meio efetivo de baixo custo e de relativamente rápido tratamento aeróbio do material orgânico, presente nessas águas residuárias.

Termos para indexação: Tratamento aeróbio, resíduos orgânicos, frutos do cafeeiro.

AERATION SYSTEM EFFICIENCY OF THE CASCADES IN THE COFFEE WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT: *The issue of this work was to assess the efficiency of aeration systems in cascades for the treatment of wastewater from the processing of coffee fruits. The aeration system was installed in cascades of a level difference of 4.14 m from the ground with 23 steps (height, width and length of 0.18, 0.32 and 0.60 m, respectively.) During the experimental period the treatment system stayed in operation for thirty days ARC recirculated three times daily, and replaced every ten days. Each recirculation, the influent and effluent samples were collected and analyzed. The average removal efficiency of COD was 28.9 % during the experiment, the removals of total solids, total volatile solids, total suspended solids, volatile suspended solids, nitrogen, phosphorus, potassium and phenolic compounds were 57.3, 71.6, 26.5, 17.2, 35.7, 62.5, 49.5 and 55 % respectively. The cascade aeration proved to be an important alternative for composition the ARC treatment systems, with a view that is effective means of low cost and relatively fast for the aerobic treatment of organic material present in those wastewaters.*

Index terms: *Aerobic treatment, organic residues, coffee fruits.*

1 INTRODUÇÃO

As operações de lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro, imprescindíveis para agregar valor ao produto final e diminuir os gastos na secagem dos grãos, geram grandes volumes de águas residuárias (constituídas pelos efluentes gerados na lavagem dos tanques de fermentação, despolpadores e desmuciladores), ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, de grande poder poluente (BATISTA et al., 2007; LO MONACO et al., 2009a). De acordo com Fia et al. (2010a), o impacto ambiental proporcionado pelas águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro (ARC) é grande, não somente pela carga orgânica contaminante que alcança os corpos d'água mas, também, pelo volume de águas limpas utilizado no processamento do fruto, e que é devolvido ao meio ambiente com baixa qualidade.

Águas residuárias ricas em matéria orgânica, tal como a ARC, quando lançadas em corpos hídricos receptores, podem formar zonas anóxicas/anaeróbias, como resultado de sua estabilização bioquímica, podendo gerar, como subprodutos da degradação do material orgânico, metano, fenóis e ácido sulfídrico.

[1,2]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Engenharia Agrícola/DEA - 36570-900 - Viçosa - MG vejunior@yahoo.com.br, atmatos@ufv.br
[3]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Santa Teresa - Rodovia ES 080 - Km 21 São João de Petrópolis - Santa Teresa - ES - paolalomonaco2004@yahoo.com.br
[4] Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/DESA - Avenida Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - Escola de Engenharia - Bloco 1 - 4o andar - 31270-901 - Belo Horizonte - MG matmatos_eaa@yahoo.com.br

Além disso, o aumento na concentração de nutrientes pode promover a eutrofização dessas águas, prejudicando o ecossistema aquático. Assim, para seu lançamento em corpos hídricos, essa deve ser submetida a tratamento biológico, indicado quando se deseja remover material orgânico da água residuária (SPERLING, 2002).

A Zona da Mata Mineira é uma região montanhosa que tem cerca de 70 % da área total dominada por terrenos de vertentes e, portanto, de elevadas declividades. Considerando-se que a disponibilidade de áreas de baixa declividade, imprescindíveis para a construção de sistemas de tratamento da ARC, é rara na região, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias de tratamento mais apropriadas e exequíveis para esse tipo de conformação topográfica.

Unidades de aeração em cascata podem constituir alternativa apropriada para composição de sistemas de tratamento da ARC, em regiões cujos terrenos apresentem grandes declividades, já que apresentam, como principais vantagens, o baixo custo de implantação e operação e possibilitam o aproveitamento das condições naturais do local (MATOS et al., 2007). Tais sistemas consistem na construção de degraus, aproveitando a diferença de nível do terreno, por onde a ARC seria escoada.

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), o princípio da aeração em cascatas consiste na utilização da energia potencial gravitacional da água, proporcionando a criação de interfaces de exposição, por meio da qual pode ser obtida eficiente transferência de gases. Em razão do movimento turbulento a ela proporcionado, há a incorporação de oxigênio ao meio líquido. A máxima eficiência obtida nessa incorporação e, consequentemente, na oxidação do material orgânico por micro-organismos aeróbios, ocorre quando a saturação do meio líquido é atingida com mínimas perdas de oxigênio para a atmosfera. A perda do oxigênio incorporado pode, no entanto, ocorrer de forma rápida, limitando os processos de oxidação da matéria orgânica contida na água residuária.

Acredita-se que a construção de tanques de oxidação, ao final de cada lance de cascata, possa conferir tempo de detenção suficiente para que ocorra eficiente uso do oxigênio pelos micro-organismos, além de permitir a reincorporação de mais oxigênio à ARC a cada lance em que ela for submetida ao escoamento, já que, quanto maior o déficit de oxigênio no meio, maior o potencial de sua incorporação (SPERLING, 2002).

O maior aproveitamento da massa de gás, incorporada em lances sucessivos da cascata, pode melhorar a eficiência do sistema de aeração em cascata.

Estudos relativos ao sistema de aeração em cascatas tornam-se necessários, tendo em vista que os processos envolvidos precisam ser melhor compreendidos para que se possa otimizar sua utilização, no tratamento de águas residuárias, dentre elas, a ARC. Dessa forma, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a eficiência de sistemas de aeração em cascatas, no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado e conduzido na Área Experimental de Tratamentos de Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa – DEA/UFV, em Viçosa, Minas Gerais.

A ARC utilizada no experimento foi proveniente do Sítio Jatobá, propriedade agrícola situada a 12 km da cidade de Viçosa. O consumo médio de água no local é de 2,5 L L^{-1} de grãos processados, pois houve recirculação de água no processo. Os grãos eram lavados e descascados/despolpados, tendo parte da polpa removida.

Durante a fase experimental, que durou 30 dias de operação do sistema de tratamento, foram utilizadas três diferentes coletas de ARC (obtidas em diferentes épocas do processamento dos frutos do cafeeiro) e, a cada 10 dias, as mesmas foram trocadas no sistema em avaliação. As principais características físicas e químicas da ARC, utilizada no experimento, estão apresentadas na Tabela 1.

A cascata foi composta de 23 degraus, com altura, largura e comprimento de 0,18; 0,32 e 0,60 m, respectivamente, perfazendo uma altura total de 4,14 m (Figura 1), e construída em concreto armado no traço 1:2:4 (cimento:areia:brita). Nas laterais da cascata foram colocadas alvenaria em blocos de concreto, com altura, largura e comprimento de 0,18; 0,12 e 0,40 m, respectivamente, para evitar o escape lateral (perda) da ARC do sistema.

No final da cascata, foi instalado um segundo tanque (Tanque 2), denominado "tanque de recepção/detenção", com capacidade volumétrica de 2 m^3, que recebia a ARC escoada na cascata. Na parte inferior desse tanque, foi instalada uma válvula de 40 mm, para controle da passagem da ARC do Tanque 2 para o Tanque 1, denominado "tanque de recirculação", após decorrido um tempo de detenção de 3 horas.

TABELA 1 - Valores das principais características físicas e químicas da ARC afluente, utilizada no experimento.

Variáveis	Unidade	Valores			
		1ª ARC	2ª ARC	3ª ARC	Média
pH		3,4	4,3	3,8	3,9 ± 0,5
T	°C	21,5	19,5	19,0	20,0 ± 1,3
CE	dS m^{-1}	1,08	2,55	1,28	1,64 ± 0,80
OD	mg L^{-1}	0	0	0	0
DQO	mg L^{-1}	9345	20858	12409	14204 ± 5962
DBO	mg L^{-1}	3860	6727	3979	4855 ± 1622
ST	mg L^{-1}	4626	14564	17329	12173± 6681
SVT	mg L^{-1}	3965	12305	16306	10859 ± 6296
SFT	mg L^{-1}	661	2259	1023	1314 ±838
SST	mg L^{-1}	214	860	648	574 ± 329
SSV	mg L^{-1}	188	770	618	525 ± 302
SSF	mg L^{-1}	26	90	30	48,7 ± 35,9
SP	mL L^{-1}	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
CF	mg L^{-1}	60,7	309,8	133,8	168 ± 128
Na_T	mg L^{-1}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
P_T	mg L^{-1}	24,3	53,0	21,0	32,7 ± 17,6
K_T	mg L^{-1}	248	922	605	591 ± 337
N_T	mg L^{-1}	57,1	278,5	134,2	157 ± 112

DQO - demanda química de oxigênio; DBO - demanda bioquímica de oxigênio; ST - sólidos totais; SVT - sólidos voláteis totais; SFT - sólidos fixos totais; SST - sólidos suspensos totais; SSV - sólidos suspensos voláteis; SSF - sólidos suspensos fixos; SP - sólidos sedimentáveis; CF – compostos fenólicos; Na_T - sódio total; P_T - fósforo total; K_T - potássio total; N_T – nitrogênio total; N.D: não detectado.

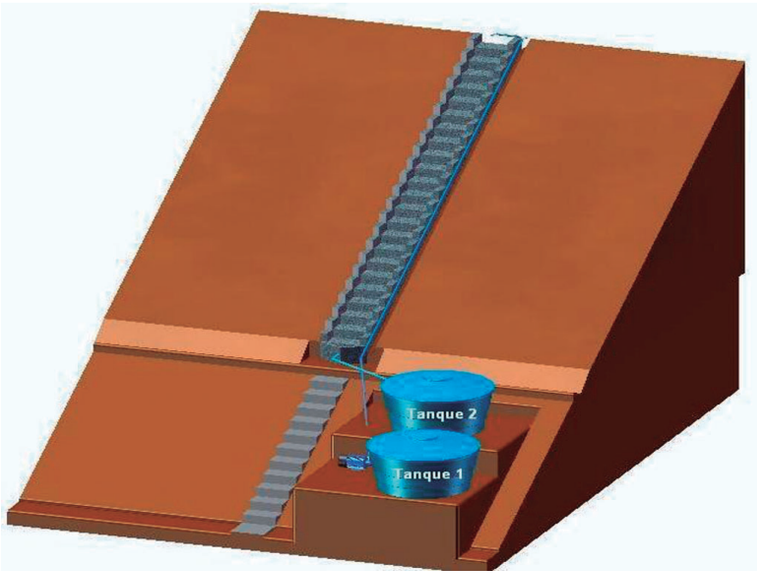


FIGURA 1 - Esquema do sistema de tratamento por aeração em cascatas, com destaque para os Tanque 1, de recirculação, e Tanque 2 de recepção/detenção da ARC.

O tempo de detenção hidráulica (TDH) no tanque de recirculação pode ser considerado desprezível, tendo em vista que, assim que a ARC era totalmente transferida do tanque de recepção/armazenamento para ele, era bombeada para o topo da cascata, utilizando-se, para isso, um conjunto motobomba com potência de 1 cv. A recirculação da ARC na cascata foi realizada 3 vezes ao dia, às 7, 10 e 13 horas, sob vazão constante de 1 L s^{-1} e a troca da água residuária foi feita 3 vezes, durante o período de tempo de condução do experimento (de 18/05 a 16/06 de 2010).

Amostras de ARC afluente (tanque de recirculação) e efluente (tanque de recepção/detenção) foram coletadas a cada troca da ARC para serem realizadas as seguintes análises: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pelo método iodométrico (processo Winkler); demanda química de oxigênio (DQO), pelo método de oxidação química em refluxo aberto; sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV) pelo método gravimétrico e sólidos sedimentáveis (SP), pelo cone Imhoff; potássio total (K_T), por fotometria de chama; fósforo total (P_T), por espectrofotometria; em conformidade com recomendações do *Standard Methods for the Examination Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 2005). O nitrogênio total (N_T) foi quantificado, utilizando-se o método semimicro Kjeldahl com adição de ácido salicílico, adaptado de Kiehl (1985), e os compostos fenólicos (CF), para os quais foi seguida a metodologia proposta por Folin e Ciocalteu (1927).

Em cada recirculação, foram coletadas amostras da água residuária em escoamento na cascata, em pontos situados a 1; 2; 3 e 4 m de desnível, bem como nos tanques de recepção/detenção e de recirculação, para quantificação especificamente da DQO e DBO, sendo essas amostragens feitas, respectivamente, durante e logo após a terceira recirculação diária da ARC.

O experimento foi instalado seguindo-se um delineamento em blocos casualizados, esquema de parcelas subdivididas no tempo, consistindo de 3 blocos (3 períodos de coleta da ARC). Em relação à variável DBO, foram avaliados 6 tratamentos principais (locais de coleta da ARC) e 4 tratamentos secundários (tempo de recirculação da ARC: 0, 3, 6 e 9 dias), totalizando 72 unidades experimentais.

No que se refere à variável DQO, foram avaliados 6 tratamentos principais (locais de coleta da ARC) e 10 tratamentos secundários (tempo de recirculação: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 dias), totalizando 180 unidades experimentais. As unidades experimentais foram as amostras coletadas em cada dia, nos pontos preestabelecidos.

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F, sendo as médias dos tratamentos principais comparadas, utilizando-se o teste Duncan. O efeito dos tratamentos secundários (tempo) sobre as variáveis DBO e DQO foi estudado por meio de regressão. Na escolha do melhor modelo de regressão, adotaram-se os seguintes critérios: regressão significativa, ajuste não significativo e maior valor de coeficiente de determinação (r^2). As análises de estatística foram realizadas com o auxílio dos softwares Excel 2010, GENES 4.1 e SigmaPlot 11.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 está apresentado o resumo da análise de variância da DBO e DQO da ARC em tratamento, ao longo do tempo, e o resumo da análise de regressão de diferentes modelos matemáticos ajustados aos dados, para estimativa da DBO e DQO como função do tempo.

Conforme apresentado na Tabela 2, é possível verificar que não houve efeito significativo para interação local de amostragem e tempo de coleta das amostras de ARC, no que se refere a ambas as variáveis (DBO e DQO), ou seja, os fatores estiveram atuando independentemente. Em relação à variável DBO, apenas o fator isolado tempo de coleta foi significativo, indicando que, para qualquer local de coleta das amostras, houve variação expressiva na DBO da ARC, em função do tempo. Nesse caso, os modelos lineares de regressão até o 3° grau não se ajustaram aos dados, assim como o modelo não linear ($Y = ae^{-bx} + \varepsilon$), o qual representa a equação de cinética de reação de primeira ordem (SPERLING, 2002) e é o mais utilizado para avaliação do decaimento da DBO, em função do tempo.

No que se refere à variável DQO, ambos os fatores (local de amostragem e tempo) tiveram efeito significativo, em nível de 10% de probabilidade, pelo teste F. Na Tabela 3 estão apresentadas as comparações dos locais de amostragem, em relação à variável DQO.

De acordo com o que está apresentado na Tabela 3, pode-se observar que existe diferença significativa nos valores de DQO, quando comparado o que foi obtido nas amostras coletadas nos dois tanques.

TABELA 2 - Resumo da análise de variância da DBO e DQO e da análise de regressão dos modelos matemáticos de relação entre essas variáveis e o tempo.

Fonte de variação	DBO		DQO	
	GL	Quadrados médios	GL	Quadrados médios
Bloco	2	71935741,43	2	1583678298,57
Amostra (A)	5	477160,14^{NS}	5	417120,96***
Resíduo (a)	10	385443,11	10	214212,29
Tempo (t)	3	2207299,42**	9	41418850,82*
Interação A x t	15	332237,51^{NS}	45	208503,92^{NS}
Resíduo (b)	36	578265,92	108	1327314,78
CV resíduo (a)	13,89 %		3,89 %	
CV resíduo (b)	17,0 %		9,69 %	
(Trat) Linear	1	3283507,36^{NS}	1	346634211,89*
(Trat) Quadrático	1	446611,41^{NS}	1	403709,01^{NS}
(Trat) Cúbico	1	2893323,57^{NS}	1	7381458,39^{NS}
Desvios	---	---	6	3058379,69^{NS}

^{NS}, *, ** e ***: não significativo, significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

TABELA 3 - Comparações das médias das amostras (locais de coleta) para DQO (mg L^{-1}) da ARC em tratamento.

Amostra	Nº Dados	Médias
Tanque de recirculação	30	11764 b
Tanque de recepção/detenção	30	12104 a
1 m	30	11868 ab
2 m	30	11869 ab
3 m	30	11832 ab
4 m	30	11826 ab

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade.

Nesse caso, pelo teste de Duncan, em nível de 5 % de probabilidade, a maior DQO ocorreu nas amostras coletadas no tanque de recepção/detenção. Isso pode ser explicado pelo fato de que, quando a ARC saía da cascata e caía no tanque de recepção/detenção, o material sedimentado (lodo) era ressuspendido, misturando-se à ARC afluente e, com isso, proporcionando aumento no valor da sua DQO.

Nas amostras coletadas na cascata, ou nos desníveis de 1, 2, 3 e 4 m, com o teste utilizado de comparações múltiplas de médias não foi possível se detectarem diferenças significativas, em termos estatísticos. Não obstante, essas médias também não diferiram, estatisticamente, das médias obtidas na água residuária coletada nos tanques. Pelo fato da ARC passar muito rapidamente pelos degraus da cascata, não há tempo suficiente para que os micro-organismos entrem em contato com a mesma e, com isso, ocorra a degradação do material orgânico e, consequentemente, diminuição no valor da DQO.

Para a variável DQO, o fator tempo foi desdobrado para se estudar o ajuste de modelos de regressão, tendo sido constatado efeito significativo do modelo linear, em nível de 1 % de significância, pelo teste F. No entanto, os modelos lineares não explicam, de forma adequada, o decaimento da variável DQO em função do tempo. Sendo assim, ajustou-se um modelo não linear ($Y = ae^{-bx} + \varepsilon$) para representar o decaimento da DQO, em função do tempo de tratamento da ARC na cascata de aeração (Figura 2).

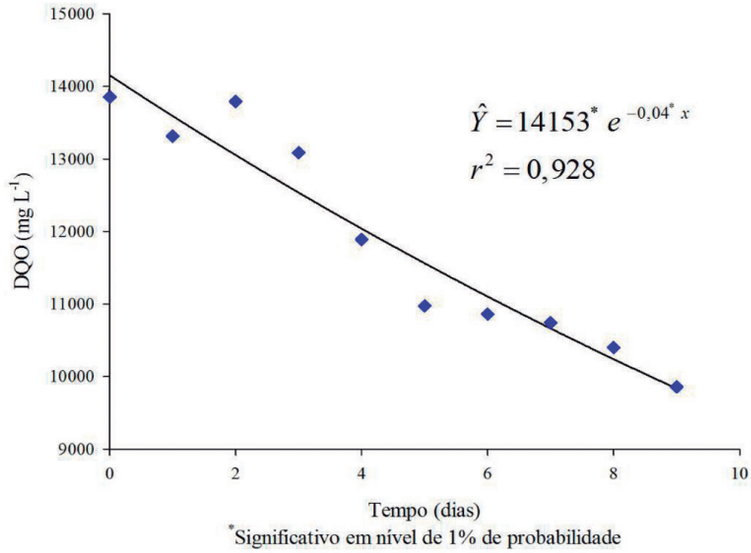


FIGURA 2 - Decaimento da DQO da ARC com o tempo de tratamento, na cascata de aeração.

Na Figura 2, observa-se diminuição na DQO com o tempo de recirculação da ARC no sistema, tendo sido obtido um coeficiente de decaimento de 0,04 dia^{-1} nessa variável. Esse decaimento é devido à incorporação de OD à ARC durante as 3 recirculações diárias da ARC na cascata de aeração, o que proporcionou que os micro-organismos aeróbios atuassem na degradação do material orgânico em suspensão, nessa água residuária. Houve, a cada recirculação, uma eficiência média de remoção de 28,9 % na DQO da ARC.

Em relação à variável DQO, a ARC tratada não atendeu aos padrões de lançamento estabelecidos pelo COPAM/CERH n° 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008), o que já era esperado visto que a utilização apenas de cascatas não é, geralmente, suficiente para tratamento de águas residuárias brutas. A ideia é utilizá-las no transporte da água residuária entre unidades de tratamento primário/anaeróbio (decantadores, filtros orgânicos, lagoas anaeróbias, filtros anaeróbios, reatores anaeróbios etc.) e aeróbio (lagoas facultativas, aeradas ou de polimento), aproveitando-se a dissipação da energia potencial, na forma turbulenta, para incorporação de oxigênio à massa líquida. Com isso, torna-se possível promover redução nas dimensões do sistema ou no gasto de energia nas unidades de tratamento aeróbio.

Na Figura 3 está apresentado o resultado das análises de ST, SVT, SST, SSV na ARC afluente e efluente e a eficiência do sistema nas suas remoções, avaliadas durante o período de condução do experimento.

As remoções de ST e SST da ARC foram, respectivamente, de 57,3 e 26,5 % (Figura 3a e 3c), enquanto as de SVT e SSV foram de 71,6 e 17,2 % (Figura 3b e 3d). Acredita-se que a baixa remoção de sólidos seja decorrente do fato de que, com a recirculação da ARC, para a cascata de aeração, haja ressuspensão de sólidos já sedimentados no fundo do tanque de recirculação e manutenção dos flotados em recirculação, proporcionando, com isso, permanentemente, altas concentrações de sólidos na ARC em tratamento. Isso, de certa forma, confirma o que foi obtido por Raggi, et al. 2008 que encontraram grande remoção de sólidos da ARC em decantadores, unidades do sistema de tratamento que têm no escoamento de baixa turbulência a principal característica para se ter eficiente remoção de sólidos. Esses autores obtiveram remoção de 75 % de ST e 67 % de SS. Quando foi efetuado peneiramento prévio da ARC antes do decantador, essas remoções passaram a 86 e 86 %, respectivamente para as mesmas variáveis.

Na Figura 4, estão apresentados os resultados de concentração de macronutrientes (N_T, P_T e K_T) e compostos fenólicos, no afluente e efluente da ARC, bem como a eficiência na remoção dos mesmos.

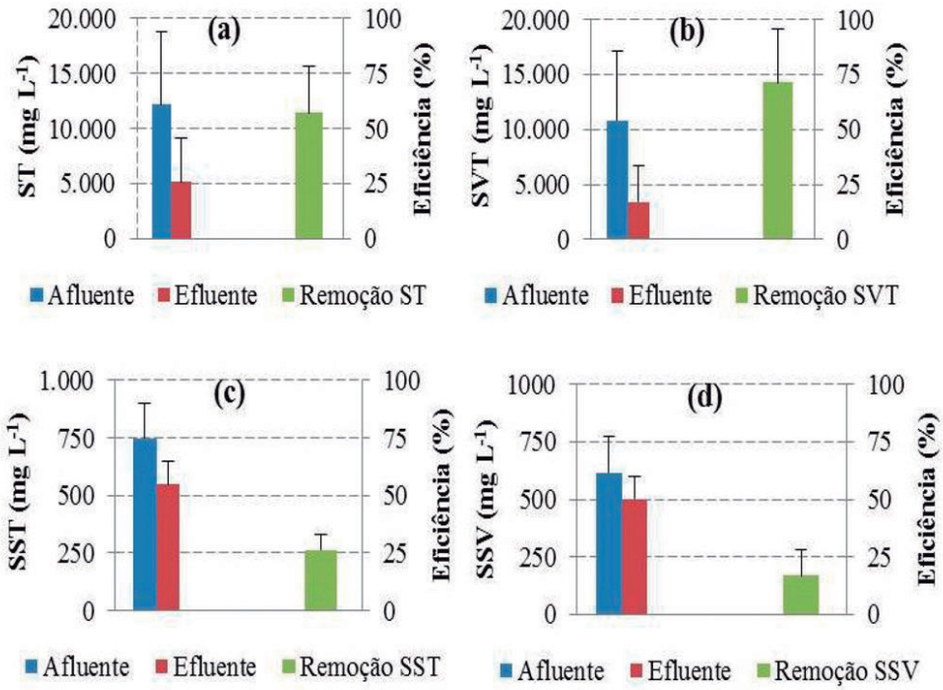


FIGURA 3 - Valores médios de concentração de (a) ST, (b) SVT, (c) SST e (d) SSV e eficiência de remoção da ARC no sistema de cascata de aeração, durante o período de condução do experimento.

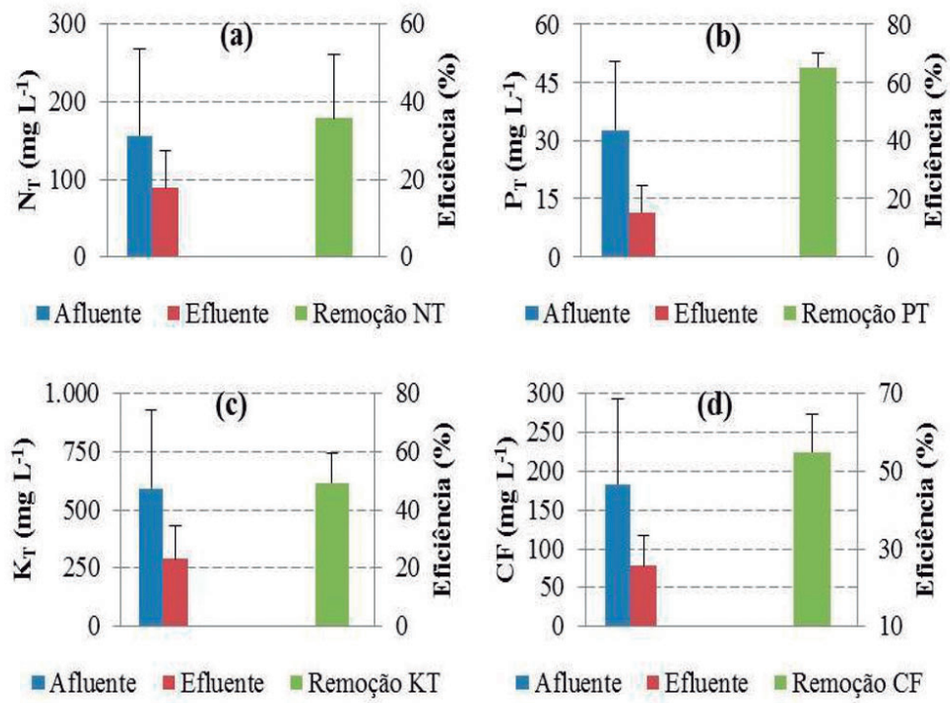


FIGURA 4 - Valores médios de concentração no afluente e efluente e eficiência de remoção de N_T, (b) P_T, (c) K_T e CF (d) da ARC, durante o período de condução do experimento.

Houve eficiência de 35,7 % na remoção de N_T, o que, acredita-se, tenha sido devido aos processos de assimilação pela massa microbiana, parcialmente sedimentada nos tanques e aos processos de nitrificação/desnitrificação no meio. Como a desnitrificação ocorre em condições anóxicas, esse processo pode ser acentuado logo depois que o oxigênio dissolvido, presente na ARC, seja consumido pelos micro-organismos no tanque de recepção/detenção, que funcionou como tanque de oxidação temporária. Como a ARC apresentava-se em condição ácida, além das perdas de nitrogênio na forma de nitrogênio gasoso (N_2), podem ter ocorrido também perdas na forma de óxido nitroso (N_2O), que seria resultado de uma desnitrificação parcial (METCALF; EDDY, 2003).

As eficiências na remoção de P_T e K_T foram, respectivamente, de 65,2 e 49,5 %, valores que podem ser considerados muito altos, tendo em vista que, no sistema de tratamento avaliado, a principal forma prevista de perda de P_T e K_T seria por meio da absorção e incorporação, ao protoplasma, dos micro-organismos que formaram o banco de lodo nos tanques e cascata.

A obtenção de altas remoções de P é aspecto muito importante a ser considerado no projeto de sistemas de tratamento de águas residuárias, principalmente no que se refere à diminuição dos riscos potenciais de eutrofização das águas de corpos hídricos receptores, que muito prejuízo trazem aos diversos usos da água.

A relativamente alta remoção de potássio obtida neste trabalho, causa ainda maior surpresa se for considerado que se trata de um elemento químico de alta solubilidade, não sendo, por essa razão, eficientemente removido em sistemas de tratamento primário, tais como sedimentadores ou filtros orgânicos (MONACO et al., 2009b). Em sistemas de tratamento nos quais a remoção desse elemento ocorre por extração pelas plantas, como nos sistemas alagados construídos, as remoções têm sido verificadas em torno de 29 a 46% e até abaixo de 22% (FIA et al., 2010f).

As altas remoções de P_T e K_T em sistema de tratamento em cascatas de aeração merecem melhor investigação, em outros trabalhos, tendo em vista que seria importante detectar-se a ocorrência de fatores intervenientes não considerados e que proporcionaram a obtenção desses resultados.

A eficiência na remoção de compostos fenólicos (CF), no sistema de tratamento constituído pela cascata de aeração, foi de 55 %. Acredita-se que essa remoção tenha sido causada em decorrência da volatilização desses compostos, durante o processo de recirculação, já que a remoção por precipitação foi dificultada em razão dos baixos valores de pH da ARC (Tabela 1). Além disso, a pequena quantidade de material sedimentado nos tanques é indicativa de que remoção de CF, por sedimentação, foi baixa.

Segundo Hsu, et al. (2007), na presença de íons de cálcio, alguns produtos intermediários do fenol (ácido maléico, ácido oxálico e produtos de alta massa molecular) podem interagir com íons cálcio e formar compostos insolúveis, que precipitam. Ao adicionarem cal à água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro, tratando com reatores anaeróbios de leito fixo, Fia et al. (2011) observaram aumento da eficiência na remoção dos CF, em razão dos elevados valores de pH, o que, provavelmente, pode ter favorecido a precipitação desses compostos. Considerando-se,ainda que, a adição de cal hidratada tem sido prática indicada para aumentar o pH e equilibrar a relação cálcio/potássio, visando aumentar a eficiência dos mecanismos biológicos na degradação do material orgânico da ARC (FIA et al., 2010e, 2010f, 2011), a ideia de incorporação da cal hidratada à ARC, antes de seu lançamento em cascatas de aeração, pode trazer muitos benefícios ao tratamento, inclusive possibilitando maior remoção de fósforo.

Fia et al. (2010b) conseguiram remover até 65 % de remoção dos CF presentes na ARC, ao tratá-la em filtro anaeróbio seguido de sistema alagado construído, cultivado com as espécies alternantera (*Alternanthera philoxeroides* Mart.) e taboa (*Typha* sp.). Fia et al. (2010d), ao tratarem a ARC com concentração afluente de 19,7 mg L^{-1} em reatores anaeróbios de leito fixo com TDH de 1,3 dias, conseguiram remoções médias de 68; 52 e 44 % de CF, quando utilizaram como meio suporte a escória de alto-forno, a espuma de poliuretano e a brita, respectivamente. Fia et al. (2010f) conseguiram remover 35,6 a 52,0 % e 41,8 a 53,5 % de CF, utilizando azevém e aveia preta, respectivamente, cultivados em sistema alagados construídos, tendo passado antes por tratamento em filtros anaeróbios. Bruno e Oliveira (2008), tratando ARC em reatores UASB em dois estágios, obtiveram eficiências médias de remoção de compostos fenólicos, variando de 72 a 90 % para concentrações afluentes de 79,7 e 97,4 mg L^{-1}, sendo que as maiores eficiências foram obtidas quando o TDH foi de 6,17 dias. Fia et al. (2011) obtiveram a maior eficiência de remoção de CF (75 %), quando trabalharam com concentração afluente de 6,1 mg L^{-1}, bem inferior à utilizada neste trabalho, no tratamento de ARC com filtros anaeróbios.

Fang et al. (2006), tratando água residuária com concentrações de fenóis totais de 1.260 mg L^{-1}, verificaram 99 % de redução na concentração inicial de fenol (630 mg L^{-1}) com o uso de um reator UASB; no entanto, os autores operaram o sistema com condições termofílicas (55 ºC) e com TDH de 1,7 dias.

Comparando-se os resultados citados na literatura com os obtidos neste experimento, há de se considerar que a remoção de compostos fenólicos, proporcionada pelo sistema de cascata de aeração, pode ser considerada alta, já que a concentração afluente foi relativamente elevada (133,8 mg L^{-1}), o tempo de detenção foi muito baixo (3 horas), além do experimento ter sido conduzido durante o inverno, ocasião em que a temperatura média da ARC , em tratamento, foi de 20 ºC (Tabela 1).

Ainda que a concentração média de CF no efluente (78,3 mg L^{-1}) tenha sido maior que a aceitável para lançamento em corpos hídricos que, de acordo com o que está estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), é de até 0,5 mg L^{-1}, tal como já discutido anteriormente, outros sistemas de tratamento prévio ou posterior às cascatas devem ser implementados, para que os referidos padrões possam ser atendidos.

4 CONCLUSÕES

Embora a remoção de DQO (28,9 %), sólidos suspensos totais (26,5 %) e sólidos suspensos voláteis (17,2 %) da ARC possam ser consideradas relativamente baixas, as de sólidos totais (57,3 %), sólidos voláteis totais (71,6 %), nitrogênio total (35,7 %); fósforo total (62,5 %); potássio (49,5 %) e compostos fenólicos (55,0 %) foram relativamente altas.

O sistema de cascata de aeração mostrou ser importante alternativa para composição de sistemas mais completos de tratamento, tendo-se em vista que foi meio efetivo para a incorporação de oxigênio no meio líquido e, com isso, possibilitou a oxidação e, ou, remoção de poluentes presentes na ARC.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington, 2005. 1600 p.

BATISTA, R. O. et al. Formação de biofilme em gotejadores aplicando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 367-371, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 357**, de 17 de março de 2005. Dispões sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 10 maio 2010.

BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 364-377, 2008.

FANG, H. H. P. et al. Anaerobic treatment of phenol in wastewater under thermophilic condition. **Water Research**, Oxford, v. 40, p. 427-434, 2006.

FIA, R. et al. Desempenho de filtros anaeróbios no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 62-71, 2011.

FIA, R. et al. Desempenho de forrageiras em sistemas alagados de tratamento de águas residuárias do processamento do café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 842-847, 2010a.

FIA, R. et al. Desempenho de sistemas alagados no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1323-1329, 2010b.

FIA, F. R. L. et al. Remoção de compostos fenólicos em reatores de leito fixo com diferentes materiais suporte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Campina Grande, v. 14, n. 10, p. 1079-1086, 2010c.

FIA, R. et al. Tratamento das águas do processamento dos frutos do cafeeiro em filtro anaeróbio seguido por sistema alagado construído: I., remoção de matéria orgânica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1191-1202, 2010d.

FIA, R. et al. Tratamento das águas do processamento dos frutos do cafeeiro em filtro anaeróbio seguido por sistema alagado construído: II., remoção de nutrientes e compostos fenólicos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1203-1213, 2010e.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The Journal of Biological Chemistry**, Rockville, v. 73, n. 2, p. 627-650, 1927.

HSU, Y. C. et al.Calcium enhanced COD removal for the ozonation of phenol solution. **Water Research**, Oxford, v. 41, p. 71-78, 2007.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LO MONACO, P. A. et al. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 348-364, 2009a.

LO MONACO, P. A. V. et al. Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, n. 6, p. 473-480, 2009b.

MATOS, A. T. et al. Tratamento da água para reuso no descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 173-178, 2007.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering:** treatment and reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1881 p.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo [do] Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 20 maio 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: 10 maio 2010.

RAGGI, L. G. R.; et al. Avaliação de sistemas de tratamento de águas em recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 19-29, jan./jun. 2008.

SPERLING, M. von. **Lagoas de estabilização:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 196 p.

METABOLISMO DA SACAROSE EM CAFEEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

Danielle Pereira Baliza[1], Meline de Oliveira Santos[2], José Donizeti Alves[3], Rubens José Guimarães[4], Rodrigo Luz da Cunha[5]

(Recebido: 19 de novembro de 2013; aceito: 28 de março de 2014)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo da sacarose e os níveis de carboidratos no endosperma de frutos de cafeeiros submetidos a diferentes níveis de sombreamento. Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco níveis de sombreamento (pleno sol, 35, 50, 65 e 90% de sombra) e três estádios de desenvolvimento dos frutos (cereja, verde cana e verde). As variáveis analisadas foram as atividades das enzimas sacarose fosfato sintase (SPS), sacarose sintase (SuSy) e invertase ácida e, o conteúdo de açúcares solúveis totais, sacarose e glicose. O sombreamento, a partir de 50%, aumentou a atividade das enzimas invertase ácida e SuSy nos estádios verde cana e cereja. Em relação à SPS o sombreamento não alterou a sua atividade, sendo os maiores valores encontrados nos estádios verde cana e cereja. Os níveis de sombreamento até 65 % apresentaram os maiores teores de açúcares solúveis totais e sacarose nos estádios tardios de maturação, enquanto que a 90 % de sombreamento, os maiores valores foram encontrados nos estádios iniciais de desenvolvimento do fruto. O teor de glicose foi maior no estádio verde de maturação até o nível de 50 % de sombreamento, a partir do qual houve uma redução nos valores da glicose com o aumento do sombreamento. Assim, verifica-se que o sombreamento a partir de 50%, provavelmente modifica o desenvolvimento do fruto por alterar o metabolismo da sacarose no endosperma, prolongando o período de maturação.

Termos para indexação: Invertase, SPS, sacarose sintase, glicose, *Coffea arabica* L.

SUCROSE METABOLISM IN COFFEE SUBMITTED TO DIFFERENT SHADE LEVELS

ABSTRACT: *The objective of this study was to evaluate the activity of the enzymes involved in the sucrose metabolism and the carbohydrate levels on the endosperm of the coffee fruit under different shade levels. Four replicater were used, totaling 20 plots, which consisted of eight useful plants. Treatments were arranged in a randomized block design in a 5 x 3 factorial outline, being five shade levels (full sun, 35, 50, 65 and 90% shade) and three fruit development stages (green, green-yellow and cherry). The variables analyzed were the activities of the enzymes sucrose-phosphate synthase (SPS), sucrose synthase (SuSy) and acid invertase and total soluble sugars, sucrose and glucose content.*

The shading higher than 50% increased the activity of acid invertase and SuSy in green-yellow and cherry stages. Regarding the SPS, shading did not alter its activity, the highest values were found in the green-yellow and cherry stages. The shading levels up to 65% have the highest soluble sugar levels and sucrose in the late stages of maturation while for the 90% shading, the highest values were found in the early stages of fruit development. The glucose content was higher in the green maturation stage, up to the level of 50% shading, from which there is a decrease in glucose values with increased shading. Thus, it appears that shading higher than 50%, probably modifies the fruit development by affecting the metabolism of sucrose in the endosperm, prolonging the maturation period.

Index terms: *Invertase, SPS, sucrose synthase, glucose, Coffea arabica L.*

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é originário das florestas tropicais da Etiópia, onde pode ser encontrado sob a proteção de árvores. Na América Central, a utilização de sistemas agroflorestais na cafeicultura é uma técnica antiga e muito difundida. No Brasil, embora haja predomínio do cultivo a pleno sol, o uso de sistemas arborizados pode ser uma estratégia sustentável e economicamente viável, principalmente aos pequenos agricultores que podem obter melhores produtividades com esse tipo de cultivo, além de proporcionar uma renda alternativa proveniente das espécies arbóreas cultivadas com o cafeeiro (BALIZA et al., 2012a, 2012b; DAMATTA et al., 2007; GOMES et al., 2008; KANTEN; VAAST, 2006). Ademais, a produção sob sombreamento pode melhorar a qualidade dos frutos, em virtude do prolongamento do período de amadurecimento, o que está relacionado com alterações no metabolismo de trigonelina, ácido clorogênico e carboidratos (VAAST et al., 2006).

[1]Câmpus Avançado Bom Sucesso - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais Rua da Independência, n° 30 - Bairro Aparecida - 37220-000 - Bom Sucesso - MG - danielle.baliza@ifsudestemg.edu.br
[2,3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Cx. P. 3037 - 37.2000-000 - Lavras - MG melineoli@hotmail.com, jdalves@dbi.ufla.br
[4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.2000-000 - Lavras - MG rubensjg@dag.ufla.br
[5]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 3037 - 37.2000-000 - Lavras-MG - rlc@epamig.ufla.br

A síntese de carboidratos ocorre nas folhas (fonte) e são translocados para outras partes da planta (dreno), na forma de sacarose (LEITE et al., 2009). Esse carboidrato desempenha papel fundamental nas plantas, pois é uma molécula importante na distribuição de fotoassimilados e é fonte de carbono para manter o metabolismo da célula e o crescimento e desenvolvimento da planta, havendo constantes alterações nas relações fonte-dreno, ao longo da vida do vegetal (ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004).

As disponibilidades de metabólitos, principalmente hexoses, para a síntese de sacarose e demanda por produtos de sua degradação, são fatores importantes a vários processos biológicos e são controlados por enzimas de síntese e de degradação. A rota de catabolismo da sacarose apresenta importantes implicações para a conservação de energia e alocação de carbono em células não fotossintetizantes (BARRATT et al., 2009).

A relação entre o desenvolvimento de frutos de cafeeiro e o metabolismo de carboidratos tem estimulado pesquisadores principalmente devido à função que os açúcares desempenham no crescimento vegetal e seus impactos na qualidade dos frutos (FARAH et al., 2006; GEROMEL et al., 2006, 2008; JOËT et al., 2010; LAVIOLA et al., 2007; VAAST et al., 2006). No entanto, a maioria desses estudos são realizados no estádio cereja e com poucos níveis de radiação (GEROMEL et al., 2006, 2008; SOMPORN et al., 2012; VAAST et al., 2006), o que leva à falta de informações sobre a evolução do perfil de carboidratos nos frutos, durante o seu crescimento e desenvolvimento.

A sacarose é essencial para a qualidade da bebida de café, pois é um precursor de vários compostos químicos que participam do aroma e sabor (FARAH et al., 2006), mas pouco se sabe sobre sua partição e sobre as enzimas que controlam seu metabolismo, como invertases (EC 3.2.1.26), sintase da sacarose fosfato (SPS: EC 2.4.1.14) e sintase da sacarose (SuSy: EC 2.4.1.13) (GEROMEL et al., 2008).

Invertases catalisam a hidrólise irreversível de sacarose em glicose e frutose e estão envolvidas em vários aspectos do ciclo de vida vegetal e de respostas aos estímulos ambientais, uma vez que as hexoses contribuem com a manutenção da força do dreno, síntese de produtos para armazenamento e sinalização (KOCH, 2004; ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004; RUAN et al., 2010). Em contrapartida, a SPS funciona no sentido da síntese de sacarose (UDP-glicose + frutose-P → sacarose-P + UDP), enquanto que a SuSy catalisa uma reação reversível (UDP-glicose + frutose ↔ sacarose + UDP) (STURM; TANG, 1999).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a atividade de enzimas relacionadas com o metabolismo da sacarose e os níveis de carboidratos no endosperma de frutos de cafeeiro, em diferentes estádios de maturação, produzidos sob diferentes níveis de sombreamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras-MG, cujas coordenadas geográficas são: 21º 14' S e 45º 00' W, com altitude média de 918 m. A temperatura média anual do ar da região é de 19,4 ºC e as médias anuais de temperaturas máxima e mínima são 26,1 e 14,8 º C, com precipitação anual de 1.529,7 mm (BRASIL, 1992). O clima da região é classificado, segundo Köppen, como do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb, com duas estações distintas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março).

O experimento foi conduzido em uma lavoura de *Coffea arábica* L., cultivar Acaiá Cerrado, linhagem MG-1474, implantada no ano de 1998, no espaçamento de 3,5 m x 0,5 m e renovados por meio de recepa, em 2007. Após o início da primeira produção, em maio de 2009, as plantas foram submetidas a cinco níveis de sombreamento: pleno sol (0%) e sob sombrites de 35, 50, 65 e 90% de sombra. A coleta dos frutos em diferentes estádios de maturação (verde, verde cana e cereja) foi realizada manualmente e no mesmo dia, em julho de 2010 (após 14 meses de condução da lavoura nestas condições experimentais). Os frutos foram colhidos, as sementes foram extraídas, desmuciladas manualmente e, posteriormente, secadas sob temperatura ambiente até atingirem 13% de umidade. Os tratamentos foram avaliados em relação às atividades das enzimas invertase ácida (IA), sacarose sintase (SuSy), sacarose fosfato sintase (SPS) e conteúdo de açúcares solúveis totais, sacarose e glicose em frutos nos estádios de desenvolvimento verde, verde-cana e cereja.

Para a determinação da atividade enzimática, o material vegetal foi macerado em nitrogênio líquido, utilizando tampão Hepes 100 mM, pH 7,0 contendo 2 mM $MgCl_2$, 5 mM EDTA, 10 mM 2-mercaptoetanol e 2% de ácido ascórbico. Para cada 1 g de material foi utilizado 5-7 mL de tampão resfriado a 4 ºC. O extrato foi deixado em gelo por 30 minutos, com agitação ocasional e depois centrifugado a 27.000 xg por 20 minutos, a 4 ºC.

Os sobrenadantes foram recuperados e passados em colunas PD10 – Sephadex G25 (Amersham biosciences). A eluição foi feita com tampão Hepes 20 mM, pH 7,0. Nos extratos filtrados, foram determinados os teores de proteínas (BRADFORD, 1976).

A composição do meio de reação para a invertase ácida foi 60 µg de proteína, 25 mM de sacarose e tampão citrato 50 mM, pH 3,5. As reações foram incubadas por 1 hora, a 37 ºC e paralisadas, congelando as amostras em nitrogênio líquido. Os açúcares redutores foram dosados pelo método de DNS (MILLER, 1959). A atividade da enzima sacarose sintase foi avaliada na direção de síntese de sacarose, em um meio contendo 60 µg proteína, 25 mM de uridina 5'-difosfoglicose (UDPG), 25 mM de D-frutose e tampão MES 50 mM, pH 6,0. As reações foram incubadas por 1 hora, a 30 ºC e paralisadas com a adição de KOH 30% e fervidas por 10 minutos. A sacarose formada foi dosada pelo método de Handel (1968). Para a avaliação da atividade da sacarose fosfato sintase 60 µg proteína foram adicionados a um meio de incubação contendo 25 mM de UDPG, 25 mM de frutose 6-fosfato, 30 mM de glicose 6-fosfato, 20 mM de fenil- β-glicoside e tampão fosfato 50 mM, pH 7,5. As reações foram incubadas por 1 hora, a 37 ºC e paralisadas com a adição de KOH 30% e fervidas por 10 minutos. A sacarose formada foi dosada pelo método de Handel (1968).

Os açúcares solúveis totais, sacarose e glicose foram extraídos de 5 g de massa fresca de endosperma dos frutos pelo método de Lane-Enyon, citada pela Association of Official Analytical Chemists - AOAC (1990), e determinados pela técnica de Somogyi, adaptada por Nelson (1944).

Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 3x5, sendo três estádios de maturação (verde, verde cana e cereja) e cinco níveis de sombreamento (pleno sol, 35%, 50%, 65% e 90%), com quatro repetições de dez plantas, sendo oito plantas úteis. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade ,utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas plantas cultivadas a pleno sol e com 35% de sombreamento houve comportamento semelhante em relação à atividade da enzima invertase ácida, em que os maiores valores foram obtidos no estádio verde, seguido dos demais estádios de desenvolvimento do fruto. Com o aumento do sombreamento, aos níveis de 50 e 65%, ocorreu um aumento da atividade dessa enzima nos frutos colhidos no estádio cereja. Enquanto no maior nível de sombra (90%), as maiores médias foram encontradas nos estádios verde e verde-cana (Figura 1).

Com relação aos estádios de maturação, para o estádio verde a maior atividade da invertase ácida foi observada a pleno sol, enquanto para o estádio cereja nos níveis de 50 e 65% de sombra. Já para o estádio verde-cana não houve um padrão, sendo as maiores atividades verificadas a pleno sol, 65 e 90% de sombreamento (Figura 1).

A alteração no comportamento da invertase ácida (Figura 1) demonstrou que o sombreamento a partir de 50% provavelmente alterou o desenvolvimento do fruto, uma vez que a atividade aumentou em todos os estádios, prolongando o período de maturação. Estudos têm demonstrado que o declínio da atividade da invertase ácida é um critério para a célula se tornar madura (MATSUMOTO et al., 2010). Plantas sombreadas naturalmente ou artificialmente, podem fornecer grãos de café de melhor qualidade, favorecendo um lento amadurecimento, o que permite um maior tempo para completar o enchimento do grão, além de mudanças nas composições químicas dos frutos (FAGAN et al., 2011; VAAST et al., 2006).

As invertases ácidas, com atividade em pH 3,5 – 5 ou estão ligadas à parede celular, envolvidas na partição de sacarose, fora dos tecidos dreno, no apoplasto, estabelecendo um gradiente de concentração de sacarose da fonte para o dreno, ou estão localizadas nos vacúolos das células, relacionadas com o armazenamento de açúcares, regulação osmótica, expansão celular e respostas ao estresse abiótico (KOCH, 2004; ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004). De acordo com a hipótese de que as hexoses favorecem a divisão e expansão celular, as invertases servem de indicador para iniciação e expansão de novas estruturas de drenos (KOCH; ZENG, 2002). A invertase extracelular é uma enzima-chave na rota de descarregamento apoplástico. A distribuição de carboidratos por essa rota permite um mecanismo para um ajuste rápido e flexível, de acordo com a variação na demanda (ROITSCH et al., 2003). Essa invertase tem sido associada ao transporte de açúcares em zonas de crescimento ativo, tais como frutos (ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004).

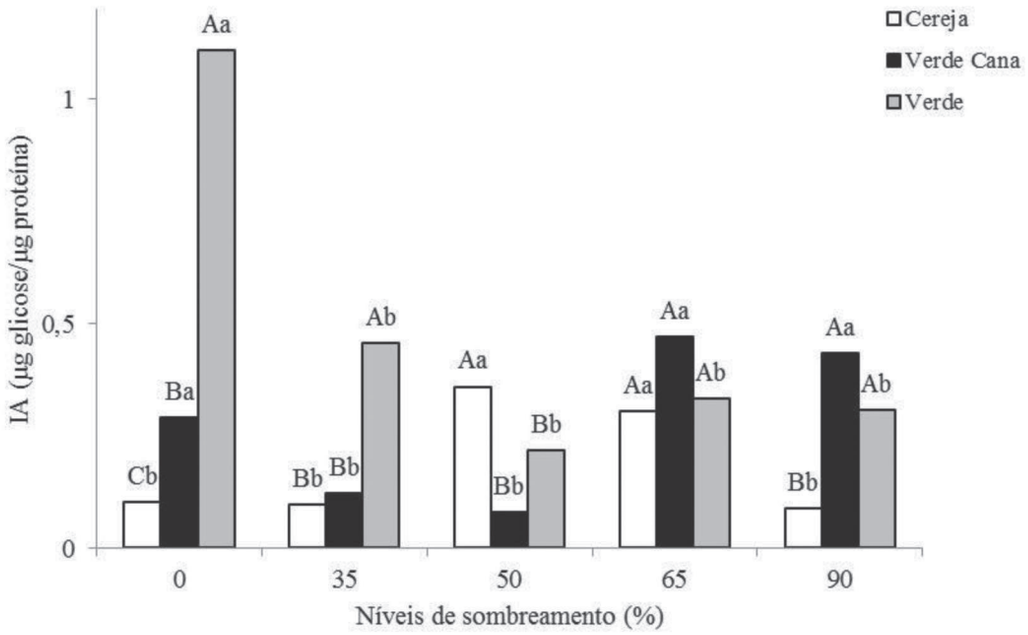


FIGURA 1 - Atividade da invertase ácida (IA) em endosperma de frutos de cafeeiros coletados, em diferentes estádios de maturação produzidos sob diferentes níveis de sombreamento. Letras maiúsculas comparam médias entre os estádios de desenvolvimento dos frutos, dentro de cada nível de sombreamento, e letras minúsculas comparam as médias de cada estádio de desenvolvimento entre os níveis de sombreamento, com base no teste de Scott Knott , a 5 % de probabilidade.

A invertase vacuolar (IAV) parece controlar a rota primária de clivagem da sacarose em tecidos em expansão e em tecidos maduros e contribui para o fluxo de hexose através do tonoplasto e para a entrada de hexoses no metabolismo citoplasmático (KOCH, 2004; ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004).

A maior atividade da invertase ácida em frutos verdes, provenientes do pleno sol e do sombreamento de 35% (Figura 1), pode estar relacionada ao fato de que nessa fase de desenvolvimento os frutos se expandem rapidamente, atingindo seu crescimento máximo (PEZZOPANE et al., 2003). Por outro lado, a alta atividade encontrada também em frutos verde-cana, provenientes do sombreamento de 90% (Figura 1), reforça a evidência de um amadurecimento mais lento desses frutos.

Para a atividade da SuSy (Figura 2) não foi observada diferença significativa entre os estádios de desenvolvimento dos frutos colhidos a pleno sol e com 35 % de sombra. Já para os níveis de sombreamento com 50 e 65%, a maior atividade dessa enzima foi apresentada pelo estádio verde-cana. Entretanto, com maior nível de sombra os frutos no estádio de desenvolvimento cereja foram os que apresentaram maior atividade dessa enzima.

No que se refere aos estádios de maturação, para o verde e o verde-cana, as menores atividades da Susy foram observadas a 90% de sombra, enquanto para o estádio cereja os maiores valores foram encontrados a pleno sol, 35 e 90% de sombra (Figura 2).

Assim como para a invertase ácida, o sombreamento a partir de 50% modificou a atividade da SuSy entre os estádios de maturação, sendo maior nos estádios mais tardios de desenvolvimento, o que pode estar relacionado com o menor desenvolvimento do fruto. Estudos anteriores demonstraram que a atividade da SuSy em frutos diminui com o desenvolvimento, paralelamente à perda das conexões simplásticas e, eventualmente, acaba caindo abaixo dos níveis detectáveis no início da maturação (WANG et al., 1993).

Em relação à enzima SPS, verificou-se que não houve influência dos níveis de sombreamento sobre a sua atividade, sendo que os maiores valores foram obtidos nos estádios mais tardios de desenvolvimento (cereja e verde-cana) (Figura 3).

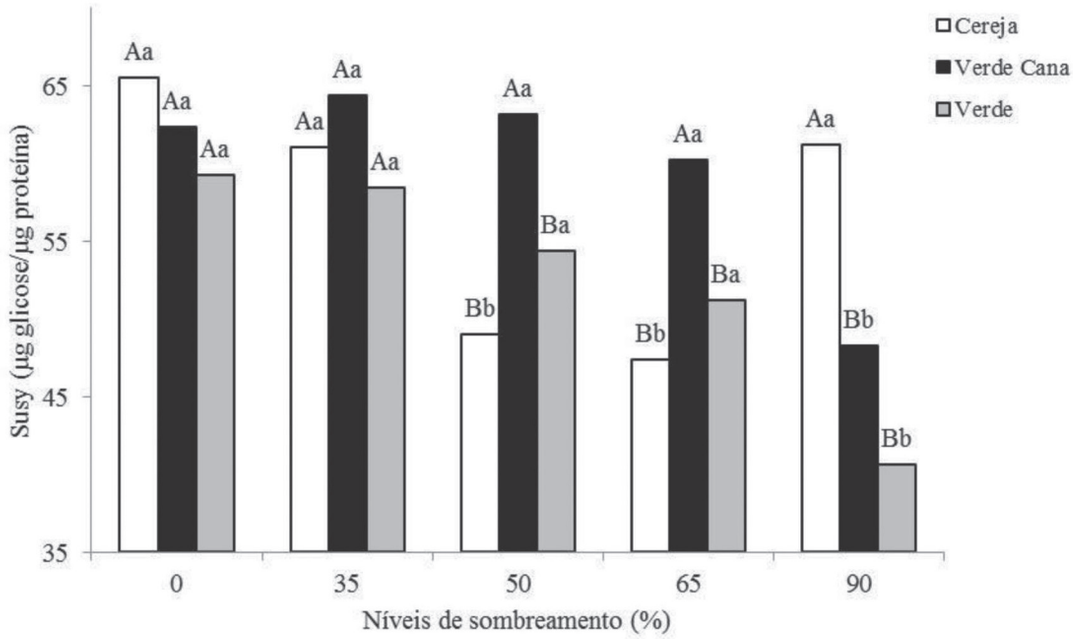


FIGURA 2 - Atividade da sacarose sintase (SuSy) em endosperma de frutos de cafeeiros, coletados em diferentes estádios de maturação, produzidos sob diferentes níveis de sombreamento. Letras maiúsculas comparam médias entre os estádios de desenvolvimento dos frutos dentro de cada nível de sombreamento, e letras minúsculas comparam as médias de cada estádio de desenvolvimento entre os níveis de sombreamento, com base no teste de Scott Knott, a 5 % de probabilidade.

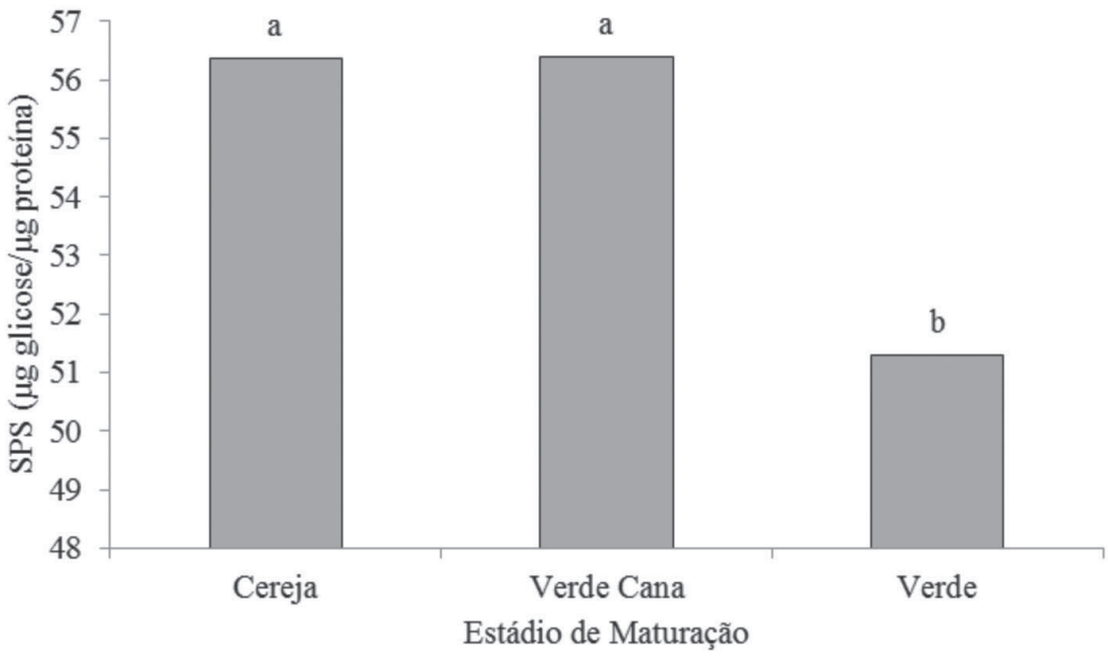


FIGURA 3 - Atividade da sacarose fosfato sintase (SPS), em endosperma de frutos de cafeeiros coletados em diferentes estádios de maturação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5 % de probabilidade.

A SPS é uma enzima-chave na biossíntese de sacarose tanto em tecidos fotossintéticos como não fotossintéticos. Apesar de sua atividade ser bastante alta em tecidos fonte, nos tecidos dreno ela também está ativamente envolvida no ciclo de degradação e (re)síntese de sacarose o que contribui para a regulação na importação e mobilização desse carboidrato (WENDLER et al., 1991).

Em relação aos açúcares solúveis totais, sacarose e glicose, observou-se interação significativa entre os níveis de sombreamento e os estádios de maturação dos frutos. De acordo com a Figura 4, os tratamentos a pleno sol, 35, 50 e 65 % de sombreamento apresentaram os maiores teores de açúcares solúveis totais nos estádios de maturação cereja e verde-cana. Já com 90 % de sombreamento, os maiores teores de açúcares solúveis totais foram encontrados nos estádios iniciais de desenvolvimento dos grãos (verde e verde-cana). O teor de sacarose apresentou comportamento semelhante ao dos açúcares solúveis totais para os diferentes níveis de sombreamento e estádios de maturação (Figura 5), o que pode ser explicado pelo fato da sacarose representar a maioria dos açúcares solúveis totais em grãos de café maduros (GEROMEL, 2006).

A maior atividade da SPS, encontrada nos estádios mais tardios de desenvolvimento do fruto, verde-cana e cereja (Figura 3), e a maior atividade da SuSy em frutos verde-cana, nos níveis de 50 e 65% de sombra (Figura 2), possivelmente, resultaram em maiores conteúdos de açúcares solúveis totais e sacarose nesses frutos, em todos os níveis de sombreamento, exceto no de 90% em que frutos verdes também apresentaram altos valores (Figuras 4 e 5). Embora alguns trabalhos associem o aumento da atividade da SPS com o acúmulo de sacarose (MATSUMOTO et al., 2010), o mesmo não foi observado por Geromel et al. (2008) ,em grãos de café provenientes de cultivo a pleno sol e a 50% de sombra.

A colheita dos frutos de café no estádio cereja proporciona uma bebida de melhor qualidade, isso porque nesse estádio encontram-se os precursores químicos de sabor e aroma, como por exemplo a sacarose (ARRUDA; HOVELL; REZENDE, 2011; GEROMEL et al., 2006, 2008), o que pode estar relacionado com a maior atividade das enzimas envolvidas em sua síntese, nos estádios mais tardios, conforme verificado no presente trabalho.

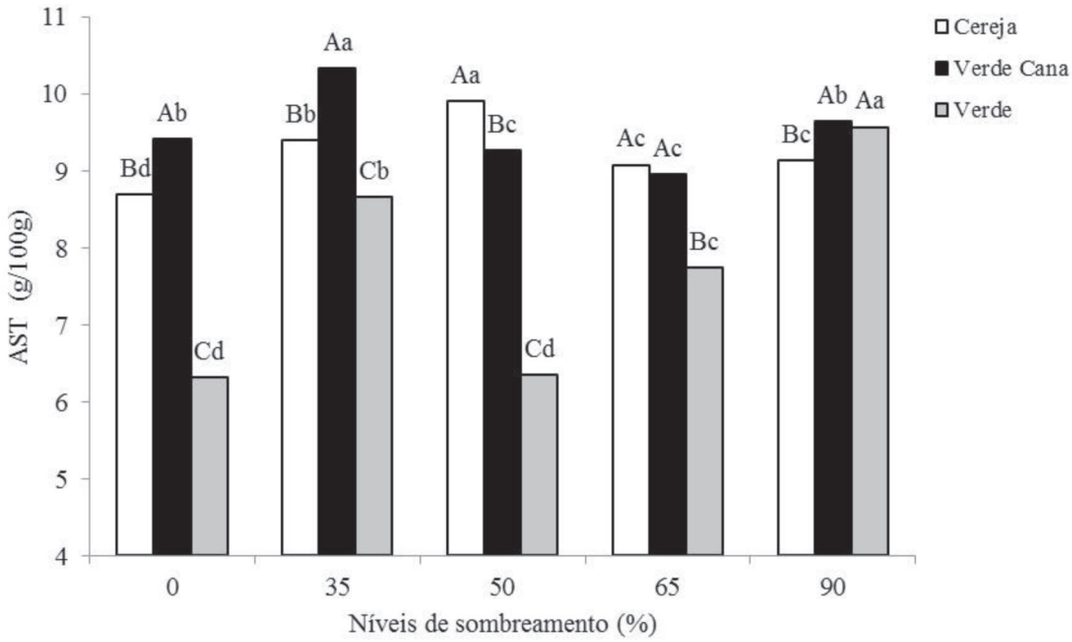


FIGURA 4 - Açúcares solúveis totais (AST) em endosperma de frutos de cafeeiros coletados em diferentes estádios de maturação, produzidos sob diferentes níveis de sombreamento. Letras maiúsculas comparam médias entre os estádios de desenvolvimento dos frutos dentro de cada nível de sombreamento, e letras minúsculas comparam as médias de cada estádio de desenvolvimento entre os níveis de sombreamento, com base no teste de Scott Knott, a 5 % de probabilidade.

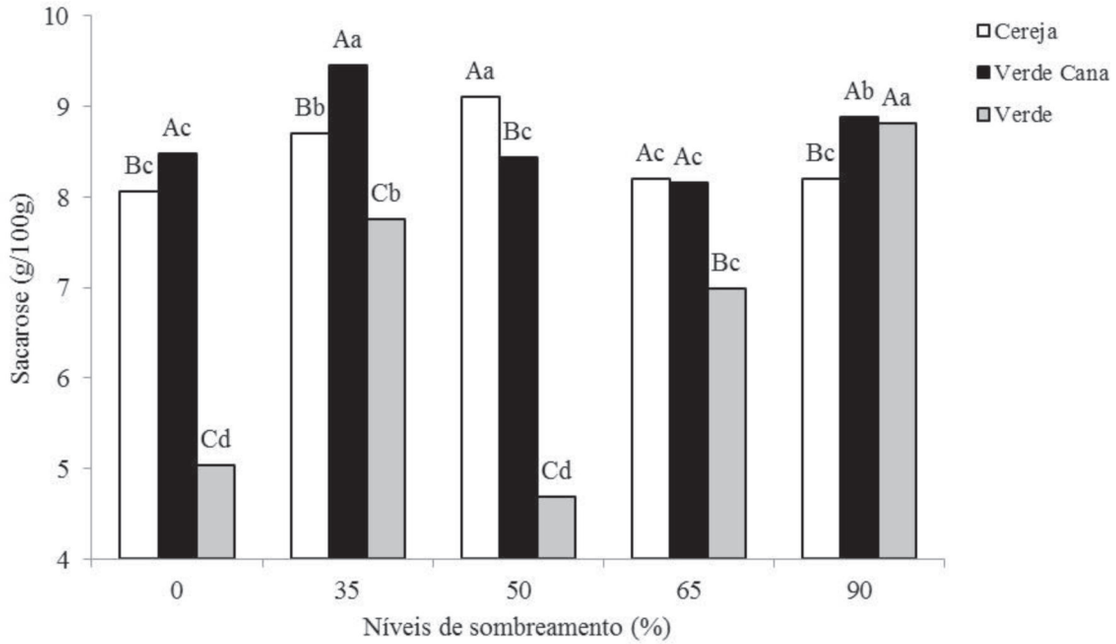


FIGURA 5 - Teor de sacarose em frutos de cafeeiros coletados em endosperma de diferentes estádios de maturação, produzidos sob diferentes níveis de sombreamento. Letras maiúsculas comparam médias entre os estádios de desenvolvimento dos frutos dentro de cada nível de sombreamento, e letras minúsculas comparam as médias de cada estádio de desenvolvimento entre os níveis de sombreamento, com base no teste de Scott Knott, a 5 % de probabilidade.

Baliza et al. (2012b), Rosa et al. (2011) e Veiga et al. (2007) observaram que o estádio de maturação cereja também proporcionou melhor qualidade das sementes de café, quando comparado com as sementes colhidas nos estádios verde-cana e verde.

Em relação aos estádios de maturação, para o estádio verde os maiores teores de açúcares solúveis totais e sacarose foram encontrados a 90% de sombra, enquanto para o estádio verde-cana, ao nível de 35%. Já para o estádio cereja ,os maiores valores foram verificados em 50% de sombra (Figura 4 e 5). Somporn et al. (2012), trabalhando com frutos cereja de *Coffea arabica* L. cv. Catimor sob condição de pleno sol, sombreamento natural com árvores de lichia (~65%) e sombreamento artificial de 50, 60 e 70%, observaram um maior conteúdo de açúcares solúveis totais e sacarose em grãos cultivados sob 60% de sombra, entretanto apresentando a frutose como açúcar predominante. Por outro lado, Vaast et al. (2006) observaram que cafeeiros sombreados a 45% produziram frutos no estádio cereja com menor teor de sacarose, quando comparados aos expostos a pleno sol.

Para glicose, nos tratamentos pleno sol, 35 e 50 % de sombreamento, os maiores valores foram encontrados no estádio verde seguido pelo verde-cana e cereja, respectivamente (Figura 6). Resultados semelhantes foram encontrados por Geromel (2006), em trabalho com frutos de café produzidos a pleno sol e 50% de sombra, em que foram verificados maiores teores de açúcares redutores no início do desenvolvimento, decrescendo até os últimos estádios de maturação. Já com 65 e 90 % de sombreamento, o maior teor de glicose foi encontrado no estádio cereja, o que talvez represente um menor desenvolvimento do fruto devido ao excesso de sombreamento, uma vez que a glicose é um dos açúcares predominantes no início da maturação.

Quanto aos diferentes estádios de maturação, para o estádio verde o maior teor de glicose foi encontrado no nível de 50% de sombra, já para o verde-cana a pleno sol. Para o fruto cereja, as maiores médias foram encontradas nos maiores níveis de sombra (65 e 90%) (Figura 6). Somporn et al. (2012) observaram resultados semelhantes com frutos cereja, em que o maior conteúdo de glicose foi encontrado nos níveis de 50, 60 e 65% de sombra.

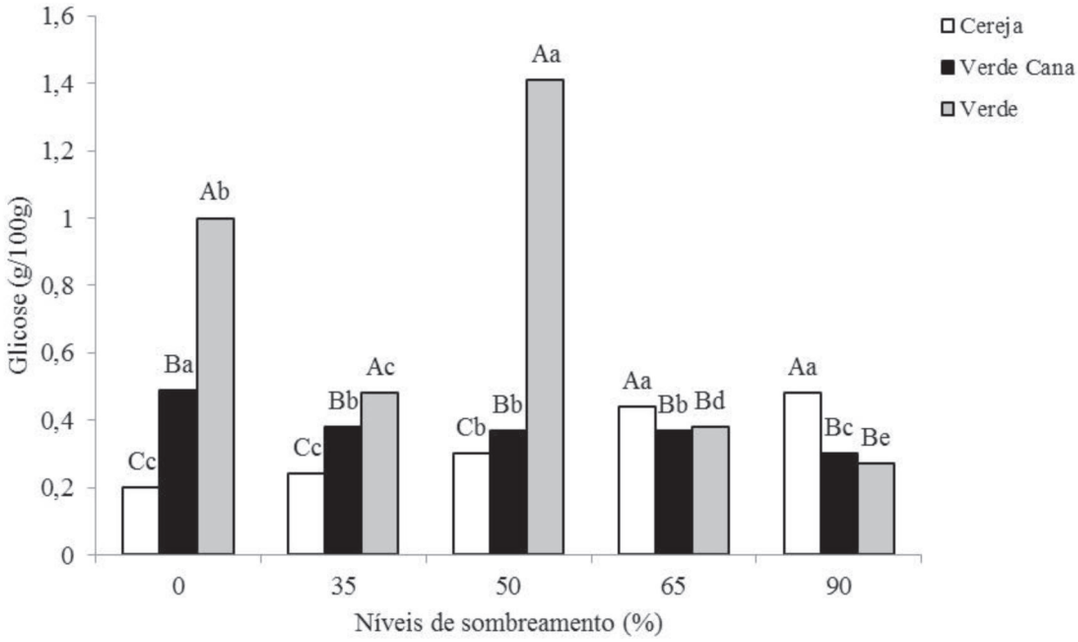


FIGURA 6 - Teor de glicose em endosperma de frutos de cafeeiros coletados em diferentes estádios de maturação produzidos sob diferentes níveis de sombreamento. Letras maiúsculas comparam médias entre os estádios de desenvolvimento dos frutos,dentro de cada nível de sombreamento, enquanto letras minúsculas comparam as médias de cada estádio de desenvolvimento entre os níveis de sombreamento, com base no teste de Scott Knott, a 5 % de probabilidade.

Como as invertases catalisam a hidrólise irreversível de sacarose formando glicose e frutose (KOCH, 2004; ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004; RUAN et al., 2010), esperava-se que houvesse uma relação evidente entre a sua atividade e os teores de açúcares redutores (GEROMEL et al., 2008). Entretanto, no presente estudo, essa relação ocorreu apenas para alguns níveis de sombreamento e estádios de maturação (Figuras 1 e 6). Esses resultados ressaltam a dificuldade encontrada por Geromel et al. (2008) em determinar esta relação direta entre atividade enzimática e níveis de açúcares.

4 CONCLUSÕES

O sombreamento a partir de 50%, provavelmente modifica o desenvolvimento do fruto, por alterar o metabolismo da sacarose no endosperma. Nos estádios verde-cana e cereja ocorrem um aumento na atividade das enzimas invertase ácida e sacarose sintase, redução dos teores de açúcares solúveis totais e sacarose e aumento do teor de glicose, o que prolonga o período de maturação dos frutos.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, CNPq e ao INCT CAFÉ, pelo auxílio financeiro na condução dos experimentos.

6 REFERÊNCIAS

ARRUDA, N. P.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Discriminação entre estádios de maturação e tipos de processamento de pós-colheita de cafés arábica por microextração em fase sólida e análise de componentes principais. Química Nova, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 819-824, fev. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000500017&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 10 nov. 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th ed. Washington, 1990. 684 p.

BALIZA, D. P. et al. Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 7, n. 1, p. 37-43, jan./mar.

2012a. Disponível em: <http://agraria.pro.br/sistema/index.article&op=view&path%5B%5D=agraria_v7i1a1305&path%5B%5D=1054 n>. Acesso em: 10 nov. 2013.

BALIZA, D. P. et al. Physiological quality of coffee seeds produced under different levels of solar radiation and maturation stages. Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 34, n. 3, p. 416-423, 2012b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222012000300008&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 10 nov. 2013.

BARRATT, D. H. P. et al. Normal growth of Arabidopsis requires cytosolic invertase but not sucrose synthase. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, v. 106, n. 31, p. 13124-13129, Aug. 2009. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/106/31/13124.full?sid=aaefe40a-c70b-43ba9951efa41a4f8f09>. Acesso em: 10 nov. 2013.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein biding. Analytical Biochemistry, New York, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, May 1976. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003269776905273>. Acesso em: 10 nov. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Normas climatológicas: 1961-1990. Brasília: SSPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian Journal of Plant Physiology, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 485-510, Oct./Nov. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.

FAGAN, E. B. et al. Efeito do tempo de formação do grão de café (Coffea sp) na qualidade da bebida. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 729-738, set./out. 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7172/7887>. Acesso em: 10 nov. 2013.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. Food Chemistry, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, Apr./June 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881460500614X>. Acesso em: 10 nov. 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.

GEROMEL, C. Metabolismo da sacarose em frutos de café. 2006. 115 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

GEROMEL, C. et al. Biochemical and genomic analysis of sucrose metabolism during coffee (Coffea arabica) fruit development. Journal of Experimental Botany, Oxford, v. 57, n. 12, p. 3243-3258, Aug. 2006. Disponível em: <http://jxb.oxfordjournals.org/content/57/12/3243.abstract>. Acesso em: 10 nov. 2013.

GEROMEL, C. et al. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (Coffea arabica L.) fruits. Plant Physiology and Biochemistry, New Delhi, v. 46, n. 5/6, p. 569-579, May/June 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S098194280800034X>. Acesso em: 10 nov. 2013.

GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de Coffea arábica L.cv. 'Oeiras" sob influência do sombreamento por Acaia mangium Willd. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, fev. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.

HANDEL, E. van. Direct microdetermination of sucrose. Analytical Biochemistry, New York, v. 22, n. 2, p. 280-283, Feb. 1968. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003269768903175>. Acesso em: 10 nov. 2013.

JOËT, T. et al. Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. Food Chemistry, London, v. 118, n. 3, p. 693-701, Feb. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609007031>. Acesso em: 10 nov. 2013.

KANTEN, R. V.; VAAST, P. Transpiration of Arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. Agroforestry Systems, Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 187-202, June 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10457-005-3744-y>. Acesso em: 10 nov. 2013.

KOCH, K. E. Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. Current Opinion Plant Biology, Stuttgart, v. 7, n. 3, p. 235-246, June 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526604000469>. Acesso em: 10 nov. 2013.

KOCH, K. E.; ZENG, Y. Molecular approaches to altered C partitioning: genes for sucrose metabolism. Journal American Society Horticultural Science, Alexandria, v. 127, n. 4, p. 474-483, July 2002. Disponível em: <http://journal.ashspublications.org/content/127/4/474.full.pdf+html>. Acesso em: 10 nov. 2013.

LAVIOLA, B. G. et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, nov. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2007001100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 10 nov. 2013.

LEITE, G. H. P. et al. Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 718-725, maio/jun. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.

MATSUMOTO, J. et al. Effects of nighttime heating on cell size, acid invertase activity, sucrose phosphate synthase activity, and sugar content of melon fruit. Journal American Society Horticultural, Alexandria, v. 135, n. 6, p. 501-505, Nov. 2010. Disponível em: <http://journal.ashspublications.org/content/135/6/501.full.pdf+html>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, Mar. 1959. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60147a030>. Acesso em: 10 nov. 2013.

NELSON, N. A. Photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. Journal of Biological Chemists, Baltimore, v. 153, n. 2, p. 375-384, 1944. Disponível em: <http://www.jbc.org/content/153/2/375.full.pdf+html>. Acesso em: 10 nov. 2013.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro Arábica. Bragantia, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

ROITSCH, T. et al. Extracelular invertase: key metabolic enzyme and PR protein. Journal Experimental Botany, Oxford, v. 54, n. 382, p. 513-524, Jan. 2003. Disponível em: <http://jxb.oxfordjournals.org/content/54/382/513.full>. Acesso em: 10 nov. 2013.

ROITSCH, T.; GONZÁLEZ, M. Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. Trends in Plant Science, London, v. 9, n. 12, p. 606-613, Dec. 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136013850400250X>. Acesso em: 10 nov. 2013.

ROSA, S. D. V. F. et al. The effect of storage conditions on coffee seed and seedling quality. Seed Science and Technology, Zurich, v. 39, n. 1, p. 151-164, Apr. 2011. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/ista/sst/2011/00000039/00000001/art00013>. Acesso em: 10 nov. 2013.

RUAN, Y. L. et al. Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: roles in development, yield potential, and response to drought and heat. Molecular Plant, Saint Paul, v. 3, n. 6, p. 942-955, Nov. 2010. Disponível em: <http://mplant.oxfordjournals.org/content/3/6/942.full>. Acesso em: 10 nov. 2013.

SOMPORN, C. et al. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of coffee beans (Coffea Arabica L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. Journal of the Science of Food and Agriculture, London, v. 92, n. 9, p. 1956-1963, July 2012. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.5568/full>. Acesso em: 10 nov. 2013.

STURM, A.; TANG, G. Q. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. Trends in Plant Science, London, v. 4, n. 10, p. 401-407, Oct. 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138599014703>. Acesso em: 10 nov. 2013.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (Coffea arabica L.) under optimal conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture, London, v. 86, n. 2, p. 197-204, Jan. 2006. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2338/full>. Acesso em: 10 nov. 2013.

VEIGA, A. D. et al. Armazenabilidade de sementes de cafeeiro colhidas em diferentes estádios de maturação e submetidas a diferentes métodos de secagem. Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 29, n. 1, p. 83-91, abr. 2007.

WANG, F. et al. Sucrose synthase, starch accumulation, and tomato fruit sink strength. Plant Physiology, Davis, v. 101, n. 1, p. 321-327, Jan. 1993. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/101/1/321.full.pdf+html?sid=5c398b12-4591-4562-bc20-491a133d9dfe>. Acesso em: 10 nov. 2013.

WENDLER, R. et al. Sucrose storage in cell suspension cultures of Saccharum sp. (sugarcane) is regulated by a cycle of synthesis and degradation. Planta, Berlin, v. 183, n. 1, p. 31-39, 1991. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF0019756>. Acesso em: 10 nov. 2013.

CONSORCIAÇÃO EM CAFEEIROS ORGÂNICOS POR DIFERENTES PERÍODOS COM FEIJÃO-DE-PORCO OU LABLABE

Guilherme Musse Moreira[1], Tatiana Pires Barrella[2], Fábio Lúcio Martins Neto[3], Herminia Emilia Prieto Martinez[4], Ricardo Henrique Silva Santos[5]

(Recebido: 25 de novembro de 2013; aceito: 24 de março de 2014)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito de períodos de consorciação com lablabe ou feijão-de-porco sobre o crescimento e produtividade de cafeeiros. Os tratamentos corresponderam à combinação fatorial entre leguminosas e períodos de consorciação (30, 60, 90 e 120 dias após plantio) mais uma testemunha. O experimento foi conduzido durante dois anos em Rio Pomba, Minas Gerais, Brasil. Foram avaliadas a produção de massa das leguminosas, o crescimento e produção dos cafeeiros. Houve acúmulo linear de massa das leguminosas em função do tempo de consorciação. No primeiro ano, o feijão-de-porco (2,65 t ha^{-1}) acumulou mais massa que a lablabe (1,89 t ha^{-1}). No segundo ano, a lablabe acumulou 5,74 t ha^{-1} e o feijão-de-porco 2,89 t ha^{-1}, aos 120 dias. No primeiro ano, o aumento do período de consorciação com a lablabe resultou em redução do diâmetro de copa e do número de folhas por ramo dos cafeeiros. Já no segundo ano, o cafeeiro cresceu mais quando consorciado com a lablabe do que com feijão-de-porco. Comparativamente à testemunha, as leguminosas reduzem a produtividade dos cafeeiros com a consorciação, apresentando contudo efeitos diferentes em função da espécie e período de consorciação.

Termos para indexação: Adubação verde, *Coffea arabica, Canavalia ensiformis, Dolichos lablab.*

INTERCROPPING OF ORGANIC COFFEE WITH JACK BEANS OR HYACINTH BEANS FOR DIFFERENT PERIODS

ABSTRACT*: This paper evaluates the effects of the period of intercropping of hyacinth beans (Dolichos lab-lab) and jack beans (Canavalia ensiformis) on coffee (Coffea arabica) growth and productivity. The treatments were the two legume species combined in a factorial design with four intercropping periods (30, 60, 90 e 120 days after planting). The control treatment consisted of plots with coffee sole crop. The experiment was carried out for two years at Rio Pomba, Minas Gerais state, Brazil. The biomass of legumes and the growth and yield of coffee shrubs was quantified in each year. There was a positive linear accumulation of the legume dry matter as intercropping period increased. On the first year, jack beans (2.65 t ha^{-1}) accumulated more biomass than hyacinth beans (1.89 t ha^{-1}). On the second year, hyacinth beans accumulated 5.74 t ha^{-1} of dry biomass and jack beans 2.89 t ha^{-1} at 120 days. On the first year, the increasing of intercropping period with hyacinth beans resulted in a decrease of the coffee shrub canopy diameter and number of leaves. On the second year, the coffee shrubs intercropped with hyacinth beans grew more than the ones intercropped with jack beans. Compared to the control treatment, the intercropping reduced coffee yield, presenting different effects on them.*

Index terms: *Green manure, Coffea arabica, Canavalia ensiformis, Dolichos lablab.*

1 INTRODUÇÃO

No Cerrado, o cultivo de leguminosas herbáceas perenes não interferiu na produtividade de cafeeiros com oito anos de idade (SANTOS et al., 2013). Na Zona da Mata Mineira, a produtividade de cafezais orgânicos consorciados com leguminosas variou de acordo com o cultivar e a localidade (MOURA et al., 2013).

No entanto, apesar dos benefícios potenciais da adubação verde sobre o solo, uma clara correlação negativa entre o acúmulo de matéria seca nas leguminosas, consorciados por três meses, e a produtividade dos cafeeiros é relatada por Paulo et al. (2001, 2006). No Acre, as leguminosas feijão-de-porco, mucuna ou guandu reduziram o crescimento e a primeira produção de cafeeiros quando consorciadas por 5 a 6 meses (BERGO et al., 2006).

O efeito da consorciação com *Crotalaria juncea* Wild. sobre o crescimento de cultivares de café é relatado por Ricci et al. (2005). A leguminosa foi plantada em meados de novembro, podada após 76 dias e cortada no final de abril.

[1]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Solos - Av. P.H. Rolfs, s/n Campus Universitário - 36.570-000 Viçosa-MG - guilhermemusse@hotmail.com
[2]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Educação - Av. P.H. Rolfs, s/n Campus Universitário - 36570-000 Viçosa-MG - tatiana.barrella@ufv.br
[3]Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola - Seção de Desenvolvimento de Recursos e Benefícios - Av. Dorival Caymmi 15.649 - Itapuã - 41.635-150 - Salvador-BA - fabio.martinsneto@ebda.ba.gov.br
[4,5]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia Av. P.H. Rolfs s/n - Campus Universitário - 36.570-000 Viçosa-MG - hermínia@ufv.br, rsantos@ufv.br

A produção de matéria seca da leguminosa foi elevada, e, embora não exista relato de efeito na produtividade, 15 meses após o plantio os cultivares consorciados cresceram mais que os não consorciados.

Um resultado pouco comum e muito interessante foi obtido com a consorciação com *Flemingia congesta* Roxb. ex W. T. Aiton (BERGO et al., 2006). Essa espécie perene, que recebeu dois cortes no período de 12 meses, elevou a produtividade em relação à testemunha, resultando ainda em cafeeiros com tamanho similar a essa. Esse resultado sugere que essa leguminosa, nas condições ambientais e de manejo avaliadas, trouxe benefício à cultura do café. Um dos componentes do resultado pode ser a disponibilização de nutrientes sincronizada com a demanda dos cafeeiros, decorrente das podas. É importante ainda ressaltar que os níveis de produtividade foram baixos e que a região apresentou entre 1.800 e 1.900 mm de precipitação anual.

Existem ainda relatos do efeito do guandu em elevar a produtividade de cafeeiros adubados organicamente, quando não foi aplicada palha de café (MALTA et al., 2007). Contudo, a mesma espécie não influenciou a produtividade em experimento similar (THEODORO; MENDES; GUIMARÃES, 2009). Em ambos os experimentos, conduzidos em Lavras, Minas Gerais, a consorciação foi limitada ao período de três meses, após os quais o guandu foi cortado e colocado sob os cafeeiros.

Os estudos relatam experimentos com diferentes espécies de adubos verdes, consorciados com cafeeiros por diferentes períodos de tempo, além de importantes diferenças entre as condições experimentais tais como cultivares, espaçamentos e condições de clima e fertilização. Considerando o exposto, objetivou-se, neste estudo, avaliar o efeito de períodos de consorciação com lablabe ou feijão-de-porco sobre o crescimento e produtividade de cafeeiros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aspectos Gerais

O experimento foi conduzido entre 2007 e 2009, no município de Rio Pomba. Os cafeeiros *Coffea arabica* L. cv. Oeiras, plantados no espaçamento de 3,00 m x 0,75 m estavam com 2,5 anos de idade no início do experimento, localizado a 21°14’47” S; 43°09’19” O; altitude de 453 m. O solo, classificado como Latossolo Vermelho-Distrófico, apresentou as características que constam na Tabela 1.

O experimento foi delineado em blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições. As parcelas foram compostas por três linhas de 3,75 m de comprimento cada, totalizando 18 plantas. Os tratamentos foram arranjados em um fatorial (2x4) + 1, composto pelas espécies feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.] e lablabe (*Dolichos lablab* L.) e quatro os períodos de consorciação com as leguminosas (30, 60, 90 e 120 Dias Após o Plantio, DAP), mais uma testemunha absoluta sem consórcio com leguminosa. Os tratamentos foram identificados pela combinação do nome comum da leguminosa (feijão-de-porco - FP ou lablabe - LB), com o período de consorciação (30, 60, 90 ou 120).

Nos dois anos, foi realizada a roçada em área total antes de ser preparado o solo e também uma capina na projeção da copa para aplicação do adubo nos cafeeiros. A adubação da lavoura foi feita com 10 litros de cama de aviário por planta, dividida em duas vezes, em outubro e dezembro, nos dois anos de condução do experimento.

Em dezembro de 2007, a enxada rotativa foi passada em três faixas lado-a-lado nas entrelinhas; sendo assim o solo foi revolvido inclusive sob a projeção da copa dos cafeeiros. Em outubro de 2008, a enxada rotativa foi passada apenas na faixa central, sendo o solo revolvido apenas em 1 metro de largura no centro das entrelinhas. Os sulcos foram feitos com enxada e as leguminosas semeadas em dezembro de 2007 e em outubro de 2008. Foram semeadas três linhas de leguminosas nas entrelinhas dos cafeeiros. As leguminosas foram semeadas no espaçamento de 0,5 m x 0,2 m, sendo cortadas conforme os tratamentos e a matéria seca produzida, colocada debaixo das copas dos cafeeiros.

As parcelas com leguminosas receberam uma capina aos quinze dias após o semeio, nas entrelinhas das leguminosas e na projeção da copa do cafeeiro. A testemunha foi roçada aos 30, 60 e 90 dias, nas entrelinhas. Todas as parcelas foram roçadas na projeção da copa dos cafeeiros em março nos dois anos, para facilitar a colheita. O material da capina permaneceu na área.

2.2 Procedimentos e dados dos cafeeiros

Antes do semeio das leguminosas (dezembro de 2007), em setembro de 2008 e setembro de 2009 foram realizadas as avaliações nos cafeeiros. Foram marcados dois ramos plagiotrópicos, cada um ocupando um lado na altura mediana do cafeeiro.

TABELA 1 - Análise de solo realizada na projeção da copa dos cafeeiros na profundidade de 0 a 20 cm.

pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V
H_20	--mg dm^{-3}--		----------cmol$_c$ dm^{-3}----------						%
6,0	46	144	4,00	1,33	3,3	5,65	5,60	9,0	63

P,K - Extrator Melhich 1; Ca, Mg - Extrator KCl 1 mol L^{-1}; H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L^{-1}.

Em cada ramo, incluindo suas ramificações, foram avaliados o número de nós totais e número de folhas com comprimento maior ou igual a 8 cm. No segundo ano, além dessas variáveis, foram avaliados também o número de nós produtivos e número de nós vegetativos.

Determinou-se ainda: altura da planta, diâmetro da copa e diâmetro de caule. A altura foi determinada medindo-se desde a superfície do solo até a gema apical do ramo ortotrópico. O diâmetro da copa, transversalmente à linha de plantio dos cafeeiros, foi obtido medindo-se a distância entre o primeiro par de folhas presentes nos ramos plagiotrópicos opostos. O diâmetro do caule foi determinado a 5 cm do solo, com uso de um paquímetro digital.

As avaliações foram realizadas em setembro, época de retomada de crescimento e início de um novo ciclo produtivo dos cafeeiros. A avaliação em setembro de 2007 refletiu a uniformidade dos cafeeiros antes da instalação do experimento. A avaliação de 2008 refletiu o efeito dos tratamentos em 2007-2008 e a avaliação de 2009 refletiu o efeito dos dois anos 2007 até 2009.

Os frutos foram coletados de cada cafeeiro quando a maturação apresentou mais de 50% de grãos cereja, sendo esses submetidos à secagem natural em terreiro de cimento até atingirem 12 a 13% de umidade. Devido à desuniformidade de maturação dos grãos houve necessidade de duas colheitas. A partir do peso dos frutos secos, foi calculada a produtividade em sacas (60 kg) por hectare (sc ha^{-1}) de café em grão beneficiado. Obteve-se a variável produtividade acumulada pela soma das produtividades nos dois anos.

2.3 Procedimentos e dados das leguminosas

As leguminosas foram cortadas rente ao solo após diferentes períodos de consorciação (30, 60, 90 e 120 DAP). Imediatamente antes de cada corte, toda a matéria seca da leguminosa acumulada na área delimitada ao longo de 1,0 m linear na entrelinha foi cortada, pesada e alocada novamente na parcela após a retirada de uma subamostra para secagem em estufa (60 ºC). Calculou-se a produção de matéria seca (t ha^{-1}) das espécies considerando-se apenas a área ocupada pelas leguminosas, descontando-se 50% da área ocupada com cafeeiros.

2.4 Técnicas estatísticas empregadas

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p<0,05$). Efeitos das espécies de leguminosas foram comparados pelo teste F. Efeitos dos períodos de consorciação ou da matéria seca das leguminosas foram interpretados por meio de Análise de Variância da Regressão, para análise das combinações espécie-período de consorciação, em cada ano ou Teste de Dunnett ($p<0,05$), para comparação entre a testemunha e os demais tratamentos. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Acúmulo de matéria seca nas leguminosas

No ano de 2007-2008, o acúmulo de matéria seca nas leguminosas foi influenciado pela espécie e períodos de consorciação, isoladamente. Quando comparadas as duas espécies, o feijão-de-porco (2,65 t ha^{-1}) acumulou mais matéria seca que o lablabe (1,89 t ha^{-1}) ($p<0,05$). O acúmulo de matéria seca nas leguminosas aumentou linearmente com o período de consorciação com os cafeeiros de janeiro de 2007 a abril de 2008 ($Y= -1,35 + 0,05x$ $R^2= 0,94$). Em 2008-2009, o acúmulo de matéria seca nas leguminosas foi influenciado pela interação leguminosa x período de consorciação, sendo que a lablabe ($Y= -1,82 + 0,063x$ $R^2 = 0,95$) acumulou mais matéria seca que o feijão-de-porco ($Y= -0,959 + 0,032x$ $R^2 = 0,99$).

3.2 Crescimento dos cafeeiros 2007-2008

Antes da implantação do experimento, as características de crescimento vegetativo não variavam estatisticamente ($p\geq0,05$), entre os cafeeiros das parcelas que receberam os tratamentos.

Os valores médios das características de crescimento dos cafeeiros antes da implantação do experimento, em dezembro de 2007, foram: altura (116,23 cm); diâmetro de copa (110,33 cm); número de nós/ramo (16,18); número de folhas/ramo (13,69); e diâmetro de caule (0,94 cm).

Em setembro de 2008, a altura, diâmetro de caule e número de nós/ramo não foram influenciados pelos tratamentos ($p \geq 0,05$), apresentando média de 128,46 cm, 1,02 cm e 16,27, respectivamente. O diâmetro de copa e o número de folhas/ramo foram influenciados pela interação espécie x período de consorciação, não sendo significativa a comparação Fatorial vs Testemunha ($p \geq 0,05$).

O diâmetro da copa dos cafeeiros foi afetado negativamente pelo aumento do período de consorciação com a lablabe, enquanto que a consorciação com feijão-de-porco resultou em modelo linear *response plateau* (Figura 1A). O número de folhas/ramo apresentou resposta linear decrescente com o aumento do tempo de consórcio com a lablabe, enquanto os cafeeiros consorciados com o feijão-de-porco apresentaram valor constante de 12,66 folhas (Figura 1B).

A consorciação com feijão-de-porco por 30 dias resultou em diâmetro da copa de 165,2 cm. Com o aumento do período de consorciação até 55,50 dias, o diâmetro da copa é reduzido. Em períodos mais longos de consorciação, o diâmetro de copa permaneceu constante e igual a 103,1 cm.

Contudo, o crescimento dos cafeeiros consorciados com as leguminosas foi similar aos dos cafeeiros sem consorciação, independentemente do período de consórcio ($p \geq 0,05$).

3.3 Crescimento dos cafeeiros 2008-2009

A possível maior competição exercida pelo feijão-de-porco em relação ao lablabe pode ocorrer devido ao ciclo mais precoce da primeira espécie. O feijão-de-porco semeado no início do período de chuvas pode apresentar período variável até o florescimento variável, entre 64 e 118 dias e maturação, oscilando entre 168 e 249 dias. Enquanto que o lablabe pode apresentar um ciclo de 156 dias até a floração e de 209 dias até a maturação (CARVALHO; AMABILE, 2006).

No entanto, assim como na safra 2007-2008, os cafeeiros consorciados não diferiram da testemunha em relação às características vegetativas avaliadas com exceção do diâmetro de copa. Resultados similares são relatados por Partelli et al. (2010). Tais autores relatam que, a consorciação por 76 dias de *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., *C. ensiformis*, *Cajanus cajan* (L.) Huth ou *Stizolobium deeringeanum* Bort não resultou em efeitos sobre os teores de N, P e K, nas folhas dos cafeeiros (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner cv. Conilon), nem sobre o crescimento dos ramos, comparativamente à testemunha.

Trabalhos com cultivo de soja nas entrelinhas de cafeeiro não verificaram influência dos tratamentos na altura de plantas (REZENDE et al., 2000). Bergo et al. (2006) observaram que feijão-de-porco reduziu significativamente o diâmetro de copa e o crescimento dos cafeeiros consorciados.

Ambos os resultados são similares aos obtidos neste trabalho para as variáveis altura e diâmetro de copa, respectivamente, demonstrando a competição das culturas consorciadas com os cafeeiros, sendo as características vegetativas sensíveis a essa competição.

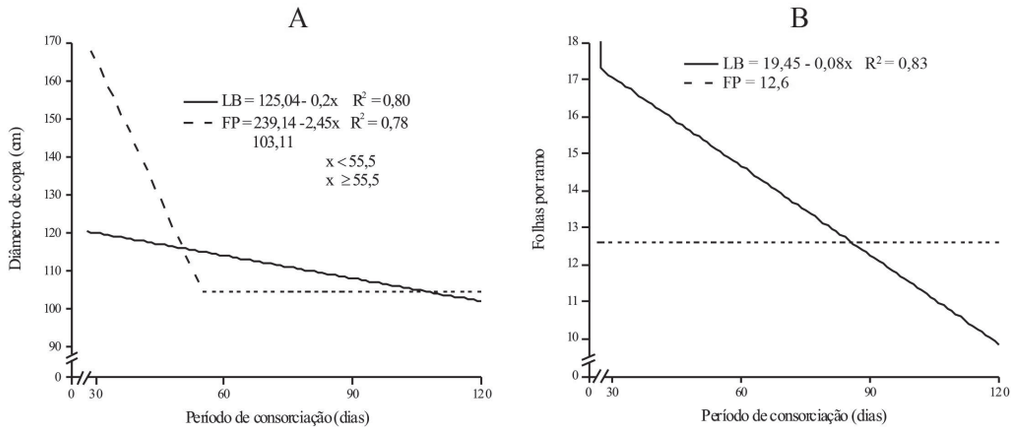


FIGURA 1 - A) Diâmetro de copa de cafeeiros em função do período de consorciação com feijão-de-porco (FP) ou lablabe (LB) avaliados em setembro de 2008, após o primeiro ano de consorciação. B) Número de folhas por ramo de cafeeiros em função do período de consorciação com feijão-de-porco (FP) ou lablabe (LB) avaliados em setembro de 2008, após o primeiro ano de consorciação.

TABELA 2 - Diâmetro de copa (DC), número de nós totais por ramo (NT), nós vegetativos/ramo (NV), nós produtivos/ramo (NP) e folhas/ramo (FOLHAS) em cafeeiros (*Coffea arabica*) consorciados com feijão-de-porco (*Cannavalia ensiformis*) ou lablabe (*Dolichos lablab*), ao final de dois anos de experimentação. Média de quatro períodos de consorciação

Espécie	DC	NT	NV	NP	FOLHAS
	cm	nº/ramo			
Feijão-de-porco	124,51	44,34	26,22	18,10	36,12
Lablabe	133,29*	57,45*	35,36*	22,00*	49,09*
CV (%)	7,96	19,78	29,18	16,29	36,67

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 3 - Comparação com a testemunha do diâmetro da copa (DC) de cafeeiros (*Coffea arabica*) consorciados com as leguminosas feijão-de-porco (*Cannavalia ensiformis*) ou lablabe (*Dolichosl lablab*) por quatro períodos (30, 60, 90 ou 120 dias).

Espécie	Corte (dias)	DC (cm)
Testemunha		140,82 a
Feijão-de-porco	30	125,37 a
	60	127,68 a
	90	123,81 b
	120	121,18 b
Lablabe	30	135,31 a
	60	139,31 a
	90	128,93 a
	120	129,62 a
CV(%)		7,96
DMS		15,63

Médias seguidas pela mesma letra não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \geq 0,05$).

Espécies mais altas como o guandu podem sombrear o cafeeiro, resultando em aumento da altura, o que não seria esperado nos trabalhos com leguminosas de porte baixo. Contudo, Paulo et al. (2001), trabalhando com guandu, relataram que os tratamentos influenciaram de maneira negativa não só a altura, mas também o diâmetro de caule de *Coffea canephora*. Dados similares foram relatados por Paulo et al. (2006), nos quais a mesma leguminosa reduziu o diâmetro de caule de cafeeiro 'Mundo Novo'. Da mesma forma que a altura, o diâmetro de caule dos cafeeiros não foi uma variável sensível aos tratamentos, pelo menos nestes dois primeiros anos. Talvez em longo prazo, a variável expresse algum efeito e, uma vez que existem relatos de efeito prejudicial (PAULO et al., 2001, 2006), as avaliações devem continuar.

Avaliando a interferência de plantas daninhas sobre os cafeeiros por quatro anos, Lemes et al. (2010) relatam que essa diminui com o crescimento dos cafeeiros ao longo dos anos, diferentemente de experimentos conduzidos com mudas em vasos, onde a interferência de outras espécies reduziu o crescimento do cafeeiro. O cultivo de mudas de cafeeiros 'Mundo Novo' em vasos de 25 dm^3 com 2, 4 ou 6 plantas de *Digitaria horizontalis* Wild., *Mucuna aterrima* (Piper 7 Tracy) Holland, *Brachiaria decumbes* Stapf ou *B. plantaginea* (Link) Hitchs dos 30 aos 90 dias após o transplante resultou em correlação negativa entre a infestação de plantas daninhas e as características de altura, área foliar, diâmetro do caule e acúmulo de matéria seca dos cafeeiros (FIALHO et al., 2012).

3.4 Produtividade dos cafeeiros

Houve efeito significativo na comparação Fatorial vs. Testemunha no ano 2008 e na produtividade acumulada dos dois anos (Tabela 4). A produtividade nos anos de 2008 e 2009 também foi influenciada pelo período de consorciação. A produtividade acumulada foi influenciada também pela interação leguminosa x período de consorciação.

As duas leguminosas, em todos os períodos de consorciação com o cafeeiro reduziram a produtividade no ano de 2008, comparativamente à testemunha. O mesmo resultado foi observado quanto à produtividade acumulada. Já em 2009, apenas o feijão-de-porco consorciado com o cafeeiro por 120 dias resultou na redução da produtividade do cafeeiro.

Os resultados de produtividade não refletem os resultados das variáveis de crescimento do cafeeiro, uma vez que a produtividade foi influenciada significativamente pelos tratamentos.

A produtividade do ano de 2008 como função do período de consorciação com as leguminosas ajustou-se ao modelo linear *response plateau*, em que, aos 30 dias de consórcio, a produtividade foi de 29,3 sc ha^{-1} e com estabilização em 23,31 sc ha^{-1},a partir de 50,25 dias de consorciação.

Já a produtividade em 2009 foi prejudicada pelo aumento do período de consorciação com as leguminosas, sendo que dos 30 para os 120 dias de consórcio, a produtividade foi reduzida em 10,8 sc ha^{-1} (Figura 2).

Os cafeeiros consorciados com o feijão-de-porco apresentaram uma reposta linear negativa da produtividade acumulada com o aumento do período de consorciação, atingindo, aos 120 dias, 31,69 sc ha^{-1}. A produtividade acumulada dos cafeeiros consorciados com a lablabe seguiu o mesmo padrão que a produtividade de 2008, com o modelo linear *response plateau*, onde a produtividade na consorciação por 30 dias foi de 53,63 sc ha^{-1}, diminuindo com o aumento do período de consorciação, até estabilizar a partir de 53,64 dias de consorciação em 40,82 sc ha^{-1} (Figura 3A).

Observa-se um padrão citado em outros experimentos, onde a produtividade diminui à medida que a leguminosa fica mais tempo convivendo com o café, e consequentemente acumulando mais matéria seca, sendo que o feijão-de-porco afeta mais a produtividade do que a lablabe, com o aumento do período e consorciação com os cafeeiros (Figura 3B).

A lablabe diminui a produtividade do cafeeiro quando o consórcio ocorre até 53 dias. A partir dessa data, o aumento do período de consorciação não diminui a produtividade, ao passo que, quanto mais tempo consorciado com o feijão-de-porco, maior a queda da produtividade acumulada.

Estes resultados corroboram aos relatados por Bergo et al. (2006), onde os autores verificaram uma redução na produtividade de cafeeiros em consócio com feijão-de-porco, e com os obtidos por Rezende et al. (2000), em que a soja diminuiu a produtividade de cafeeiros Catuaí Vermelho em até 42%, em relação à testemunha.

TABELA 4 - Comparação com a testemunha da produtividade nos anos de 2008 (PROD 08), 2009 (PROD 09) e acumulada (PROD AC) de cafeeiros (*Coffea arabica*) consorciado com as leguminosas feijão-de-porco (*Cannavalia ensiformis*) ou lablabe (*Dolichos lablab*), em quatro períodos (30, 60, 90 e 120 dias).

Espécie	Dias após o corte	PROD 08	PROD 09	PROD AC
			sc ha^{-1}	
Testemunha		44,55 a	25,65 a	67,70 a
Feijão-de-porco	30	30,23 b	21,38 a	51,60 b
	60	21,50 b	24,74 a	46,25 b
	90	23,08 b	14,28 a	37,36 b
	120	21,20 b	9,67 b	30,86 b
Lablabe	30	28,38 b	25,23 a	53,60 b
	60	19,34 b	18,04 a	37,38 b
	90	25,16 b	16,94 a	42,10 b
	120	23,78 b	15,76 a	39,54 b
CV (%)		20,55	26,85	8,33
DMS		9,69	9,02	6,73

Médias seguidas pela mesma letra não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \geq 0,05$).

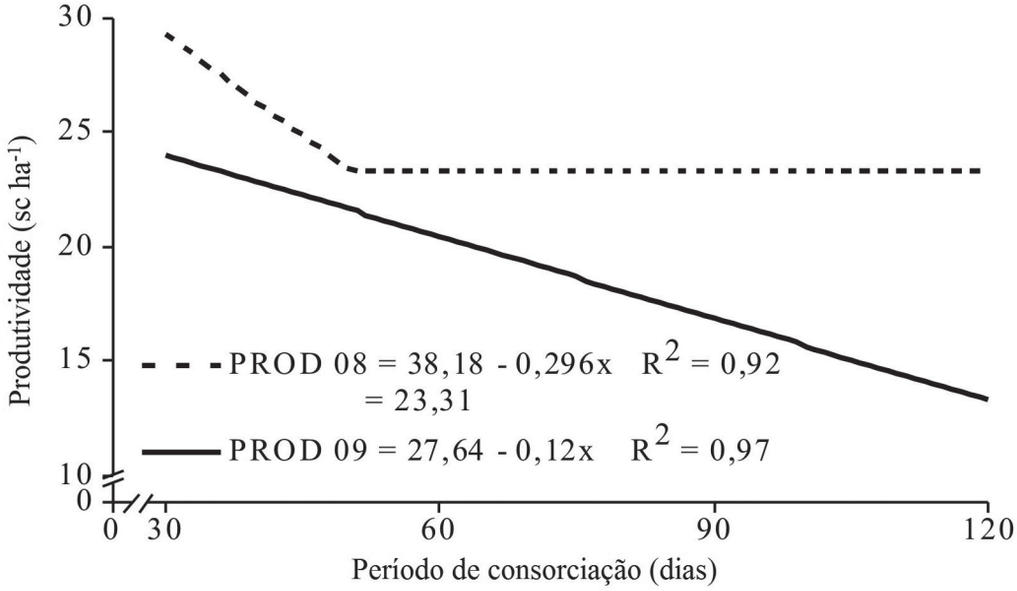


FIGURA 2 - Produtividade de cafeeiros em 2008 (PROD 08) e 2009 (PROD 09), em função do período de consorciação com leguminosas.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil, as maiores taxas de acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre foram observados no estádio de rápida expansão dos frutos dos cafeeiros, entre 79 e 85 dias após a antese (LAVIOLA et al., 2009), coincidindo com o período de acúmulo de matéria seca das leguminosas.

A avaliação do efeito do período de infestação (30 a 150 dias) de diversas espécies daninhas não leguminosas sobre a produtividade de cafeeiros nos primeiros três anos indica que o aumento do período de convivência resulta em redução da produção de cafeeiros (LEMES et al., 2010). Contudo, ocorre uma estabilização da queda de produtividade após 75 dias (primeiro ano) e 30 dias (segundo ano) e queda mais linear no terceiro ano. Os autores relatam ainda que os períodos anteriores à interferência das plantas daninhas são curtos, entre dois e 20 dias quando os cafeeiros estão em produção.

A interferência da densidade de *Brachiaria decumbens,* quando plantada junto à muda (0 cm), provocou uma redução de 60% a 88% na matéria seca do cafeeiro. Com distância de 10 cm, a redução de matéria seca do cafeeiro aumentou com o aumento da densidade da braquiária.

Na convivência do cafeeiro com 16 plantas m^{-2} de braquiária, a redução de matéria seca foi de 80% nas distâncias de 0 e 20 cm.

Em relação à área foliar, a redução foi em média 47% na densidade de 4 plantas m^{-2} de capim-braquiária e nas demais densidades a redução foi maior, quando mantidas distâncias de 0 e 20 cm (MARCOLINI et al., 2009).

Paulo et al. (2006) também verificaram uma correlação negativa entre o acúmulo de matéria seca das leguminosas e a produtividade de cafeeiros. Nesse trabalho, o guandu foi o que mais acumulou matéria seca, no entanto as produtividades em seus tratamentos foram menores, com redução de até 67% quando comparadas à testemunha. Resultados similares a essa correlação negativa também foram constatados por Paulo et al. (2001).

No presente estudo, com o aumento da matéria seca do feijão-de-porco há uma diminuição linear da produtividade dos cafeeiros. Já a produtividade dos cafeeiros consorciados com a lablabe apresentou uma resposta hiperbólica, com uma queda inicial com o acúmulo de matéria seca até em torno de 0,75 t ha^{-1} de lablabe e depois uma queda suave, onde o aumento da matéria seca acumulada pouco afetou a produtividade.

No primeiro ano, devido ao plantio em dezembro das leguminosas, o crescimento vegetativo dos cafeeiros foi pouco afetado pelo feijão-de-porco e pela lablabe, mas a produtividade foi bastante prejudicada, onde todos os tratamentos resultaram em produtividades menores que a testemunha.

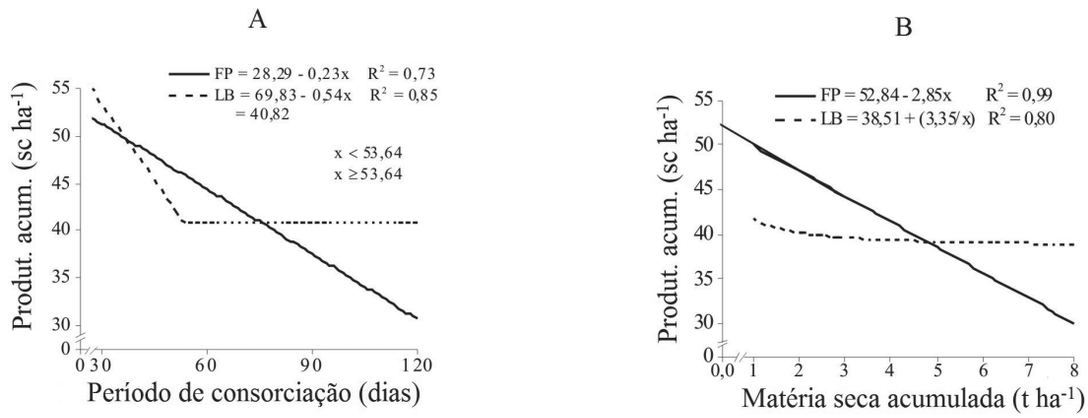


FIGURA 3 - A) Produtividade (sc ha^{-1}) acumulada de cafeeiro em função do período de consorciação com a leguminosa feijão-de-porco (FP) ou lablabe (LB). B) Produtividade acumulada (sc/ha) de cafeeiro em função da matéria seca acumulada das leguminosas feijão-de-porco (FP) ou lablabe (LB).

São necessários trabalhos em períodos maiores de avaliação, pois o possível prejuízo inicial causado pelas leguminosas, em cafeeiros, nos primeiros ciclos de produção podem não ocorrer em plantas de produção estável. Acredita-se que a utilização da prática de adubação verde periódica pode melhorar a qualidade do solo, ou ainda a planta adulta pode responder diferente à interferência da leguminosa.

4 CONCLUSÕES

No primeiro ano de consorciação com a lablabe ocorreu redução do diâmetro de copa e número de folhas/ramo. Nos dois anos de condução do consórcio houve redução da produtividade do cafeeiro. O período de consorciação influencia linearmente o acúmulo de massa em ambas as leguminosas, mas somente o maior acúmulo pelo feijão-de-porco reduz linearmente a produtividade do cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

BERGO, C. L. et al. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 19-24, jan./mar. 2006. Disponível em: <http://acta.inpa.gov.br/fasciculos/36-1/PDF/v36n1a04.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado:** adubação verde. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2006. 369 p.

FIALHO, C. M. T. et al. Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 65-73, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pd/v30n1/v30n1a08.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

LAVIOLA, B. G. et al. Macronutrient accumulation in coffee fruits at Brazilian Zona da Mata conditions. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 32, n. 6, p. 980-995, May 2009. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904160902872164>. Acesso em: 10 nov. 2013.

LEMES, L. N. et al. Weed interference on coffee fruit production during a four-year investigation after planting. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, n. 10, p. 1138-1143, May 2010. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/C32675A30152>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MALTA, M. R. et al. Produtividade de lavouras cafeeiras em conversão para o sistema orgânico de produção. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 183-191, jul./dez. 2007. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/65/90>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MARCOLINI, L. W. et al. Effect of the density and of the distance of *Brachiaria decumbens* Staff on the initial growth of *Coffea arabica* L. seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 11-15, Jan./June 2009. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/105/180>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MOURA, W. M. et al. Desempenho de cultivares de café em sistema de cultivo orgânico na Zona da Mata Mineira. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 256-264, jul./set. 2013. Disponível em: <https://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/428>. Acesso em: 10 nov. 2013.

PARTELLI, F. L. et al. Aspectos fitossociológicos e manejo de plantas espontâneas utilizando espécies de cobertura em cafeeiro Conilon orgânico. **Semina**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 605-618, jul./set. 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/portal/frm/frmOpcao.php?opcao=http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias>. Acesso em: 10 nov. 2013.

PAULO, E. M. et al. Produtividade do café Apoatã em consórcio com leguminosas na região da alta paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 195-199, set./dez. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v60n3/a06v60n3.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

PAULO, E. M. et al. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 115-120, jan./mar. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v65n1/29045.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

REZENDE, P. M. et al. Consórcio soja-café: I., comportamento de cultivares e do número de linhas de soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) sobre o cafeeiro (*Coffea* arábica L.) em sistema de consórcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 37-45, jan./mar. 2000.

RICCI, M. S. F. et al. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 138-144, mar./abr. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v62n2/23493.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

SANTOS, J. C. F. et al. Cultivation of perennial herbaceous legumes in weed management in coffee plantation on the Cerrado. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, El Monte, v. 3, n. 6B, p. 420-428, June 2013. Disponível em: <http://davidpublishing.org/show.html?13108>. Acesso em: 10 nov. 2013.

THEODORO, V. C. A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos do solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 56-66, jan./jun. 2009. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/111/190>. Acesso em: 10 nov. 2013.

CRESCIMENTO INICIAL DE CAFEEIRO COM USO DE POLÍMERO HIDRORRETENTOR E DIFERENTES INTERVALOS DE REGA

Ana Maria Conte e Castro[1], Guilherme Martins Maia[2], Juliana Aparecida de Souza[3], Frederico Luiz Alves Manfio[4]

(Recebido: 2 de dezembro de 2013; aceito: 14 de abril de 2014)

RESUMO: Objetivando-se avaliar o efeito de polímero hidrorretentor e diferentes intervalos de rega, no crescimento inicial da parte aérea e radicular de cafeeiro, foi conduzido um experimento em vaso, na Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes/PR. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x3, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por quatro doses de polímero hidrorretentor (0; 0,5; 2 e 4 kg ha^{-1}) e três intervalos de rega (3, 7, 14 dias). Aos cinquenta dias após o transplante, foram avaliados: o crescimento em altura das plantas, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e radicular e densidade radicular. O aumento das doses até 4 kg ha^{-1} de polímero hidrorretentor influencia positivamente o diâmetro do caule de cafeeiro. O uso de polímero hidrorretentor na dose de 4 kg ha^{-1} e intervalos de rega de até sete dias, aumenta a densidade radicular de cafeeiro, aos cinquenta dias após o transplante.

Termos para indexação: Coffea arabica L., condicionador de solo, Ecogel Veg®

INITIAL GROWTH OF COFFEE TREE WITH USE OF HIDRO RETENTOR POLYMER AND DIFFERENT INTERVALS OF WATERING

ABSTRACT: *With the objective to evaluate the effect of hidro retentor polymer and different watering intervals on the initial growth of shoot and roots of the coffee tree, an experiment was conducted in pots, in the Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel Bandeirantes/PR. The experimental design was a randomized block factorial design 4x3, using four replicater. The treatments consisted of four levels of hidro retentor polymer (0; 0.5; 2 and 4 kg ha-1) and three watering intervals (3, 7, 14 days). Fifty days after transplantation were evaluated: the growth of plant height, stem diameter, number of leaves, fresh and dry weight of shoot and roots and root density. Increased doses of hidro retentor polymer up to 4 kg ha-1 positively influenced the stem diameter of the coffee tree. The use of hidro retentor polymer in the dose of 4 kg ha-1 and watering intervals up to seven days, increases root density of coffee, at fifty days after transplantation.*

Index terms: *Coffea arabica L., soil conditioner, Ecogel Veg®.*

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a deficiência de água é fator limitante à obtenção de produtos de qualidade e que, por causa do alto custo inicial para implantação da lavoura cafeeira, alguns produtores não têm capital para investir em equipamento de irrigação, logo, técnicas que possam suprir a falta de um sistema de irrigação devem ser avaliadas, principalmente, para atender ao pequeno produtor (CARVALHO et al., 2011).

Segundo Tesfaye, Razi e Maziah (2008), a disponibilidade hídrica é um fator importante no crescimento vegetativo inicial do cafeeiro, representando cerca de 60% dos custos para produção de mudas no sistema convencional de condução de viveiros. Batista et al. (2010), completam dizendo que o estresse hídrico é um fator ambiental que pode ser extremamente prejudicial para a cultura do cafeeiro, principalmente diante da expansão da cafeicultura brasileira para áreas consideradas marginais para o cultivo do cafeeiro, por estarem sujeitas à deficiência hídrica.

Uma alternativa que vem sendo utilizada consiste em adicionar ao solo polímeros hidrorretentores, denominados de condicionadores de solo. Segundo Albuquerque Filho et al. (2009), esses compostos podem melhorar ou incrementar certas propriedades do solo como porosidade, capacidade de armazenamento de água e evaporação. De acordo com Prevedello e Balena (2000), a adição do polímero hidrorretentor, na concentração de 32 kg m^{-3}, pode até duplicar a capacidade de retenção de água, em solos argilosos, e aumentar, em até 7,5 vezes, essa capacidade em solos arenosos.

Marques, Cripa e Martinez (2013), estudando o uso do hidrogel como substituto da irrigação de mudas de café cv. Iapar 59, concluíram que o uso do hidrorretentor Hydroplan-EB®, na dose de 2 g, por muda, proporcionou mudas

[1,2,3,4]Universidade Estadual do Norte do Paraná/UENP- Centro de Ciências Agrárias - Rodovia BR-369 - Km 54 - Vila Maria Cx. P. 261 - 86360-000 - Bandeirantes - PR - acastro@uenp.edu.br, gui.maia@hotmail.com, julianasouzaagro@yahoo.com.br, fredmanfio@hotmail.com

de mesma qualidade que aquelas irrigadas. Azevedo et al. (2002), estudando a eficiência de hidrogel adicionado no substrato de plantio das mudas de cafeeiro cv. Tupi, afirmam que a presença de hidrogel permitiu ampliar os intervalos entre irrigações, sem comprometer o crescimento da planta por déficit de água. Zonta et al. (2009), estudando diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente , na fase inicial de desenvolvimento da lavoura, em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, concluíram que o turno de rega de 7 dias e a dose de hidroabsorvente de 9 gramas proporcionou a melhor condição para o desenvolvimento inicial da cultura do café conillon.

Objetivou-se,no trabalho, avaliar o efeito de doses de polímero hidrorretentor e intervalos de rega, no crescimento inicial da parte aérea e radicular de cafeeiro, aos cinquenta dias após o transplante.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em ambiente protegido, sem controle de umidade relativa do ar e temperatura, na Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes/PR, tendo como coordenadas 23º06' Latitude Sul e 50º22' Longitude Oeste, altitude de 420 m (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES, 2013). Foram utilizadas mudas de café, cultivar Iapar 59, com altura média de 20 cm e cinco pares de folhas, produzidas em saco plástico de polietileno e provenientes de viveiro comercial, localizado na fazenda Santa Rosa, no município Cândido Mota/SP. Para compor os tratamentos foi utilizado o polímero hidrorretentor (Ecogel Veg®, cuja dose comercial é 2 kg ha^{-1}) com delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x3, composto de quatro doses do polímero hidrorretentor (0; 0,5; 2 e 4 kg ha^{-1}) e três intervalos de rega (3, 7 e 14 dias), com 4 repetições, totalizando 48 vasos (parcelas).

O experimento foi instalado no dia 04 de outubro de 2012, por meio do transplante das mudas dos sacos plásticos para os vasos (5 L), com uma planta por vaso. Antes do transplante das mudas, as doses do polímero hidrorretentor (em pó e não hidratado) foram pesadas em balança de precisão e incorporadas ao solo de cada vaso e homogeneizado, garantindo a distribuição uniforme do produto. A adubação de plantio foi realizada com 65 g de P_2O_5, na forma de superfosfato simples (190 g por vaso) e 4 g de N na forma de ureia (10 g por vaso), com base na análise de solo e na Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação (GUIMARÃES et al., 1999).

O solo utilizado para preencher os vasos foi coletado da camada de 0-20 cm, classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), com 79% de argila, cujas características químicas foram determinadas pela análise de solo: pH ($CaCl_2$)= 5,2; matéria orgânica= 21,5 g kg^{-1}; P= 11,9 mg dm^{-3}; K= 0,45 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca= 4,5 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg= 1,7 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al= 3,5 $cmol_c$ dm^{-3}; $CTC_{7,0}$= 10,2 $cmol_c$ dm^{-3} e saturação por base= 65,4%.

Logo após a instalação do experimento, as mudas foram avaliadas com relação à altura inicial, medida desde o nível do solo até o ápice, utilizando-se uma régua, com a finalidade de, ao final do experimento, calcular o incremento na altura em função dos tratamentos. No período inicial de quinze dias, a umidade do solo foi mantida próximo à capacidade de campo com irrigações frequentes, para garantir condições iniciais de estabelecimento das plantas, igualitárias a todos os tratamentos. As plantas daninhas foram controladas manualmente toda semana.

Aos quinze dias após o transplante, iniciaram-se os turnos de rega, em que o cálculo da quantidade de água a ser aplicada, foi realizado com base na média da pluviosidade no município de Bandeirantes/PR, nos meses de outubro e novembro dos anos de 2005 a 2011, meses em que foi conduzido o trabalho, no intuito de simular uma condição a campo, de acordo com a metodologia proposta pelos autores. Os dados de precipitação foram obtidos da Estação Agrometeorológica de Bandeirantes-PR, disponíveis no site da Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP (2012). A média calculada para o mês de outubro foi de 200,27 mm e no mês de novembro foi de 110,67 mm. No mês de outubro, todas as parcelas receberam a mesma quantidade de água (simulação de chuva de 200,27 mm), sendo que essa quantidade foi dividida em intervalos de regas de 3, 7 ou 14 dias, dependendo do tratamento (intervalos de regas de três dias = 10 irrigações de 20 mm a cada 3 dias; intervalos de regas de sete dias = 4 irrigações de 50 mm, a cada 7 dias; intervalos de regas de 14 dias = 2 irrigações de 100 mm a cada 14 dias), a mesma metodologia foi realizada para o mês de novembro, só que com 110,67 mm.

Foi utilizado o sistema de irrigação por rega manual, sendo que a quantidade de água necessária foi aplicada com uso de proveta graduada.

Aos cinquenta dias após o transplante, foram avaliados o crescimento inicial da parte aérea e radicular do cafeeiro. Na parte aérea, avaliou-se o incremento em altura das plantas (cm): subtraindo-se a altura inicial da altura final, obtidas respectivamente no dia da instalação do experimento e aos 50 dias após o transplante, medidas desde a superfície do solo até o ápice, utilizando-se uma régua; o diâmetro do caule (mm): medido a cerca de três centímetros acima do solo, utilizando-se um paquímetro digital, o número de folhas totalmente abertas (nº planta^{-1}): contadas manualmente; a massa fresca (g planta^{-1}): coletada manualmente e em seguida colocada em um saco de papel e pesada; a massa seca (g planta^{-1}): seca em estufa a 65ºC, até atingir peso constante (72 horas), e pesada em balança de precisão.

Em relação à parte radicular, avaliou-se a densidade radicular (g cm^{-3}): as raízes foram lavadas em água corrente em uma peneira (malha de 2,0 mm), para a retirada da massa fresca radicular. Essa foi colocada em uma proveta graduada de 1000 mL, com volume de água conhecido e, após a imersão das raízes foi anotado o volume deslocado, sendo a densidade radicular calculada pela fórmula D = M/V, onde, D = densidade radicular, M= massa fresca e V = volume deslocado; a massa fresca: obtida pesando-se as raízes em balança de precisão, e a massa seca da raiz (g planta^{-1}): posteriormente, acondicionadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa, à temperatura de 65ºC até atingir peso constante (72 horas), a fim de se obter a massa seca.

O sistema de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 1998) foi utilizado para a realização das análises de variância, e a análise de regressão referente às doses de polímero hidrorretentor e intervalos de rega. Utilizou-se a transformação em raiz quadrada da variável mais meio, para os dados da variável altura, com o objetivo de diminuir o valor do coeficiente de variação (acima de 30%). Nas tabelas, as médias foram apresentadas sem transformação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise de variância referentes ao crescimento da parte aérea e radicular do cafeeiro, aos cinquenta dias após o transplante, em função das doses de polímero hidrorretentor e intervalos de rega. Observa-se que, houve efeito significativo das doses do polímero, no diâmetro do caule e massa fresca da raiz, e de intervalos de rega, na massa seca da raiz, enquanto a densidade radicular apresentou interação, entre doses do polímero e intervalos de rega, significativa.

Não houve efeito significativo de doses de polímero hidrorretentor e intervalos de rega na variável altura de planta, número de folhas e massa fresca e massa seca da parte aérea. Por outro lado, Melo et al. (2005) verificaram diminuição na altura das mudas de cafeeiro em tubetes, com o aumento das doses do polímero hidrorretentor, independentemente da frequência de irrigação. Já Lima et al. (2003) avaliaram o efeito de diferentes doses de hidrogel e de lâminas de irrigação na produção de mudas de café, cv. Rubi, produzidas em saquinhos de polietileno, e verificaram que as doses de hidrogel não influenciaram, significativamente, a variável número de folhas, porém, influenciaram a fitomassa seca foliar.

Em relação ao diâmetro do caule (mm), as doses ajustaram-se a uma equação polinomial de 2º ordem (Figura 1), com resposta positiva no diâmetro do caule (R^2 = 0,87), em função do aumento das doses do polímero hidrorretentor até 4 kg ha^{-1} (2 g L^{-1}). Diferente dos resultados encontrados por Zonta et al. (2009), que estudando doses de polímero hidrorretentor (0; 0,3; 0,6 e 0,9 g L^{-1}) e turnos de rega (7, 14, 21 e 28 dias), observaram o valor máximo do diâmetro do caule (R^2 = 0,80), no turno de rega de 7 dias, com a dose de 0,9 g L^{-1} (1,8 kg ha^{-1}). Possivelmente, isso se deve ao fato que Zonta et al. (2009), utilizou em seu trabalho um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (31% de argila), com menor capacidade de retenção de água.

Na Figura 2, observa-se a resposta das doses de polímero hidrorretentor na massa fresca da raiz e de intervalos de rega na massa seca da raiz. Houve aumento da massa fresca da raiz, em função do aumento das doses do polímero hidrorretentor, até a dose de 3 kg ha^{-1}. A massa seca da raiz respondeu de forma linear ao aumento no intervalo de rega, demonstrando a resposta positiva do polímero em reter água, em função do aumento no intervalo de rega.

TABELA 1 - Teste F, média geral e coeficiente de variação, referentes ao crescimento em altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca e massa seca da parte aérea e radicular e densidade radicular do cafeeiro, aos 50 dias após o transplante. Bandeirantes/PR.

Fontes de Variação	Altura (cm)	Diâmetro Caule (mm)	Nº de folhas	Massa fresca (g planta^{-1})		Massa seca (g planta^{-1})		Densidade Radicular (g cm^{-3})
				Folhas	Raiz	Folhas	Raiz	
Doses (D)	0,37^{ns}	4,13*	1,96^{ns}	2,75^{ns}	3,17*	1,12^{ns}	1,79^{ns}	13,18*
Intervalo Rega (IR)	1,60^{ns}	2,42^{ns}	1,23^{ns}	1,12^{ns}	2,46^{ns}	0,28^{ns}	3,89*	5,50*
D X IR	0,83^{ns}	1,37^{ns}	0,98^{ns}	0,30^{ns}	2,04^{ns}	1,11^{ns}	0,75^{ns}	5,21*
Blocos	0,34^{ns}	0,45^{ns}	0,36^{ns}	0,14^{ns}	0,40^{ns}	0,19^{ns}	1,39^{ns}	0,80^{ns}
Média Geral	7,11	4,86	20,60	23,85	10,90	10,15	5,70	0,53
CV (%)	10,90	13,32	22,15	28,50	18,45	19,85	8,95	27,30

^{ns}não significativo e *significativo 5%. Os dados de altura foram transformados em raiz quadrada da variável mais meio e as médias apresentadas são sem transformação.

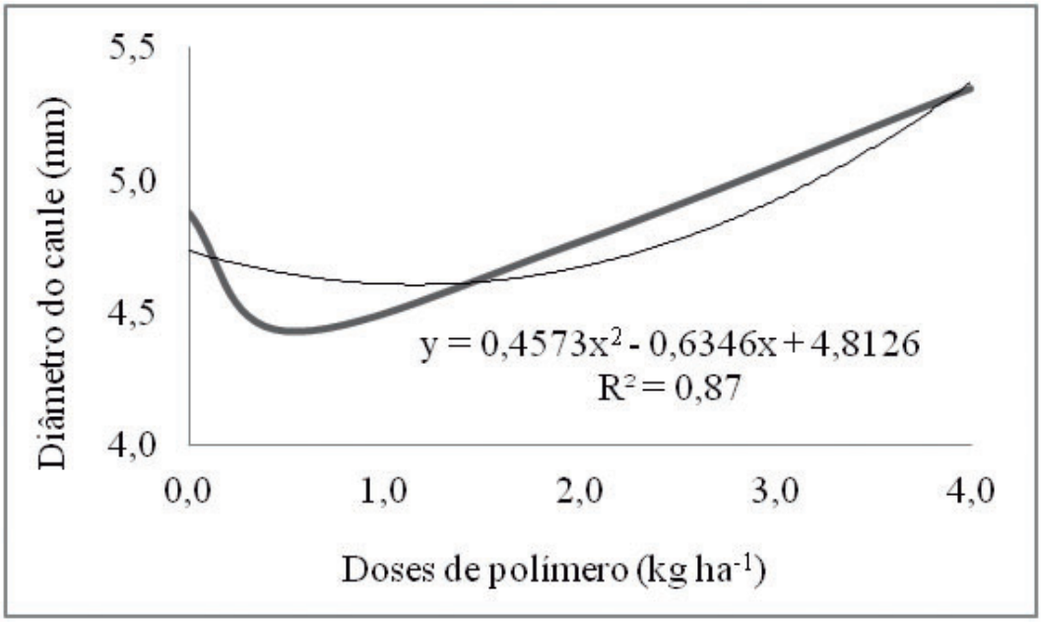
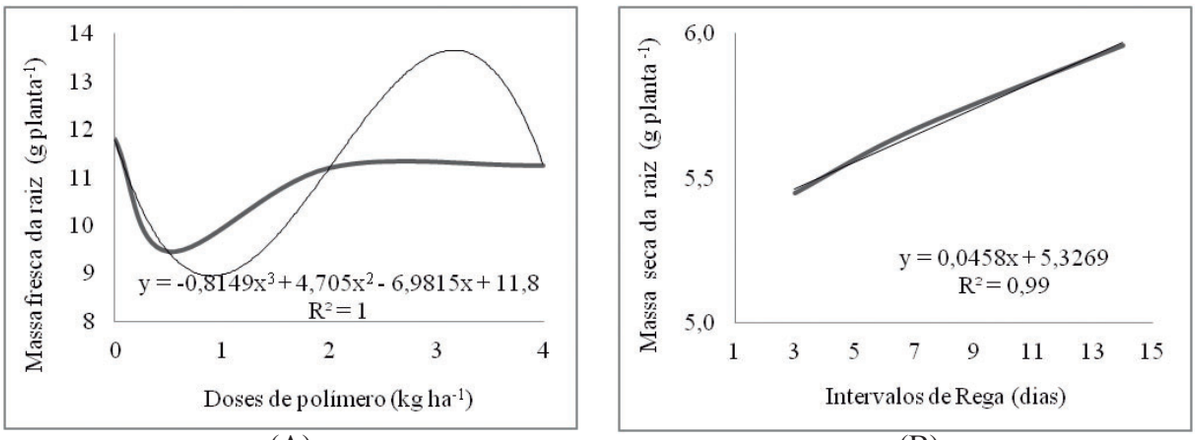


FIGURA 1 - Diâmetro do caule de plantas de cafeeiro, aos 50 dias após o transplante, em função das doses de polímero hidrorretentor.



(A) (B)

FIGURA 2 - Massa fresca da raiz em função de doses de polímero hidrorretentor (A) e massa seca da raiz, em função de intervalo de rega (B), em plantas de cafeeiro , aos 50 dias após transplante.

Diferente dos resultados encontrados por Carvalho et al. (2011), que avaliando diferentes turnos de rega (3, 7, 14 e 21 dias) e doses do polímero Terracottem® (0, 200, 400 e 600 g m^{-2}), em mudas de cafeeiro cv. Topázio na fase inicial de pós-plantio, verificaram que a massa seca da raiz reduziu com o aumento do turno de irrigação e que o maior valor observado foi para as plantas irrigadas com turno de sete dias. A diferença observada nos resultados pode ser atribuida ao tipo de solo utilizado no experimento, uma vez que o solo utlizado no presente trabalho possui boa capacidade natural de retenção de água (79% de argila), no entanto, Carvalho et al. (2011) não mencionam, em seu trabalho, o tipo de solo utilizado.

Nas Figuras 3 e 4, observa-se o desdobramento da interação doses de polímero hidrorretentor e intervalos de rega na densidade radicular. Houve resposta para doses de polímero no intervalo de rega de três e sete dias, assim como resposta do intervalo de rega, na dose de 4 kg ha^{-1}. Nos intervalos de rega de três e sete dias, observa-se o aumento linear na densidade radicular das plantas de cafeeiro, em função das doses de polímero. Na dose de 4 kg ha^{-1}, os dados ajustaram-se a uma função quadrática, em que a densidade radicular máxima é obtida no intervalo de rega estimado em, aproximadamente, sete dias.

Dentre os parâmetros estudados no crescimento inicial da parte aérea, houve resposta dos tratamentos apenas no diâmetro do caule. Os resultados obtidos podem ser atribuídos, dentre outros fatores, ao fato do polímero ter sido aplicado no solo seco (em pó), conforme constataram Vale, Carvalho e Paiva (2006).

Outro fator pode estar relacionado ao tipo de solo, que possui textura muito argilosa e, portanto, com boa capacidade de retenção de água. Vale, Carvalho e Paiva (2006), em um experimento conduzido para verificar os efeitos do uso do polímero hidrorretentor Sockosorb®, com e sem adição de matéria orgânica, em dois sistemas de plantio (direto e convencional), sobre o desenvolvimento inicial de mudas de cafeeiro, cultivar Catuaí, concluíram que nenhum dos tratamentos exerceu influência sobre qualquer uma das características avaliadas, e segundo os autores, o substrato pode ter limitado a expansão e a absorção de água.

Diferentes dos resultados obtidos nas condições experimentais estudadas, Azevedo et al. (2002), estudando a eficiência do hidrogel no fornecimento de água para o cafeeiro cultivar Tupi, com mudas submetidas a déficit hídrico induzido por diferentes turnos de rega (10, 20, 30 e 40 dias) e com diferentes níveis de polímero (0, 15, 30 e 45% do peso do substrato), constataram efeito significativo do polímero sobre as características altura, massa seca da parte aérea e massa seca de plantas, podendo-se afirmar que a presença do hidrogel no substrato permite ampliar os intervalos entre irrigações, sem comprometer o crescimento da planta por déficit de água. No entanto, Vallone et al. (2004), com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de polímero hidrorretentor no desenvolvimento de mudas de cafeeiro em tubetes, conduziram experimento com polímero hidrorretentor na dose 10 kg m^{-3} de substrato, utilizando a cultivar Acaiá Cerrado, MG-1474, e concluíram que a incorporação do polímero, na dose estudada, aumenta o tempo necessário para a formação de mudas de cafeeiro e prejudica o desenvolvimento delas, não sendo portanto, indicado para essa atividade.

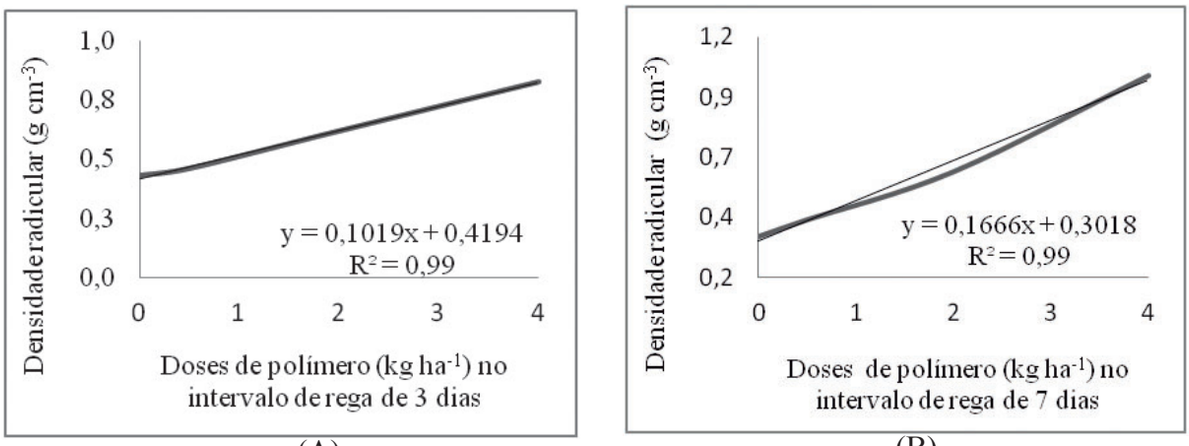


FIGURA 3 - Densidade radicular do cafeeiro aos 50 dias após o transplante em função das doses (kg ha^{-1}) do polímero hidrorretentor no intervalo de rega de 3 (A) e 7 (B) dias.

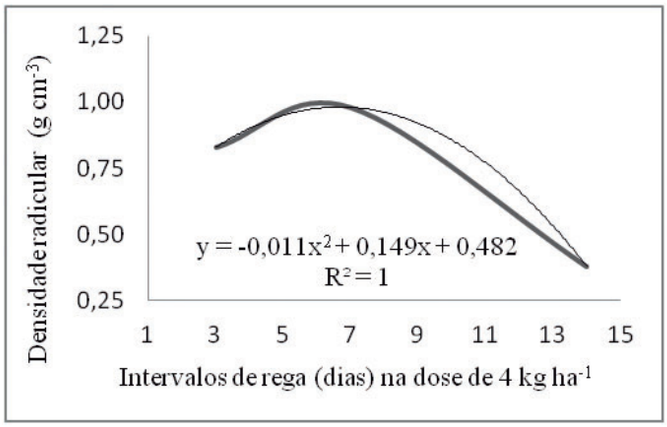


FIGURA 4 - Densidade radicular do cafeeiro aos 50 dias após o transplante, em função do intervalo de rega (dias) na dose de 4 kg ha^{-1} do polímero hidrorretentor.

4 CONCLUSÕES

O aumento das doses de polímero hidrorretentor até 4 kg ha^{-1} influencia positivamente o diâmetro do caule de cafeeiro, aos cinquenta dias após o transplante.

O uso de polímero hidrorretentor na dose de 4 kg ha^{-1} e intervalos de rega de até sete dias, aumenta a densidade radicular de cafeeiro, aos cinquenta dias após o transplante.

5 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C. et al. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 671-679, 2009.

AZEVEDO, T. L. F. et al. Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1239-1243, 2002.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

CARVALHO, J. de A. et al. Utilização de polímero hidro retentor no plantio de mudas de cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 164-171, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 412 p.

FERREIRA, D. N. **Sistema de análise estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX/ SISVAR, 1998.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno estatístico município de bandeirantes**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=86360>. Acesso em: 5 jan. 2013.

LIMA, L. M. L. de et al. Produção de mudas de café sob diferentes lâminas de irrigação e doses de um polímero hidroabsorvente. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 27-30, 2003.

MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. de M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciências Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 1-7, 2013.

MELO, B. de et al. Uso do polímero hidroabsorvente terracottem e da frequência de irrigação na produção de mudas de cafeeiros em tubetes. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 299, p. 13-22, 2005.

PREVEDELLO, C. L.; BALENA, S. P. Efeitos de polímeros hidro retentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 251-258, 2000.

TESFAYE, S. G.; RAZI, I. M.; MAZIAH, M. Effects of deficit irrigation and partial rootzone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 6, n. 384, p. 312-317, 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ. **Estação agrometeorológica de Bandeirantes, PR**. Disponível em: <http://clm.uenp.edu.br/tempo/>. Acesso em: 20 set. 2012.

VALE, G. F. R.; CARVALHO, S. P.; PAIVA, L. C. Avaliação da eficiência de polímeros polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 7-13, abr./jun. 2006.

VALLONE, H. S. et al. Substituição do substrato comercial por casca de arroz carbonizada para produção de mudas de cafeeiro em tubetes na presença de polímero hidroretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 593-599, maio/jun. 2004.

ZONTA, J. H. et al. Influência de diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente no desenvolvimento inicial da cultura do café conillon (*Coffea canephora Pierre*). **IDESIA**, Arica, v. 27, n. 3, p. 29-34, 2009.

UTILIZAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMO SUBSTRATO ALTERNATIVO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ CONILON

Sávio da Silva Berilli[1], Joao Paulo Chodacki Quiuqui[2], Jessica Rembinski[3], Paulo Henrique Honorato Salla[4], Ana Paula Candido Gabriel Berilli[5], João Marcos Louzada[6]

(Recebido: 12 de dezembro de 2013; aceito: 14 de março de 2014)

RESUMO: A pecuária bovina brasileira representa grande fonte de renda e investimento dos setores público e privado, sendo que após o abate, o destino dos couros para curtumes ocasiona a geração de uma quantidade expressiva de resíduos na forma de lodos, tornando-se assim um problema ambiental para os curtumes em muitos estados brasileiros que não dispõem de legislações, para a destinação correta desses resíduos. Dessa forma, o aproveitamento dos lodos dos curtumes na agricultura apresenta-se como uma solução tecnicamente viável, devido às elevadas quantidades de nutrientes minerais disponíveis no lodo, como o cálcio, enxofre, magnésio e nitrogênio, além da matéria orgânica. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a influência de diferentes concentrações de lodo de curtume desidratado, para a produção de mudas de café Conilon, em comparação com a adubação convencional. O experimento foi montado na forma de blocos casualizados composto de cinco tratamentos (T-C; T10; T20; T30; T40), sendo quatro proporções de lodo desidratado (10, 20, 30 e 40%) e um substrato convencional de produção de mudas de café *conilon*. Para este experimento, foram avaliadas as características biométricas das mudas, sendo observado que a adubação convencional apresentou melhor desenvolvimento das mudas avaliadas, no entanto, pôde-se observar que os tratamentos com as concentrações a 20% e, notadamente, a 30% de lodo de curtume desidratado no substrato não apresentaram diferenças significativas para a maioria das características avaliadas em relação ao tratamento com adubação convencional, demonstrando assim seu potencial de uso no substrato de mudas.

Termos para indexação: Sustentabilidade, inovação, nutrição, cromo, adubação alternativa.

USE OF SLUDGE TANNERY SUBSTRATE AS ALTERNATIVE TO PREPARE CONILON COFFEE SEEDLINGS

ABSTRACT: *The Brazilian cattle is great source of income and investments from public and private sectors, and after slaughter, the destination of the leather to tannery causes the generation of a significant amount of waste in the form of sludge, thus becoming an environmental problem for tanneries in many Brazilian states that do not have laws for proper disposal of this waste. Thus, the use of sludge in agriculture tanneries presented as a solution technically feasible due to the high amounts of nutrients available in the sludge, such as calcium, sulfur, magnesium, nitrogen and organic matter. This paper aims to evaluate the influence of different concentrations of dehydrated tannery sludge to produce Conilon coffee seedlings compared to conventional fertilization. The experiment was arranged as a randomized block design consisting of five treatments (T-C; T10; T20; T30; T40), four ratios of dewatered sludge (10, 20, 30 and 40%) and the other one with a substrate for the production of conventional Conilon coffee seedlings. For this experiment, we evaluated the biometric characteristics of the seedlings, we observed that the conventional fertilization showed better seedling development evaluated, however, we also observed that treatments with concentrations 20 and particularly 30 % of dehydrated tannery sludge in the substrate showed no significant differences for most characteristics evaluated in relation to treatment with conventional fertilization, thus demonstrating its potential use in substrate seedlings.*

Index terms: *Sustainability, innovation, nutrition, chrome, fertilizer alternative.*

1 INTRODUÇÃO

A reutilização de resíduos industriais na agricultura não é fato novo, como a utilização da vinhaça e torta de filtro da indústria sucroalcooleira, assim como a utilização de resíduos industriais como o lodo proveniente de curtumes ou lodo de esgoto doméstico, os quais vêm sendo bastante estudados para fins de adubação alternativa na agricultura e reutilização ecológica desse resíduo, como a reforma de pastagens, plantio do milho e sorgo (ARAUJO et al., 2008; COSTA et al., 2001; GIANELLO et al., 2011; SOUZA et al., 2005) ou na recuperação de áreas degradadas (FERREIRA et al., 2003), porém, com relação à utilização desse resíduo na composição do substrato de propagação de mudas de cafeeiro, nunca foi relatado.

[1,3,5,6]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/Campus Itapina - Rodovia BR-259 - Km 70 Zona Rural - Cx. P. 256 - 29709-910 - Colatina - ES - savio.berilli@pq.cnpq.br, jessykabb18@gmail.com, anapaulacg@gmail.com, joao.louzada@ifes.edu.br
[2]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/Campus Itapina - Córrego São João - Zona Rural - 29795-000 Águia Branca - ES - jpquiuqui@hotmail.com
[4]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/Campus Itapina - Rua Antônio Quintino, N° 08 Santa Fé - 29690-000 - Itaguaçu - ES - phs.salla@gmail.com

O lodo de curtume é um adubo agrícola em potencial, pois é rico em vários nutrientes importantes para os vegetais como o nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e magnésio, no entanto, esse resíduo industrial apresenta restrições, principalmente, devido à presença de metais pesados como o cromo e pela presença do sódio em elevadas concentrações (ARAUJO et al., 2008; CASTILHOS; TEDESCO; VIDOR, 2002; TEIXEIRA et al., 2006).

Alguns estados brasileiros apresentam normativas, estabelecendo critérios para a utilização do lodo de curtume, como é o caso de São Paulo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 1999), os quais já fazem uso há bastante tempo desses resíduos, na forma de adubação alternativa na agropecuária ou recuperação de áreas degradadas, no entanto, outros estados, como o Espírito Santo, são mais restritivos quanto à utilização desse resíduo, não possuindo legislação própria para sua utilização. Dessa forma, estudos dessa natureza buscam esclarecer os critérios necessários de utilização desses resíduos, notadamente voltada para as atividades agrícolas de cada região específica, como o a cultura do café no Espírito Santo.

A utilização de resíduos industriais de interesse agrícola, em substratos de mudas de plantas arbóreas ou arbustivas, constitui-se em uma interessante alternativa do uso de resíduos potencialmente poluentes, como é o caso do lodo de curtume (COSTA et al., 2001), visto que a distribuição diluída e sistematizada nos sistemas de plantios, proporcionam uma redistribuição desses resíduos de volta à natureza de forma ecológica e coerente com o uso dos recursos naturais do Planeta.

O Espírito Santo é um estado notadamente voltado para a atividade agrícola cafeeira, principalmente o café Conilon, sendo que atualmente grandes partes dos cafezais capixabas estão sendo substituídos por novas lavouras com materiais genéticos melhorados e maior tecnologia (FERRÃO et al., 2007). Para isso, uma grande quantidade de produtores de mudas de café vêm buscando alternativas para diminuir custos de produção, de modo que estudos sobre a utilização de adubos alternativos seria uma opção interessante para os viveiristas reduzirem custos. Objetivou-se,nesta pesquisa , estudar a eficiência da aplicação de lodo de curtume desidratado no substrato de propagação das mudas do cafeeiro *conilon* (*Coffea canephora*), como alternativa para a adubação convencional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Itapina (IFES-Campus Itapina), localizado no município de Colatina, região noroeste capixaba, na área experimental do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Itapina, com coordenadas geográficas de 19° 32’ 22” de latitude sul; 40° 37’ 50” de longitude oeste e altitude de 71 metros. Esse experimento foi conduzido em viveiro de propagação de mudas de café, onde foi utilizado um delineamento experimental de blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições, sendo consideradas 30 mudas por repetição para cada tratamento, totalizando assim 150 plantas por blocos e 750 plantas, em todo o experimento.

Os tratamentos constaram de quatro concentrações diferentes da mistura com lodo de curtume desidratado, sendo retratados, neste trabalho, como T10; T20; T30; T40, o que corresponde às proporções de 10%, 20%, 30% e 40% do volume total do substrato misturado com solo, e uma mistura considerada tradicional pelos produtores de mudas de café Conilon, sendo retratada neste trabalho por tratamento convencional (T-C) (solo - esterco bovino - areia na proporção de 1-1-1). O genótipo utilizado para esse trabalho foi variedade do café Conilon clonal Vitória Incaper 8142 (FERRÃO et al., 2007). Tal variedade possui 13 clones, porém, para fins de experimentação, somente o clone V8 foi testado, sendo considerado por produtores da região o mais vigoroso. A composição dos tratamentos T-C; T10; T20; T30; T40 estão detalhados na Tabela 1.

O solo utilizado para as misturas dos substratos com os tratamentos com lodo e tratamento convencional é classificado como latossolo vermelho distrófico com as características descritas na Tabela 2:

O lodo de curtume foi cedido pela empresa Capixaba Couros LTDA ME, situada na Rua Projetada nº 30, Distrito Industrial, CEP: 29730-000, Baixo Guandu - ES. Após o processamento do couro bovino cru, o lodo é liberado na forma líquido-concentrada, com 97% de umidade (base seca). Na sequência, o lodo foi colocado em tanques de evaporação até atingir umidade de aproximadamente 13,8 % (base seca). As características do lodo desidratado utilizado nesse experimento podem ser observadas na Tabela 3.

TABELA 1 - Descrição dos tratamentos ,contendo as diferentes proporções de lodo de curtume (10, 20, 30 e 40% de lodo) solo e adubação do substrato convencional.

Tratamento	Componente do substrato
T-C	136 L de solo, 625g de superfosfato simples, 200g de calcário, 200g de KCl e 36L de esterco bovino.
T-10	10% de Lodo de curtume + solo
T-20	20% de Lodo de curtume + solo
T-30	30% de Lodo de curtume + solo
T-40	40% de Lodo de curtume + solo

TABELA 2 - Características químicas do solo usado como componente do substrato das mudas.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	C	M.O.	SB	T	t	m	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B
	-mg/dm^3-		-----cmol$_c$/dm^3-----				%	g/dm3	--cmol$_c$/dm^3--			%		----------mg/dm^3----------					
5	5	48	0,8	1,3	0	0,03	0,47	8,1	2,3	3,1	2,3	0	74	7	0,6	0,8	7,9	112	0,4

Obs: SB: soma de bases; m: saturação de alumínio; V: saturação de base; T: CTC a pH 7; t: CTC efetiva.

TABELA 3 - Características físicas e químicas do lodo de curtume bovino desidratado usado no substrato das mudas.

pH	N	P_2O_5	K	Ca	Mg	C	C.E.	Fe	Cu	Zn	Mn
		----------%----------					dS/m	----------mg/dm^3----------			
12,30	3,7	0,20	0,08	2,70	0,1	0,93	17,30	57	1	1	1

As mudas foram produzidas a partir de estacas obtidas do tecido adulto de ramos ortotrópicos do cafeeiro, sendo essas retiradas de lavouras com bom aspecto fitossanitário e nutricional. Após a retirada dos ramos das plantas-mãe, esses foram encaminhados para a casa de vegetação, local onde foram eliminados 30 cm das extremidades dos ramos ortotrópicos (ramos contendo várias estacas). Em seguida, foi realizada a padronização das estacas, com 6 a 8 cm de altura, folhas com 1/3 do limbo foliar, ramos plagiotrópicos e acima da inserção do par de folhas com 1 cm. As estacas foram plantadas em sacolas de polietileno com dimensões de (11x20cm), previamente enchidas com os substratos com 30 dias de antecedência da implantação do experimento. As irrigações foram feitas, diariamente, durante todo o experimento por microaspersor, mantendo sempre a capacidade de campo dos substratos do experimento.

O experimento teve duração de 120 dias, com as características avaliadas de número de folhas, altura da muda, diâmetro da copa, diâmetro do caule e análises gravimétricas como massa fresca da parte aérea (MFPA), raiz (MFR) e planta inteira (MFP), massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e planta inteira (MSP) - foi utilizada estufa de circulação forçada a 70 ^{o}C até atingir peso constante em balança digital de precisão. Foi contabilizada a taxa de pegamento dos tratamentos. Para as medições de altura, foi utilizada régua graduada e contabilizada desde a base da muda até o ponto mais alto. Para o diâmetro do caule e da copa, foi utilizado um paquímetro digital, sendo que o diâmetro da copa foi considerado somente a partir das primeiras folhas iniciais, desconsiderando as duas folhas das estacas do plantio. O número de folhas foi considerado após a emergência das primeiras folhas, sendo desconsideradas as folhas iniciais das estacas do plantio.

Os dados foram submetidos a análises de variância, pelo teste F, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas pelo programa R (versão 2.15.1), e os gráficos foram gerados pelo programa Origin 6.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De um modo geral, pelo teste F houve diferença significativa para os tratamentos aplicados, sendo observado melhor desenvolvimento das mudas para o substrato convencional, em comparação aos substratos tratados com lodo de curtume. Os coeficientes de variação apresentaram níveis baixos e considerados bons para as análises realizadas (GOMES; GARCIA, 2002).

Uma das principais características observadas pelos produtores de mudas de café para determinação do ponto de comércio é a altura das mudas, sendo que as mudas cultivadas em substratos com adição de lodo de curtume desidratado apresentaram crescimento considerável neste experimento, atingindo altura de até 5,7 cm, tamanho aceitável pelos produtores da região norte do ES. Mesmo assim, o tratamento convencional destacou-se entre os outros tratamentos, atingindo aproximadamente 8 cm de altura, após 120 dias do plantio das estacas (Tabela 4).

Na literatura, valores divergentes são encontrados para a altura das mudas, sendo que resultados relatados por Braun et al. (2009), observaram que mudas clonais de café Conilon, aos 165 dias, apresentaram altura máxima de 6,4 cm, enquanto resultados encontrados por Tatagiba, Pezzopane e Reis (2010) demonstraram valores de altura de mudas clonais de café Conilon cultivadas por 100 dias (enraizamento e crescimento vegetativo) variando de 12 a 16 cm, de modo que, nesse caso, as diferenças entre genótipos, ambientes, luminosidades, recipientes de cultivos e adubações podem estar relacionados às diferenças nos desenvolvimentos das mudas entre os experimentos.

As características de altura de plantas, diâmetro da copa e diâmetro do caule, apresentaram semelhanças estatísticas entre os tratamentos com lodo e ficando abaixo do desenvolvimento da muda cultivada em substrato convencional. Porém, com relação ao número de folhas das plantas, o tratamento convencional apresentou-se diferentemente dos tratamentos de 10% e 20%, enquanto os tratamentos de 30% e 40% de lodo no substrato não apresentaram diferenças significativas (Tabela 4).

Ao analisar a massa fresca e seca da raiz (Tabela 5), observou-se um desenvolvimento uniforme em todos os tratamentos, não havendo diferenças significativas entre os mesmos. Isso indica que o lodo de curtume não comprometeu o sistema radicular da muda, promovendo um bom desenvolvimento do sistema radicular, o que pode estar relacionado ao elevado conteúdo de matéria orgânica presente no lodo de curtume.

TABELA 4 - Médias da altura da planta, número de folha, diâmetro da copa e diâmetro do caule de mudas de café Conilon, cultivadas em substrato convencional e com diferentes concentrações de lodo de curtume desidratado.

Tratamento	Altura da planta (cm)	Número de folhas	Diâmetro da copa (cm)	Diâmetro do caule (mm)
T-C	8,03 a	9 a	15,34 a	8,18 a
T-10	5,20 b	7 c	11,86 b	9,15 a
T-20	5,75 b	7 c	12,68 b	8,69 a
T-30	5,70 b	8 ab	12,06 b	9,54 a
T-40	5,20 b	8 ab	11,26 b	8,40 a
Média	5,98	8	12,64	8,79
CV (%)	11,33	10,14	9,56	4,23

Médias seguidas de letras distintas entre si na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5%.

TABELA 5 - Médias da massa fresca da raiz (MFR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da planta (MFP), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da planta (MSP) de mudas de café Conilon,cultivadas em substrato convencional e com diferentes concentrações de lodo de curtume desidratado.

Tratamento	MFR (g)	MFPA (g)	MFP (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MSP (g)
T-C	2,88 a	8,57 a	11,45 a	0,46 a	1,92 a	2,38 a
T-10	2,75 a	6,21 b	8,96 b	0,42 a	1,48 c	1,89 b
T-20	2,57 a	6,74 b	9,32 b	0,47 a	1,61 bc	2,09 ab
T-30	2,93 a	6,86 b	9,80 ab	0,47 a	1,75 ab	2,22 ab
T-40	2,16 a	6,09 b	8,25 b	0,40 a	1,50 bc	1,90 b
Média	2,66	6,89	9,55	0,44	1,65	2,10
CV (%)	17,57	9,70	10,52	18.83235	8.594714	9.258507

Médias seguidas de letras distintas entre si na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5%.

No entanto, para as características de massa fresca da planta, massa seca da parte aérea e massa seca da planta somente o tratamento com 30% de lodo no substrato das mudas apresentaram igualdade estatística com o tratamento convencional, demonstrando que doses inferiores e superiores a esse valor comprometem o desenvolvimento das mudas para as condições desse experimento. Os valores encontrados nesse experimento para massa fresca e seca total da parte aérea e raízes estão próximas dos experimentos realizados por alguns autores, variando de 1 a 3g para massa fresca da parte aérea 0,9 a 1,7g para massa seca da parte aérea, de 2 a 2,4g de massa seca da planta e 0,2 a 0,4g para massa seca das raízes (BRAUN et al., 2011; TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2010; TATAGIBA; SANTOS; PEZZOPANE, 2010).

Em relação ao parâmetro massa fresca da parte aérea, o tratamento convencional obteve melhores resultados, atingindo 8,57 g, enquanto os outros tratamentos não se diferenciaram, estatisticamente. Porém ao compararem os resultados de Braun et al. (2011), onde foram analisadas plantas crescidas sob diferentes luminosidades, durante 165 dias, eles obtiveram médias da massa fresca da parte aérea muito inferiores às obtidas nesse experimento (máxima de 3,3 g), pois nenhum dos tratamentos, com diferentes níveis de luminosidade, alcançaram ou se aproximaram dos tratamentos deste experimento, mostrando o porte considerável das mudas testadas aqui nos tratamentos .

Os valores observados de massa fresca, número de folhas e diâmetro da copa dos tratamentos com lodo desidratado inferiores ao

tratamento com adubação convencional podem estar relacionados a alguns fatores, sendo um deles a insuficiência no fornecimento de nutrientes pelo lodo, notadamente o nitrogênio, visto que, após desidratação o conteúdo de nitrogênio diminui drasticamente por volatilização. Outro fator que pode estar relacionado ao desenvolvimento inferior da massa fresca da parte aérea das mudas cultivadas com lodo, se refere à influência do cromo presente no lodo, visto que esse metal altera a bioquímica normal das células, causando estresse oxidativo e distúrbios na ultraestrutura dos cloroplastos, comprometendo o processo fotossintético e, consequentemente, a parte aérea da planta (BARTLETT; JAMES, 1988; PANDA; CHOUDHURY, 2005). O desenvolvimento inferior da parte aérea também pode estar relacionado ao potencial osmótico do solo e das células das raízes, visto que o lodo apresenta elevada concentração de sódio, o que pode alterar a regulação osmótica da planta e dificultar o transporte de água e solutos para a parte aérea (SENA; ZAIDAN; CASTRO, 2006).

Apesar do desenvolvimento inferior da parte aérea dos tratamentos com lodo, esse fenômeno não se repete quando se refere ao sistema radicular, visto que não houve diferença entre os tratamentos envolvidos. Essa observação levanta a real hipótese do lodo interferir no desenvolvimento somente da parte aérea, para as concentrações testadas neste experimento, podendo estar comprometido com falta de nitrogênio, presença de cromo ou de sódio. De acordo com alguns autores, o cromo tende a se acumular no sistema radicular das plantas (MORAL; PEDRENO; GOMEZ, 1995), porém, apesar de seu potencial tóxico, ao que parece, não houve prejuízos para o desenvolvimento do sistema radicular das mudas de café testadas neste experimento.

Analisando as variações no desenvolvimento vegetativo provocadas pelo gradativo aumento das doses de lodo na massa seca da parte aérea, massa seca da planta e altura percebe-se um mesmo padrão de resposta, com início de ganho de massa e altura, estabilização entre as doses de 20% e 30% e queda com 40% de lodo no substrato (Figura 1). Possivelmente, doses de lodo com 10% ou inferiores são insuficientes na liberação de nutrientes, o que compromete o desenvolvimento das mudas em relação às doses de 20% a 30%, em contrapartida, as doses de 40% apresentam declínio, tanto na produção de massa,quanto na altura da muda, o que pode estar relacionado ao acúmulo de cromo e sódio no substrato, causando prejuízos fisiológicosà às mudas e comprometendo seu desenvolvimento. Resultados observados por alguns autores, para outras espécies cultivadas, também relacionam a queda de área foliar e queda do ganho de massa com o aumento da salinidade da solução do solo (MEDEIROS et al., 2007; SOUSA et al., 2007).

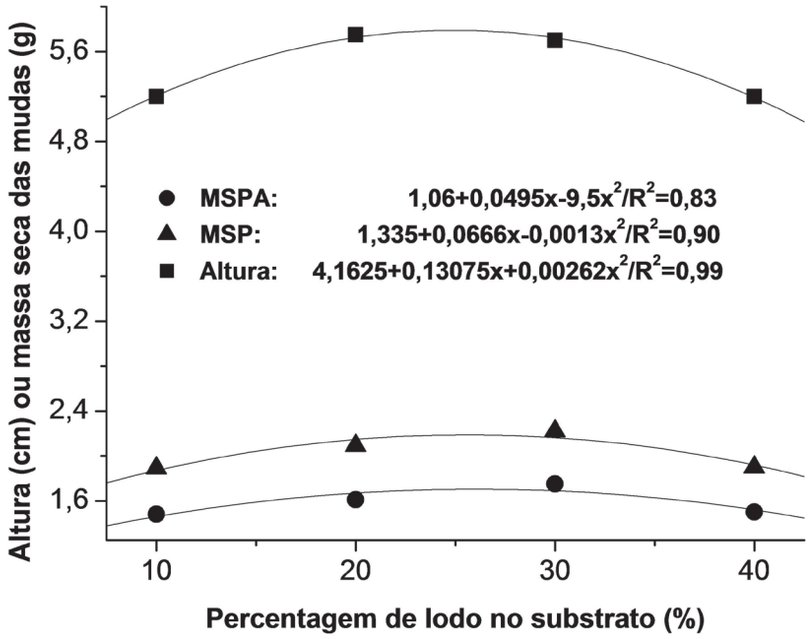


FIGURA 1 - Valores de altura, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da planta (MSP) de mudas desenvolvidas em substratos, com diferentes doses de lodo de curtume aos 120 dias de cultivo.

Apesar do melhor padrão de resposta das mudas tratadas com 20% e 30% de lodo no substrato, para ganho de massa e altura das mudas, apresentado na Figura 1, houve um gradativo aumento do índice de mortalidade das mudas com o aumento da concentração de lodo no substrato, fato esse que pode estar relacionado ao aumento das concentrações de sódio e cromo no substrato.

A utilização do lodo de curtume desidratado como fonte de adubação alternativa em substratos de mudas de café é potencialmente viável, visto que esse rejeito industrial apresenta relativa disponibilidade de nutrientes como enxofre, magnésio, cálcio, nitrogênio, fósforo, potássio, assim como de matéria orgânica. Porém, possivelmente, o elevado teor de sódio e a presença de cromo podem dificultar o aproveitamento adequado dos elementos benéficos. Portanto, estudos relacionados ao uso do lodo de curtume associados a outras substâncias complexantes de partículas positivas como o cromo e o sódio, podem promover uma melhor interação entre os elementos disponíveis nos substratos das mudas.

4 CONCLUSÕES

As mudas de café Conilon produzidas a partir de estacas em substrato com adubação convencional apresentaram melhor padrão de desenvolvimento;

O uso de lodo de curtume desidratado misturado ao solo vermelho distrófico para produção de mudas de café permitiu o desenvolvimento de mudas aceitáveis para o plantio.

5 AGRADECIMENTOS

Pela parceria, apoio físico e financeiro do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Itapina (IFES-Itapina), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) e à Empresa Capixaba Couros LTDA-ME.

6 REFERÊNCIAS

ARAUJO, F. B. et al. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 507-511, out. 2008.

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Chromium. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2006. part. 3, p. 683-701.

BRAUN, H. et al. Desenvolvimento inicial do café conillon (*Coffea canephora* pierre*)* em solos de diferentes texturas com mudas produzidas em diferentes substratos. **Idesia**, Arica, v. 27, n. 3, p. 35-40, 2009.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratados com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1083-1092, 2002.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aplicação de lodos de curtume em áreas agrícolas:** critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual Técnico, P.4.233).

COSTA, C. N. et al. Efeito de adição de lodo de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, p. 189-191, 2001.

FERRÃO, R. G. et al. Cultivares de café conilon. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 205-221.

FERREIRA, A. S. et al. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduo de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 755-763, 2003.

GIANELLO, C. et al. Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro-calçadista no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 242-245, 2011.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

MEDEIROS, J. F. et al. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 248-255, 2007.

MORAL, R.; PEDRENO, N.; GOMEZ, I. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 4, p. 815-822, 1995.

PANDA, S. K.; CHOUDHURY, S. Changes in nitrate reductase activity and oxidative stress response in the moss polytrichum commune subjected to chromium, copper and zinc phytotoxicity. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacases, v. 17, n. 2, p. 191-197, 2005.

SENA, J. O. A.; ZAIDAN, H. A.; CASTRO, P. R. C. Water osmotic absorption in Coleus blumei plants under salinity stress. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 49, n. 6, p. 861-865, 2006.

SOUSA, R. A. et al. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 2, n. 1, p. 75-82, 2007.

SOUZA, E. R. B. et al. Teores de metais tóxicos nas folhas de plantas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 127-132, 2005.

TATAGIBA, A. S. D.; PEZZOPANE, E. F. R.; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010.

TATAGIBA, A. S. D.; SANTOS, E. A.; PEZZOPANE, E. F. R. Mudas de *Coffea canephora* cultivadas sombreadas e a pleno sol. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 219-226, 2010.

TEIXEIRA, K. R. G. et al. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, nov./dez. 2006.

ANÁLISE COMPARATIVA DA INFRAESTRUTURA DE PROCESSAMENTO UTILIZANDO UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O CÁLCULO DE CUSTOS DA FASE DE PÓS-COLHEITA DO CAFÉ

Rafael Vargas Mesquita dos Santos[1], Henrique Duarte Vieira[2], Flávio Meira Borém[3], Eder Pedroza Isquierdo[4]

(Recebido: 18 de dezembro de 2013; aceito: 6 de abril de 2014)

RESUMO: O dimensionamento da infraestrutura necessária para o processamento do café é decisivo na rentabilidade da atividade cafeeira, e dependerá de diversos fatores. Assim, em decorrência da existência de tantas variáveis é comum o produtor subestimar ou superestimar aspectos de infraestrutura. Objetivou-se,neste trabalho, analisar os aspectos de infraestrutura relacionados à área de terreiro e à capacidade dos secadores das fazendas, na fase de pós-colheita do café. Quarenta e seis fazendas das regiões do Cerrado, Matas de Minas e Sul de Minas Gerais responderam a um questionário elaborado no sentido de possibilitar essa análise. Ao empregar o sistema de apoio à decisão para o cálculo do custo da pós-colheita do café, ficou constatado que essas fazendas superestimam a área de terreiro e estimam corretamente a capacidade dos secadores.

Termos para indexação: Área de terreiro, capacidade de secadores, teste t-pareado.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFRASTRUCTURE FOR PROCESSING USING A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE CALCULATION OF COST OF PHASE OF POST-HARVEST COFFEE

ABSTRACT: *The infrastructure sizing for processing the coffee is decisive in the profitability of coffee, and will depend on several factors. Thus, due to the existence of so many variables it is common to underestimate or overestimate producer aspects of infrastructure. The objective of this work related to the area of yard aspects of infrastructure and capacity of the dryers farms was analyzed in the post-harvest coffee. Forty-six farms in the regions of the Cerrado, Matas de Minas and southern Minas Gerais answered a questionnaire in order to enable this analysis. By employing the decision support system for calculating the cost of post-harvest coffee, these farms was found to overestimate the area of the yard and correctly estimate the capacity of the dryers.*

Index terms: *Yard area, capacity dryers, paired t-test.*

1 INTRODUÇÃO

Os fatores que afetam a renda dos empresários rurais dividem-se em dois grupos: os incontroláveis ou externos, que são aqueles sobre os quais o empresário rural não pode exercer seu controle, como, por exemplo, clima, instituições, mercados; e os controláveis ou internos, sobre os quais o empresário tem domínio, a exemplo do tamanho do negócio, da gestão e aplicação dos recursos produtivos e da intensidade de exploração, entre outros (Reis; RICHETTI; LIMA, 2005).

A infraestrutura representa um dos fatores mais importantes no contexto da cafeicultura moderna, pois nela são iniciados e encerrados os processos de secagem e benefício do café, possibilitando a obtenção de um produto final de alta qualidade. Por essa razão, as instalações devem ser bem planejadas, envolvendo uma complexidade de fatores. Uma instalação adequada compreende um conjunto de construções sincronizadas que atende à sistemática de produção para racionalizar o processamento do café, garantindo eficácia na realização do trabalho, além de possibilitar o melhor atendimento às potencialidades dos equipamentos, do processamento e às exigências do mercado (Borém, 2008; Silva et al., 2011; Teixeira; Gomes, 2002).

Para Lanna e Reis (2012) , a utilização da infraestrutura correta na pós-colheita do café tem impacto significativo na composição de custos, o que influencia diretamente o desempenho do empreendimento cafeeiro na região de Minas Gerais. Dessa forma, o empresário rural deve efetuar um gerenciamento que priorize o planejamento e a gestão de custos, buscando a otimização dos recursos produtivos aplicados na cafeicultura (Angélico et al., 2011; Lanna; Reis, 2012).

[1]Instituto Federal do Espírito Santo/IFES - Coordenadoria de Informática - Cx. P. 527 - 29300-970 - Cachoeiro de Itapemirim - ES ravarmes@gmail.com
[2]Universidade Estadual Norte Fluminense/UENF - Centro de Ciência e Tecnologias Agropecuárias/CCTA - Campos dos Goytacazes - RJ henrique@uenf.br
[3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras - MG flavioborem@deg.ufla.br
[4]Av. Talhamares, n° 328B - Casa 2 - Bairro Maracanazinho - 78.200-000 Cáceres - MT - eder.isquierdo@yahoo.com.br

Freire et al. (2011) afirmam que fazer uso racional dos recursos produtivos, explorando potencialmente a tecnologia disponível para obter melhores resultados econômicos, permite uma gestão mais eficiente do seu empreendimento na busca de competitividade e renda.

Todavia, muitos fatores devem ser levados em consideração para que o produtor tenha condições de dimensionar os diversos aspectos da infraestrutura.

No dimensionamento da área do terreiro, que segundo Reinato et al. (2012) tem influência significativa na qualidade do café, devem-se considerar a quantidade de dias de colheita, os tipos de cafés a serem secados no terreiro, seus volumes, suas espessuras no terreiro, as quantidades de dias de secagem, etc.

Para a capacidade dos secadores, além das informações dos tipos de café a serem secados no secador e seus respectivos volumes, também se deve conhecer o tempo de secagem efetiva e total para cada secador.

Portanto, além de decidir sobre variedades, adubação, controle de pragas e doenças, o produtor também deve decidir sobre o método de colheita e até o sistema de processamento do café. Cada uma dessas escolhas é decisiva na rentabilidade da atividade cafeeira. Como exemplo disso, é comum o produtor questionar a viabilidade de um ou outro método de processamento. A resposta evidentemente não é simples e a falta de uma ferramenta para auxiliar a decisão pode levar a erros evitáveis, que prejudicam tanto o bolso de quem produz quanto a qualidade do café de quem consome.

Diante da complexidade dessas estimativas, objetivou-se ,neste trabalho, avaliar a infraestrutura de beneficiamento de café de fazendas de Minas Gerais, por meio da comparação entre os dados de infraestrutura declarados pelos produtores e simulados pelo sistema de apoio à decisão "Pós-Café" (SANTOS et al., 2013).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Sistema Pós-Café

O "Pós-Café" é um aplicativo destinado à fase de pós-colheita do café envolvendo as etapas de descascamento, despolpamento, desmucilamento e secagem. O sistema é formado por um módulo de aquisição de dados, um módulo de cálculo de custo e um módulo de relatórios, criando uma plataforma robusta para auxiliar o produtor com as informações que ele necessita para decidir a melhor forma de processar o seu café, de acordo com os recursos disponíveis na fazenda (SANTOS et al., 2013).

2.2 Aplicação de questionários aos produtores de café

Foram avaliadas 46 fazendas neste trabalho, localizadas nas regiões: Cerrado (33), Matas de Minas (3) e Sul de Minas (10). Possuem altitude média de 938 metros, variando entre 715 metros e 1150 metros, e temperatura média de 24º C, variando entre 15º C e 29º C. Em relação à área utilizada na produção de café declarada pelas mesmas tem-se ,em média, 226,6 hectares.

As fazendas foram escolhidas devido aos diversos tipos de processamentos utilizados na fase de pós-colheita do café, possibilitando o estudo mais completo do dimensionamento da infraestrutura nessa fase de processamento.

As informações solicitadas pelo questionário incluem as variáveis de entrada necessárias para o cálculo dos custos de processamentos da fase de pós-colheita no sistema "Pós-Café", a saber: produção (sacas), tempo de colheita (dias), porcentagem de café cereja, verde e bóia no início da colheita, valor da tarifa elétrica (R$/kWh), valor do dia homem (R$), valor da saca do café padrão (R$), valor das sacas dos diferentes tipos de café (R$), tipo de terreiro, tanque de fermentação, espessura do café no terreiro (metros), tempo de secagem do café no terreiro (dias), tempo efetivo e total de secagem do café no secador (horas), tempo máximo de funcionamento das máquinas agrícolas (horas/dia), lavador, descascador, desmucilador, gastos com edificações, mão de obra para o processamento, tempo máximo de funcionamento do secador (horas/dia), tipo de secador, conjunto elevador, galpão do secador, sistema de aquecimento de ar e combustível utilizado para secar o café.

2.3 Simulações de programa computacional

Os dados de cada questionário respondido pelas 46 fazendas foram utilizados como entradas em simulações processadas no sistema de apoio à decisão para análise do custo da pós-colheita do café, denominado "Pós-Café".

Parte do estudo foi comparar os dados declarados e simulados, pelo "Pós-Café", em relação à área de terreiro e à capacidade dos secadores. Sendo realizada uma simulação de programa computacional para cada fazenda entrevistada.

2.4 Análise estatística

Amostras pareadas são consideradas em planejamentos nos quais são realizadas duas medidas na mesma unidade amostral, ou seja, dados pareados.

O teste apropriado para a diferença entre médias de amostras pareadas consiste em determinar, primeiro, a diferença entre cada par de valores e então testar se a média das diferenças é igual a zero.

Considerando que as medidas tenham distribuição normal, a diferença entre elas também terá distribuição normal, portanto as distribuições t são apropriadas para testar a hipótese nula de que a média das diferenças é igual a zero. Os graus de liberdade são o número de unidades amostrais menos 1.

Portanto, analisando-se os dados de infraestrutura simulados e declarados pelos produtores nos questionários, e diante de amostras com dimensões superiores a 30 observações, foi proposta, para a análise comparativa da infraestrutura, uma análise estatística considerando teste paramétrico, com comparações de médias, especificamente o teste T-pareado (ROESSLER et al., 1978; SOUZA et al., 2012). Para esse procedimento estatístico utilizou-se o programa Statistica, versão 8.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Respostas aos questionários aplicados nas 46 fazendas

As informações solicitadas pelo questionário tratam as variáveis de entrada necessárias para o cálculo dos custos de processamentos da fase de pós-colheita. A Tabela 1, em anexo, apresenta as respostas das 46 fazendas para algumas das variáveis de entrada. Esses valores foram utilizados na simulação da infraestrutura no "Pós-Café".

3.2 Simulações de infraestrutura para a fase de pós-colheita do café

A Tabela 1 apresenta os resultados das simulações, em relação à infraestrutura, realizadas no sistema "Pós-Café", para as 46 fazendas.

Os valores indicados em negrito destacam fazendas em que o valor declarado foi menor que o simulado para determinado aspecto analisado, caracterizando, portanto, um déficit de infraestrutura na fazenda.

3.3 Estatística de comparação da infraestrutura

Para a análise comparativa da infraestrutura foram estudados os dados declarados, informados pelos responsáveis das fazendas entrevistadas, em relação aos dados simulados no sistema "Pós-Café".

TABELA 1 - Detalhamento da infraestrutura declarada *versus* simulada, para as 46 fazendas entrevistadas.

ID	Área de terreiro declarada (metros)	Área de terreiro simulada (metros)	Capacidade dos secadores declarada (litros)	Capacidade dos secadores simulada (litros)
1	18000,00	15335,38	120000,00	109855,29
2	21000,00	8126,05	0,00	0,00
3	10000,00	1517,05	0,00	0,00
4	7000,00	2170,00	39000,00	35401,67
5	3800,00	954,83	0,00	0,00
6	5500,00	2522,00	0,00	0,00
7	6000,00	3360,94	64000,00	21672,00
8	17900,00	5096,95	51000,00	41288,63
9	7300,00	1191,96	30000,00	10309,00
10	3000,00	1043,00	0,00	0,00
11	4000,00	1257,00	0,00	0,00
12	9000,00	5599,28	0,00	0,00

Continua ...

TABELA 1 - Continuação

13	8800,00	2382,81	39000,00	33520,31
14	10300,00	6145,33	0,00	0,00
15	21000,00	6940,58	60000,00	117460,13
16	9500,00	2294,52	0,00	0,00
17	5000,00	1821,97	0,00	0,00
18	6000,00	16796,00	0,00	0,00
19	3000,00	724,47	0,00	0,00
20	10600,00	2380,40	45000,00	31810,91
21	10000,00	6088,33	88000,00	87900,31
22	11000,00	2061,25	30000,00	68708,33
23	12000,00	2315,52	0,00	0,00
24	10000,00	4039,38	0,00	0,00
25	6000,00	782,22	22000,00	18773,33
26	46600,00	3546,96	123000,00	129964,50
27	20000,00	3726,63	171000,00	156600,00
28	12000,00	2528,59	60000,00	13652,00
29	10000,00	3828,12	30000,00	34453,13
30	66000,00	18808,38	150000,00	103174,33
31	27000,00	1557,29	72000,00	65700,00
32	85000,00	24379,70	126000,00	44566,67
33	20000,00	6553,73	90000,00	89694,00
34	4500,00	3108,75	0,00	0,00
35	6600,00	4761,17	22500,00	3367,64
36	47000,00	4645,76	141000,00	192361,47
37	10500,00	4130,67	65500,00	75606,00
38	29500,00	4679,45	84000,00	52032,81
39	37300,00	8707,5	210000,00	252140,58
40	6500,00	1109,15	35000,00	16207,14
41	20000,00	6094,8	90000,00	199987,20
42	27700,00	7012,1	105000,00	102220,95
43	21400,00	4268,4	36000,00	50329,52
44	10500,00	692,22	67500,00	33245,23
45	8000,00	5487,71	69000,00	28389,00
46	3000,00	2316,11	57500,00	62381,54

A Tabela 2 apresenta dados em relação à subestimação e superestimação da infraestrutura por parte das fazendas estudadas.

Com base nos dados declarados comparados ao pós-colheita a maioria das fazendas (97,8%) superestima a área de terreiro. Para a capacidade dos secadores esse valor é bem menor, cerca de 45,7% superestima a capacidade. Ou seja, 97,8 das fazendas têm mais terreiro do que necessitam, isso implica em custos fixos e custos de manutenção desnecessários com terreiro, encarecendo o processo pós-colheita destas fazendas.

Ainda em relação à Tabela 2, uma fazenda tem mal dimensionamento do terreiro, não comportando toda a produção de frutos colhidos e dez fazendas não possuem disponibilidade da capacidade mínima de secadores mecânicos. Portanto, essas podem sofrer os malefícios promovidos pelo atraso no processo pós-colheita, como a fermentação que ocorre nos frutos de café, depreciando sua bebida e renda, causando prejuízo ao produtor e consumidor desse café. Para uma análise mais apurada foi utilizado o teste T-pareado. De acordo com Ribeiro e Melo (2009), trata-se de um caso de duas populações dependentes, portanto, a variável aleatória de interesse será a diferença entre os pares de duas amostras, no lugar dos valores delas próprias, que devem ter o mesmo tamanho. As hipóteses foram: H_0 ($\mu_{Diferenças}=0$) vs H_a ($\mu_{Diferenças}\neq 0$), em que 'Diferenças' representa a diferença entre as duas populações.

Onde:
AT_DEC = Área de terreiro declarada.
AT_SIM = Área de terreiro simulada.
AT_D = AT_DEC – AT_SIM = Diferença entre áreas declaradas e simuladas.
CS_DEC = Capacidade dos secadores declarada.
CS_SIM = Capacidade dos secadores simulada.
CS_D = CS_DEC – CS_SIM = Diferença entre a capacidade declarada e simulada.

O procedimento do teste T-pareado (Tabela 3) foi aplicado para comparação de médias. As diferenças entre as duas populações foram testadas para os dois aspectos da fase de pós-colheita: área de terreiro e a capacidade dos secadores.

Observa-se que a diferença média foi diferente de zero para a variável AT_D (P=0,000001 < α=0,05). Portanto, em média, os dados de AT_DEC são 11519,77 maiores que AT_SIM.

A diferença média foi igual à zero para a variável CS_D (P=0,587631 > α=0,05). Portanto, não existe diferença entre as médias das variáveis CS_DEC e CS_SIM.

Para explicação dos dados também foram utilizados os gráficos Box-plots. Esses gráficos possibilitam a representação de uma variável aleatória, uma vez que fornece uma ideia de posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes da distribuição. A caixa central (*box*) mostra os dados entre o primeiro e terceiro quartis (*hinge*). Linhas verticais (*whiskers*), iniciando no meio da base (e do topo) da caixa e terminando em valores extremos (denominados adjacentes inferior e superior) indicam, aproximadamente, a variabilidade dos dados (FERRAZ et al., 2012; MCGILL; TUKEY; LARSEN, 1978).

As Figuras 1 e 2 ilustram Box-plots para a área de terreiro e capacidade dos secadores.

A partir da análise dos gráficos de Box-plot representados, é possível observar que a área de terreiro apresentou valores discrepantes entre os dados declarados e simulados, já os dados de capacidade dos secadores se mostraram bem próximos graficamente para ambas as situações.

A superestimação da área do terreiro declarada em relação à simulada pelo "Pós-Café", confirmada pelo teste T-pareado, evidencia que os custos de pós-colheita das fazendas com essa superestimativa poderia ser menor. Uma vez que devido à superestimação da área de terreiro, o custo de depreciação do mesmo também está superestimado.

TABELA 2 - Resumo da comparação entre dados declarados versus simulados para a infraestrutura.

Variável	Fazendas com declarações subestimadas (unidade)	Fazendas com declarações superestimadas (unidade)	Fazendas com declarações subestimadas (%)	Fazendas com declarações superestimadas (%)
Área de terreiro	1	45	2,2	97,8
Capacidade dos Secadores	10	21	21,7	45,7

TABELA 3 - Teste T-pareado para comparação de médias.

Variáveis	Dados	Médias	Desvios	T	GL	Probabilidade
AT_D	46	11519,77	13717,26	5,695810	45	0,000001
CS_D	46	2396,226	29755,03	0,546193	45	0,587631

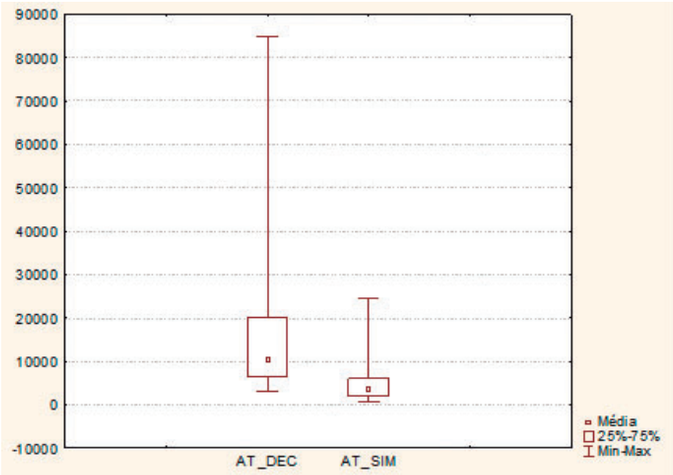


FIGURA 1 - Box-plots para dados de área de terreiro.

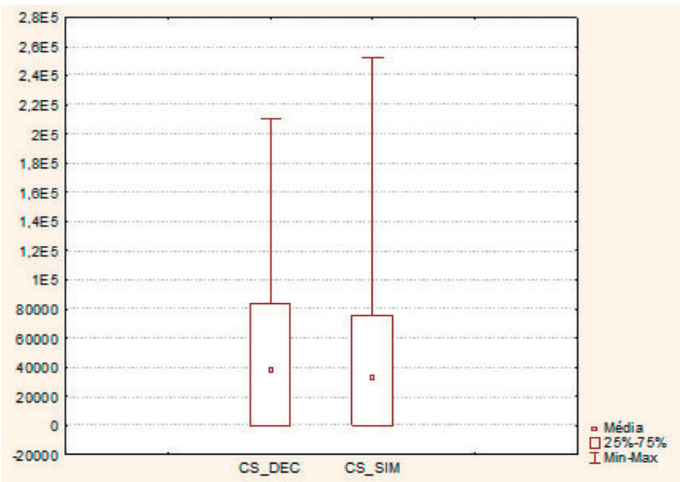


FIGURA 2 - Box-plots para dados de capacidade dos secadores.

4 CONCLUSÕES

Ao empregar o sistema de apoio à decisão para o cálculo do custo da pós-colheita do café em 46 fazendas, ficou constatado que, em média, pelo teste T-pareado, essas superestimam a área de terreiro e estimam corretamente a capacidade dos secadores.

Desta forma, o sistema de apoio à decisão "Pós-Café" apresentou-se como uma ferramenta importante e útil na estimativa de infraestrutura necessária à fase de pós-colheita do café, principalmente nos aspectos relacionados à área de terreiro e capacidade dos secadores.

5 REFERÊNCIAS

ANGÉLICO, C. L. et al. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 8-19, jan./abr. 2011.

BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

FERRAZ, G. A. S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, jan./abr. 2012.

FREIRE, A. H. et al. Eficiência econômica da cafeicultura no sul de minas gerais: uma aplicação da fronteira de produção. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 172-183, maio/ago. 2011.

LANNA, G. B. M.; REIS, R. P. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 110-121, maio/ago. 2012.

MCGILL, R.; TUKEY, J. W.; LARSEN, W. A. Variations of box plots. **The American Statistician**, New York, v. 32, n. 1, p. 12-16, 1978.

REINATO, C. H. R. et al. Qualidade do café secado em terreiros com diferentes pavimentações e espessuras de camada. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 223-237, set./dez. 2012.

REIS, R. P.; RICHETTI, A.; LIMA, A. L. R. Eficiência econômica na cultura do café: um estudo no sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 50-59, jan./jun. 2005.

RIBEIRO, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa, MG: Folha, 2009. 45 p.

ROESSLER, E. B. et al. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired-difference, duo-trio and triangle tests. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 43, n. 3, p. 940-943, 1978.

SANTOS, R. V. M. et al. Pós-café: a decision support system to aid the calculation of the cost of the post-harvest processing of coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 25-35, Nov. 2013.

SILVA, J. S. et al. **Infraestrutura mínima para produção de café com qualidade:** a opção para a cafeicultura familiar. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011. 55 p.

SOUZA, V. C. O. et al. Espacialização e dinâmica da cafeicultura mineira entre 1990 e 2008, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 122-134, maio/ago. 2012.

TEIXEIRA, V. H.; GOMES, F. C. **Instalações para o processamento do café**. Lavras: UFLA, 2002. 32 p.

ANEXO

TABELA 1 - Principais dados, dos questionários aplicados às 46 fazendas, utilizados nas simulações do "Pós-Café".

ID	N (%)	B (%)	VE (%)	VD (%)	CV (%)	CD (%)	CDM (%)	CDP (%)	SAC (un.)	CO (dias)	Kwh (R$)	PMO (R$/ Dia)	ESP (m)	TT (dias)	TS (horas)	LAV (un.)	DESC (un.)	DESM (un.)	SEC (un.)
1	15	55	10	0	0	0	20	0	19.000	80	0,29	30,00	0,06	8,00	17,00	1	1	1	2
2	100	0	0	0	0	0	0	0	10.000	85	0,29	50,00	0,10	6,00	-	0	0	0	0
3	16,7	55	3,33	0	0	25	0	0	6.000	120	0,29	42,00	0,03	6,25	-	2	2	0	4
4	20	45	0	0	35	0	0	0	4.000	60	0,29	50,00	0,04	5,00	27,00	1	1	0	2
5	100	0	0	0	0	0	0	0	1.700	100	0,29	50,00	0,08	10,00	-	0	0	0	0
6	100	0	0	0	0	0	0	0	2.100	60	0,29	30,00	0,05	12,00	-	1	0	0	0
7	12,5	51,7	12,5	3,33	0	0	20	0	6.000	90	0,29	50,00	0,06	7,00	36,00	1	1	1	4
8	44	45	0	0	0	0	11	0	9.000	90	0,29	25,00	0,05	5,33	24,00	1	1	1	2
9	10	40	20	0	0	0	30	0	4.000	120	0,29	45,00	0,05	5,75	25,00	1	1	1	2
10	100	0	0	0	0	0	0	0	900	45	0,15	45,00	0,08	9,75	-	1	0	0	0
11	100	0	0	0	0	0	0	0	1.500	60	0,15	40,00	0,10	8,50	-	0	0	0	0
12	100	0	0	0	0	0	0	0	4.500	70	0,15	45,00	0,08	7,50	-	0	0	0	0
13	10	60	0	0	30	0	0	0	5.000	80	0,26	40,00	0,07	7,33	17,50	1	0	0	4
14	100	0	0	0	0	0	0	0	6.000	75	0,29	60,00	0,08	9,50	-	1	0	0	0
15	20	63	2,5	0	0	0	14,5	0	13.500	60	0,28	40,00	0,05	7,63	38,00	1	1	1	8
16	100	0	0	0	0	0	0	0	2.300	70	0,15	50,00	0,06	9,50	-	1	0	0	0
17	100	0	0	0	0	0	0	0	800	26	0,29	50,00	0,07	8,00	-	1	0	0	0
18	100	0	0	0	0	0	0	0	8.000	50	0,18	45,00	0,06	8,00	-	0	0	0	0
19	100	0	0	0	0	0	0	0	1.300	80	0,29	35,00	0,17	9,25	-	0	0	0	0
20	100	0	0	0	0	0	0	0	8.000	105	0,18	45,00	0,06	4,25	20,00	1	0	0	4
21	100	0	0	0	0	0	0	0	6.500	45	0,15	50,00	0,04	8,75	25,00	0	0	0	1
22	100	0	0	0	0	0	0	0	8.500	90	0,29	46,00	0,06	1,50	24,00	0	0	0	5
23	100	0	0	0	0	0	0	0	3.500	95	0,27	30,00	0,04	6,00	-	1	0	0	1
24	100	0	0	0	0	0	0	0	4.700	80	0,29	30,00	0,10	9,00	-	1	0	0	0
25	100	0	0	0	0	0	0	0	4.000	90	0,17	40,00	0,13	5,50	12,00	0	0	0	1

26	14	55	14	0	0	0	17	0	18.000	120	0,29	40,00	0,06	4,00	66,50	2	1	2	9
27	0	65	5	0	0	0	30	0	16.000	100	0,15	40,00	0,06	5,50	40,00	2	2	1	8
28	15	45	2	3	0	0	35	0	6.000	90	0,29	50,00	0,05	4,40	12,00	1	1	1	3
29	100	0	0	0	0	0	0	0	6.000	80	0,29	40,00	0,07	6,00	24,00	0	0	0	2
30	20	32	12	0	0	0	36	0	38.000	110	0,16	30,00	0,02	4,50	17,00	3	5	3	10
31	27	17	6	0	0	0	50	0	6.000	72	0,17	45,00	0,06	9,17	12,50	2	2	2	4
32	45	35	5	0	0	0	15	0	35.000	90	0,19	45,00	0,05	9,40	7,67	3	1	1	9
33	15	45	5	0	0	0	35	0	11.000	60	0,29	45,00	0,10	8,25	19,50	1	1	2	6
34	100	0	0	0	0	0	0	0	1.800	100	0,29	50,00	0,07	8,50	-	1	0	0	0
35	5	17	8	10	0	0	60	0	3.000	120	0,29	30,00	0,04	16,20	12,00	1	3	1	3
36	0	35	15	15	0	0	0	35	12.200	45	0,29	40,00	0,06	8,50	36,00	3	5	-	12
37	10	32,5	12,5	7,5	0	0	37,5	0	4.000	50	0,29	49,00	0,03	3,20	63,00	2	3	1	8
38	23	43	4	0	0	26	0	0	16.500	140	0,29	51,50	0,07	6,00	36,00	1	2	1	5
39	0	50	20	0	0	0	30	0	27.500	110	0,29	26,00	0,06	5,70	55,19	1	3	1	10
40	4	40	6	10	0	0	40	0	1.804	75	0,29	40,00	0,06	7,75	25,00	1	1	1	2
41	25	35	5	5	0	30	0	0	12.000	100	0,25	30,00	0,05	4,80	51,00	1	2	0	6
42	23	30	8	3	0	0	36	0	20.000	100	0,19	42,00	0,06	5,00	33,00	2	3	1	6
43	0	50	10	10	0	30	0	0	10.000	100	0,29	42,00	0,05	5,00	33,00	2	2	0	4
44	7	38	3	3	0	0	49	0	5.312	100	0,29	75,00	0,04	2,50	40,00	1	2	1	5
45	15	30	12,5	12,5	0	0	30	0	8.000	120	0,29	30,00	0,03	5,80	25,00	1	2	1	6
46	3	37	10	10	0	0	40	0	5.000	90	0,29	30,00	0,10	7,90	52,38	1	2	1	5

Legenda referente às variáveis da Tabela 1: ID: número identificador da fazenda entrevistada; N: porcentagem de café natural produzido; B: porcentagem de café bóia produzido; VE: porcentagem de café verde produzido; VD: porcentagem de café verde descascado produzido; CV: porcentagem de café cereja e verde produzido; CD: porcentagem de café cereja descascado produzido; CDM: porcentagem de café cereja desmucilado produzido; SAC: quantidade de sacas de café produzidas; CO: quantidade de dias de duração da colheita; kWh: preço do quilowatt-hora; PMO: preço da mão de obra por dia de trabalho; MO: mão de obra utilizada no processamento do café (exceto terreireiros); ESP: espessura média do café no terreiro (considerando todos os tipos de café produzidos); TT: tempo total médio de secagem do café no terreiro (considerando todos os tipos de café produzidos); TS: tempo total médio de secagem do café no secador (considerando todos os tipos de café produzidos); LAV: quantidade de lavadores utilizados na fase de pós-colheita do café; DESC: quantidade de descascadores utilizados na fase de pós-colheita do café; DESM: quantidade de desmuciladores utilizados na fase de pós-colheita do café; SEC: quantidade de secadores utilizados na fase de pós-colheita do café.

CONILON COFFEE YIELD USING THE PROGRAMMED PRUNING CYCLE AND DIFFERENT CULTIVATION DENSITIES

Abraão Carlos Verdin Filho[1], Marcelo Antonio Tomaz[2], Romário Gava Ferrão[3], Maria Amélia Gava Ferrão[4], Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca[5], Wagner Nunes Rodrigues[6]

(Recebido: 23 de dezembro de 2013; aceito: 2 de abril de 2014)

ABSTRACT: Determining the correct population of plants and number of orthotropic stems to be kept per area, along with optimal pruning management, is very important for crops of *Coffea canephora*. The aim of this work was to improve conilon coffee cropping management, evaluating the influence of the programmed pruning cycle with different combinations of spacing and numbers of orthotropic stems per plant on crop yield. Two experiments were carried out: one with smaller spacing and lower numbers of stems per plant, and another with larger spacing and higher numbers of stems per plant. Both assays followed a triple factorial scheme 2 x 3 x 4 (2 spacing x 3 numbers of stems per plant x 4 harvests) in a random block statistical design, using four replications and 11 plants pen plot. The results show that a reduction in spacing associated with an increase in number of stems per plant has a positive effect on the conilon coffee yield.

Index terms: *Coffea canephora*, spacing, management, orthotropic stems.

PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO CONILON CONDUZIDO COM A PODA PROGRAMADA DE CICLO E DIFERENTES DENSIDADES DE CULTIVO

RESUMO: *A determinação da população de plantas e hastes por hectare, juntamente com o manejo de podas, é de suma importância para a implantação e condução de lavouras de Coffea canephora. Conduziu-se, este trabalho, com o objetivo de aprimorar as indicações de manejo ora existentes para a cultura do cafeeiro conilon, avaliando a influência da utilização da poda programada de ciclo com diferentes combinações de espaçamento e número de hastes por planta sobre a produtividade. Foram realizados dois ensaios: um com menores espaçamentos e números de hastes por planta, e outro com maiores espaçamentos e número de ramos por planta. Ambos seguindo um esquema fatorial triplo, em delineamento estatístico de blocos ao caso, com quatro repetições e parcelas experimentais formadas por onze plantas. Os resultados mostram que a redução do espaçamentoassociado ao aumento do número de hastes por planta tem efeito positivo sobre a produtividade do café conilon.*

Termos para indexação: *Coffea canephora, espaçamento, manejo, ramos ortotrópicos.*

1 INTRODUCTION

Determining the correct population of plants and number of orthotropic stems per area has, along with pruning management, great importance for crops of *Coffea canephora*. Initially, the creation of conilon coffee cropping was made by seminal propagation, which resulted in crops with high heterogeneity due to their high genetic variability (BRAGANÇA et al., 2001; FERRÃO et al., 2007b). This scenario made it difficult to establish a management system that could use optimal numbers of plants per hectare and stems per plant.

The high variability presented by *C. canephora*, associated with the different agro-climatic and topographic conditions where this species is cultivated, makes this species excellent for studies of growth and improvement (PEZZOPANE et al., 2010). This process can be complex, since optimal plant population and spacing may be influenced by many factors, such as the genotype, climate, soil fertility, mechanization, topography and the level of technology adopted by the producer (CARVALHO et al., 2006; FONSECA et al., 2007).

The prevailing cropping system for conilon coffee uses a total plantation density of 2,222 to 3,333 plants per hectare and a total of 10,000 to 16,000 orthotropic stems per hectare (FONSECA et al., 2007). The increase of the crop density is particularly desirable for small areas and crops not suitable for mechanization.

[1]Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural /INCAPER - Fazenda Experimental de Marilândia 29725-000 - Marilândia-ES -verdin@incaper.es.gov.br.
[2,6]Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias (UFES CCA/) - Departamento de Produção Vegetal Alto Universitário - Cx. P.16 - 29500-000 - Alegre-ES - tomaz@cca.ufes.br, wagnernunes@outlook.com
[3]Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural/INCAPER Rua Afonso Sarlo, 160 - Bento Ferreira 29052-010 - Vitória-ES romario@incaper.es.gov.br.
[4,5]Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA CAFÉ - Parque Estação Biológica, PqEB, s/n - 70770-901 Brasília-DF - maria.ferrao@embrapa.br, aymbire.fonseca@embrapa.br

Even with the global tendency for cultivation with density increased, there is still need for scientific data regarding the management of coffee with this technology, aiming to set adequate recommendations for dense crops, such as nutrition (BRAGANÇA et al., 2009) and irrigation (SCALCO et al., 2011).

Pruning management has great importance for renewal, reviving and yield stability in coffee plantations, with direct influence on physiological parameters of the plants. Plants of *C. canephora* show continued growth, developing vertical and horizontal stems, called orthotropic and plagiotropic respectively. After a certain age these stems senesce and their ability to produce fruit decreases, resulting in reduced vigor and excessive sprouting. Therefore, for commercial exploitation of this species, it is necessary for humans to interfere with plant growth through pruning management. This allows adequate levels of crop yield to be maintained by eliminating and gradually replacing orthotropic and plagiotropic stems that are losing their productive capacity (FERRÃO et al., 2007b; FONSECA et al., 2007).

The pruning technology for *C. canephora* has been studied and improved over the years through the efforts of the Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). The most recent technology for recommended pruning for this species is the Programmed Prunning Cycle or Poda Programada de Ciclo (VERDIN FILHO et al., 2008). This technology provides several advantages, especially in easy of understanding and implementation, while reducing manual labor and improving overall crop yield.

To improve the actual knowledge of conilon coffee cropping management, this study aimed to evaluate crop yield as influenced by the programmed pruning cycle with different combinations of spacing and numbers of orthotropic stems per plant, to identify the effects of different populations of orthotropic stems per area on fruit production.

2 MATERIALS AND METHODS

The study was conducted at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER), located at 19º24'S, 40º32'W, north of Espírito Santo State, southeastern Brazil. The altitude is 202 m with hilly topography and the soil is a dystrophic Oxisol (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997).

The climate is typically rainy from November to February; partially dry in March, April and October and dry from May to September (FEITOSA et al., 1979). The average annual temperature is 24.2 ºC, ranging from 13.9 ºC to 33.5 °C.

The cultivar of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner used was EMCAPA 8111. This cultivar has an average yield of 58 bags of 60 kg of green coffee per hectare (BRAGANÇA et al., 2001) and is it recommended for Espírito Santo State according to studies on agricultural zoning (PEZZOPANE et al., 2010).

The experiment was conducted without irrigation (only rainfed) and fertilization was performed following current technical recommendations for conilon coffee in Espírito Santo State (PREZOTTI et al., 2007), as well as following the recommended phytosanitary practices (FERRÃO et al., 2007a).

The experiment consisted of two separated assays, each following a 2 x 3 x 4 triple factorial design, studying the combinations of two spacings and three numbers of stems kept per plant over four years of harvest. The combinations used in the assays were established to allow a total population of stems per hectare compatible with the current recommendation (Table 1). For both assays, a randomized block statistical design used four replications and experimental plots composed of eleven plants arranged in lines.

The assays were managed using the programmed pruning cycle beginning in 2006. Plants were cleaned of new shoots and plagiotropic branches that had exceeded 70% of their production capacity were removed.

In this pruning management it is recommended to remove the damaged orthotropic stems, always choosing the less vigorous, less productive and more internally located stems in the canopy of the plant. In the following year, the remaining orthotropic stems are eliminated, restarting the production cycle with reinvigorated stems (VERDIN FILHO et al., 2008).

The crop yield evaluations began after two years of the introduction of the programmed pruning cycle technique and were conducted over four consecutive harvests from 2008 to 2012. To determine the crop yield of each plot, a hulling ratio of 4:1 was used (every 4 kg of harvested coffee generating 1 kg of green coffee), resulting in the estimated yield in commercial bags of 60 kg of green coffee per hectare (bags ha^{-1}).

TABLE 1 - Spacing, number of orthotropic stems per plant and total population of stems per hectare evaluated in each assay.

Assays	Spacing (m)	Number of orthotropic stems per plant	Number of orthotropic stems per hectare
Assay I	2.0 x 1.0	2	10,000
	2.0 x 1.0	3	15,000
	2.0 x 1.0	4	20,000
	2.5 x 1.0	2	8,000
	2.5 x 1.0	3	12,000
	2.5 x 1.0	4	16,000
Assay II	3.0 x 1.0	3	10,000
	3.0 x 1.0	5	16,667
	3.0 x 1.0	6	20,000
	3.0 x 1.5	3	6,667
	3.0 x 1.5	5	11,111
	3.0 x 1.5	6	13,333

The plots were harvested when approximately 80% of fruits were completely mature. Upon harvest, all of the fruits in the plot were weighed and identified.

The data were subjected to analysis of variance by the F test ($p \leq 0.05$) and the means were compared using the Tukey test at 5% of probability, according to the significance of the factors and their interactions. All statistical analyses were performed using the statistical software GENES (CRUZ, 2013).

3 RESULTS AND DISCUSSION

For both assays, the analysis of variance indicated the significance of the interactions between the pairs of factors, with triple interaction not occurring. The overall mean in Assay I was about 40% higher than in Assay II, indicating that the reduction in spacing between conilon coffee plants likely had a positive effect on the final yield. Paulo and Furlani Júnior (2010) obtained similar results studying growing populations of *Coffea Arabica* L. per hectare, and the authors observed significant increases in crop yield.

In general, the adverse weather conditions can limit fruit production in coffee plants, especially due to the occurrence of drought and unfavorable temperatures (DAMATTA; RAMALHO, 2006). As the experiment was conducted under rainfed conditions, this negative influence was observed in both assays for the harvest of 2009, a year marked by a long period of drought that coincided with the flowering period.

Assay I: Spacing of 2.0 x 1.0 m (5,000 plants ha-1) and 2.5 x 1.0 m (4,000 plants ha-1)

Table 2 shows the means of yields obtained using 2, 3 and 4 stems per plant. Note that using a greater number of stems per plant resulted in increased crop yield throughout all the year, with the exception of 2009, when all treatments showed reduced yield due to the influence of the drought and it was not possible to find statistical differences between the treatments. The use of only two stems per plant resulted in lower yields, which were statistically inferior in the 2008, 2010 and 2011 years harvests.

Reducing the distance between lines from 2.5 to 2.0 m did not affect the yield during the first three years. However, in the fourth harvest an increase of approximately 20 bags per hectare were observed, caused by increased cultivation density (Table 3).

Superior yield due to a reduction in spacing, both between lines and between plants, has already been observed in *C. arabica* (PAULO; FURLANI JÚNIOR; FAZUOLI, 2005). It is possible that a similar phenomenon takes place in conilon coffee, although with a difference in magnitude. The interaction between spacing and number of stems per plant is presented in Table 4. The crop yield throughout the year was higher in treatments that combined smaller spacing with higher numbers of stems per plant. With 2.0 x 1.0 m spacing, the crop yield increased with the increase in the number stems per plant, whereas with 2.5 x 1.0 m spacing, the highest yields were obtained with > 3 stems per plant. The 2.0 x 1.0 spacing was more productive than 2.5 x 1.0 with the use of two and four stems per plant and did not differ when three stems were used.

TABLE 2 - Crop yield (in bags of 60 kg per hectare) of conilon coffee comparing the interaction between numbers of stems per plant and the harvest over time (obtained in Assay I) conducted with the programmed pruning cycle at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER).

Number of stems	Crop yield (bags ha^{-1})				
	2008	2009	2010	2011	Mean
2	42.55 Bc	10.02 Ca	46.40 Bc	74.76 Ab	43.43
3	53.94 Bb	11.60 Ca	63.63 Bb	94.59 Aa	55.94
4	69.12 Ba	13.15 Ca	77.20 Ba	98.29 Aa	64.44
Mean	55.20	11.59	62.41	89.22	54.61

Means followed by the same uppercase letter in the line and lowercase in the column do not differ by the Tukey test at 5% of probability.

TABLE 3 - Crop yield (in bags of 60 kg per hectare) of conilon coffee comparing the interaction between spacing and the harvest over time (obtained in Assay I) conducted with the programmed pruning cycle at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER).

Spacing (m)	Crop yield (bags ha^{-1})				
	2008	2009	2010	2011	Mean
2.0 x 1.0	58.54 Ba	8.80 Ca	65.77 Ba	99.07 Aa	58.05
2.5 x 1.0	51.87 Ba	14.38 Ca	59.05 Ba	79.36 Ab	51.17
Mean	55.20	11.59	62.41	89.22	54.61

Means followed by the same uppercase letter in the line and lowercase in the column do not differ by the Tukey test at 5% of probability.

TABLE 4 - Crop yield (in bags of 60 kg per hectare) of conilon coffee comparing the interaction between the number of stems per plant and spacing (obtained in the Assay I) conducted with the programmed pruning cycle at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER).

Spacing (m)	Crop yield (bags ha^{-1})			
	2 stems	3 stems	4 stems	Mean
2.0 x 1.0	47.51 Ca	58.38 Ba	68.25 Aa	58.05
2.5 x 1.0	39.36 Bb	53.50 Aa	60.64 Ab	51.17
Mean	43.43	55.94	64.44	54.61

Means followed by the same uppercase letter in the line and lowercase in the column do not differ by the Tukey test at 5% of probability.

Assay II: Spacing of 3.0 x 1.0 m (3,333 plants ha-1) and 3.0 x 1.5 m (2,222 plants ha-1)

In this assay, which studied wider spacing, the use of a greater number of stems per plant significantly increased the crop yield, except in 2009 (Table 5).

The interaction between spacing and the harvests showed that reducing the distance between plants from 1.5 to 1.0 m had a significant effect only in 2010 (Table 6).

Table 7 presents the interaction between spacing and number of stems per plant. Similar to what was observed in Assay I, the combination of smaller spacing and a higher number of stems per plant yielded a higher crop yield throughout the year. The yield using 3.0 x 1.0 m spacing increased when with a higher number of stems per plant; and for 3.0 x 1.5 m spacing, the highest yields were obtained when more than five stems were kept per plant. The 3.0 x 1.0 m spacing was superior to 3.0 x 1.5 m when six stems per plant were kept.

Overall, the highest yields are obtained from plantations presenting the highest populations of stems per hectare.

TABLE 5 - Crop yield (in bags of 60 kg per hectare) of conilon coffee comparing the interaction between the numbers of stems per plant and the harvest over time (obtained in Assay II) conducted with the programmed pruning cycle at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER).

Number of stems	Crop yield (bags ha^{-1})				
	2008	2009	2010	2011	Mean
3	28.80 ABb	19.38 Ba	33.89 Ab	33.48 Ab	28.89
5	38.99 Bb	14.42 Ca	56.82 Aa	51.95 Aa	40.55
6	50.28 Aa	12.88 Ba	56.50 Aa	58.83 Aa	44.62
Mean	39.36	15.56	49.07	48.08	38.02

Means followed by the same uppercase letter in the line and lowercase in the column do not differ by the Tukey test at 5% of probability.

TABLE 6 - Crop yield (in bags of 60 kg per hectare) of conilon coffee comparing the interaction between spacing and the harvest over time (obtained in Assay II) conducted with the programmed pruning cycle at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER).

Spacing (m)	Crop yield (bags ha^{-1})				
	2008	2009	2010	2011	Mean
3.0 x 1.0	40.86 Ba	12.80 Ca	56.34 Aa	48.60 ABa	39.65
3.0 x 1.5	37.85 Ba	18.32 Ca	41.80 ABb	47.57 Aa	36.39
Mean	39.36	15.56	49.07	48.08	38.02

Means followed by the same uppercase letter in the line and lowercase in the column do not differ by the Tukey test at 5% of probability.

TABLE 7 - Crop yield (in bags of 60 kg per hectare) of conilon coffee comparing the interaction between the number of stems per plant and spacing, obtained in Assay II, conducted with the programmed pruning cycle at the experimental farm of Marilândia (Fazenda Experimental de Marilândia – INCAPER).

Spacing (m)	Crop yield (bags ha^{-1})			
	3 stems	5 stems	6 stems	Mean
3.0 x 1.0	30.38 Ca	39.10 Ba	49.45 Aa	39.65
3.0 x 1.5	27.39 Ba	41.98 Aa	39.78 Ab	36.39
Mean	28.89	40.55	44.62	38.02

Means followed by the same uppercase letter in the line and lowercase in the column do not differ by the Tukey test at 5% of probability.

According to Pavan and Chaves (1994), denser cropping systems improve the productive capacity of the soil, providing aggregate stability and moisture retention.

In cropping with higher cultivation density, the main roots may become deeper in the soil, it is turning the plants more efficient in the use of available water and in the translocation and utilization of nutrients (AUGUSTO et al., 2007).

The increased cropping density of *C. canephora* allowed better use of the area.

The higher population per hectare provided increased crop yield, also as observed for many cultivars of *C. arabica* by Paulo and Furlani Júnior (2010) and Paulo, Furlani Júnior and Fazuoli (2005).

4 CONCLUSIONS

Under the limits evaluated, a reduction in spacing associated with an increase in the number of orthotropic stems per plant had a positive effect on the crop yield of conilon coffee.

5 REFERENCES

AUGUSTO, H. S. et al. Concentração foliar de nutrientes em cultivares de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 973-981, jul./ago. 2007.

BRAGANÇA, S. M. et al. 'Emcapa 8111', 'Emcapa 8121', 'Emcapa 8131': variedades clonais de café conilon lançadas para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 765-770, maio 2001.

BRAGANÇA, S. M. et al. Resposta do cafeeiro conilon à adubação de NPK em sistema de plantio adensado. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 67-75, 2009.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação de produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 838-843, set./out. 2006.

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

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

FEITOSA, L. R. et al. Estimativas das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Espírito Santo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 79-91, 1979.

FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007a. 702 p.

FERRÃO, M. A. G. et al. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007b. p. 65-92.

FONSECA, A. F. A. et al. Manejo da cultura do café conilon: espaçamento, densidade de plantio e podas. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 257-277.

PAULO, E. M.; FURLANI JÚNIOR, E. Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, p. 720-726, 2010.

PAULO, E. M.; FURLANI JÚNIOR, E.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. A produção de café em função da densidade de plantio, adubação e tratamento fitossanitário. **Turrialba**, San José, v. 44, n. 4, p. 227-231, 1994.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Zoneamento de risco climático para o café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5. ed. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.

SCALCO, M. S. et al. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em plantio superadensado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 193-202, 2011.

VERDIN FILHO, A. C. et al. **Poda programada de ciclo para o Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2008. (Documento, 163).

ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA OPERAÇÃO DE COLHEITA MECANIZADA DE CAFÉ EM DUAS SAFRAS

Felipe Santinato[1], Rouverson Pereira da Silva[2], Marcelo Tufaile Cassia[3], Roberto Santinato[4]

(Recebido: 11 de janeiro de 2014; aceito: 26 de março de 2014)

RESUMO: A colheita mecanizada de café é empregada em muitas lavouras a fim de aumentar a eficiência, diminuir o tempo gasto e reduzir os custos da operação. Para garantir que a colheita seja eficiente é necessária a adequação da vibração das hastes da máquina em função da variedade, produtividade, estádio de maturação dos frutos e das condições da lavoura. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a colheita mecanizada de café (*Coffea arabica* L.), analisando o comportamento dos dois lados da máquina sob duas frequências de vibração das hastes, em safras de alta e baixa produtividade da cultura. As avaliações foram realizadas no município de Patos de Minas, MG, em área com a cultivar Catucaí Vermelho dispostos em plantio circular, sendo amostradas 40 parcelas no esquema fatorial (2 x 2). Foi utilizada uma colhedora Jacto KTR, operando nas frequências de vibração de 750 e 950 rpm. Concluiu-se que, para o ano de baixa produção, o lado direito da máquina colheu 35% a mais que o lado esquerdo. A utilização da maior vibração não aumentou a eficiência de colheita e ocasionou desfolha superior em 14% em relação à operação com vibração de menor intensidade. Para o ano de safra alta, o lado esquerdo da máquina teve 48% a mais de café caído no chão que o lado direito, enquanto que para as frequências de vibração, a maior vibração apresentou maior eficiência de colheita sem elevar os danos.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L, perdas na colheita, vibração das hastes.

QUALITY OF OPERATION OF HARVESTING OF COFFEE AT TWO CROPS

ABSTRACT: *The mechanized harvest of coffee is a technology used in many coffee plantations in order to increase the efficiency, reduce the time spent and reduce the cost of operation. To ensure that the harvest has good results are necessary the adequate regulation of the rods vibration of the machine as a function of variety, productivity, stage of maturity of the fruits and the conditions under which farming of coffee. This study aimed to evaluate the mechanized harvest of coffee (Coffea arabica L.), analyzing the behavior of two sides of the machine under two frequencies of vibration of rods in high and low production crops. The evaluations were performed in Patos de Minas (Minas Gerais State, Brazil), in farm with coffee´s cultivars Red Catucaí arranged in circular planting, beig sampled 40 plots in a factorial (2 x 2). Were used a Jacto KTR harvester working with 750 and 950 rpm frequency. It follows that for the year with negative biannuality the right side of the machine harvested 35% more than the left side. The use of the greatest vibration didn´t increase the collection efficiency and led to a higher defoliation by 14% the vibrating operation with less intensity. For high crop year the left side of the machine let more than 48% coffee on the ground than the right side and the different frequencies of vibration, the higher promoted more efficiency in harvest efficiency without increase damage in the plants.*

Index terms: *Coffea arabica L, harvesting loses, rod vibration.*

1 INTRODUÇÃO

A região do Cerrado brasileiro apresenta o menor custo por saca de café produzida no País devido às maiores produtividades e por abranger áreas mecanizáveis, possibilitando a substituição da mão de obra manual pela mecanização nas operações da lavoura, dentre elas a colheita (FERNANDES et al., 2012b).

A mecanização na colheita do café vem sendo utilizada no Brasil desde a década de 70 como alternativa para o barateamento dos custos operacionais (MATIELLO et al., 2010).

Relatos apontam reduções de custo em torno de 60% (LANNA; REIS, 2012; OLIVEIRA et al., 2007a; SANTINATO et al., 2013a). Sua execução com o máximo de eficiência reduz os custos operacionais, pois minimiza a necessidade de repasse manual e, para tanto, deve-se proceder à correta regulagem da vibração das hastes e da velocidade de trabalho da máquina de acordo com a variedade da planta, porte, enfolhamento, produtividade, estádio de maturação dos frutos, clima, face de exposição e declividade.

Vários autores têm estudado a mecanização da colheita de café (CASSIA et al., 2013; SILVA et al., 2013), uma vez que a experiência da utilização das

[1]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Campus Rio Paranaíba - Rodovia MG 230 - Km 7 - Cx. P. 22 - 38.810.000 Rio Paranaíba - MG - fpsantinato@hotmail.com
[2,3]Univ. Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP - Campus de Jaboticabal - Departamento de Máquinas e Mecanização Agrícola - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane - s/n - 14884-900 Jaboticabal - SP - rouverson@gmail.com, marcelo_cassia@hotmail.com
[4]Santinato & Santinato Cafés Ltda - Rua Violeta 133 - apt.4 - Bairro Universitário – 38.810.000 - Rio Paranaíba - MG rsantinatocafeicultura@hotmail.com

colhedoras ao longo dos anos, bem como pesquisas e aperfeiçoamentos no projeto das máquinas têm melhorado cada vez mais a eficiência do processo.

O aumento da produtividade e a redução de custos é um dos principais objetivos de qualquer processo produtivo. Desde o princípio das cadeias produtivas é essencial a realização de ensaios com a finalidade de avaliar o produto final para atender aos padrões especificados e, consequentemente, garantir o êxito do processo.

O controle estatístico de processo (CEP) é uma técnica estatística para o controle da qualidade em operações agrícolas mecanizadas, empregadas em culturas distintas, e obtém resultados promissores, pois o controle das operações agrícolas permite a diminuição na variabilidade, obtendo-se resultados mais próximos aos limites especificados (MILAN; FERNANDES, 2002; TOLEDO; SILVA; FURLANI, 2013).

Desta forma, considerando que, na adoção da colheita mecanizada de café, há a exigência de se reduzir os índices de perdas e manter em níveis aceitáveis os danos às plantas, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a qualidade da operação de colheita mecanizada de café, verificando o comportamento nos dois lados da colhedora, sob duas frequências de vibrações das hastes, em safras de baixa e alta produção da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda São João Grande, no município de Patos de Minas, MG, nas proximidades das coordenadas geodésicas 18º33'18" latitude Sul e 46º20'01" longitude Oeste, na região do cerrado mineiro, com altitude média de 1.100 m, e clima Cwa de acordo com classificação de Köeppen (1948). A área experimental utilizada pertence a um plantio comercial de cafeeiros irrigados sob pivô central, sendo constituída por um talhão em plantio circular, para possibilitar a irrigação localizada apenas sobre a copa das plantas. A área utilizada possui aproximadamente 45 ha e declividade média de 4%. A lavoura foi plantada em dezembro de 2004, com a cultivar Catucaí Vermelho 785-15, no espaçamento de 4,00 m entrelinhas e 0,50 m entre plantas, correspondendo à densidade populacional de 5.000 plantas ha^{-1}.

As avaliações foram efetuadas durante as safras 2009/2010 e 2010/2011, sendo que a colheita mecanizada dos cafeeiros foi desempenhada por uma colhedora da marca Jacto, modelo KTR, fabricada em 2003 com, aproximadamente, 4.000 horas de uso no início do trabalho. A mesma opera a cavaleiro nas linhas e possui hastes vibratórias atuando em torno de cada planta, desprendendo os frutos, sendo esses coletados por um conjunto de lâminas retráteis fechando o espaço sob a saia do cafeeiro.

A colhedora foi tracionada por um trator da marca Massey Ferguson, modelo MF 265, 4 x 2 TDA, com potência nominal de 47,8 kW (65 cv) e velocidade média durante a execução do estudo de 1,74 km h^{-1}, com a marcha L1 a 2.000 rpm no motor, operando sempre no mesmo sentido de deslocamento pelas linhas de plantio. Durante a operação de colheita foi mantida a velocidade média de trabalho, e variaram-se os ciclos de vibração das hastes de 750 rpm (12,49 Hz) e 950 rpm (15,83 Hz), propostas em função da vibração utilizada pela fazenda no momento da colheita (F1), e a segunda (F2) escolhida mediante resultados de pesquisa obtidos por Oliveira et al. (2007b).

Além deste fator, para todas as variáveis estudadas, foram separados os lados de operação da colhedora avaliada, sendo obtidos dados desde a produção da cultura, até os índices de perdas e danos causados às plantas por cada um dos lados da máquina (direito e esquerdo).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial (2 x 2), sendo os tratamentos constituídos pela combinação das duas frequências de vibração (F) utilizadas em fileiras alternadas e os dois lados da máquina em avaliação (M), com 10 repetições, totalizando 40 células amostrais.

Cada avaliação foi realizada sobre panos de derriça que recobriram o chão sob a área de cinco plantas. Cada pano, de cada lado da linha do café possuía 2,5 m por 2,0 m, totalizando 5,0 m^2. A área foi devidamente materializada com marcos indicativos, e georreferenciada por meio de GPS da marca Garmin, modelo GPSII (de precisão posicional absoluta inferior a 15 m (95%), sendo as coordenadas registradas no sistema UTM.

A determinação da produtividade da cultura foi estimada pela carga de café por planta, por meio da derriça manual de três plantas em cada célula amostral, sendo o volume de café produzido de cada lado das plantas quantificado individualmente (L $planta^{-1}$). O café derriçado em cada célula amostral foi convertido para o equivalente em café beneficiado (kg ha^{-1}), conforme descrito por Reis, Soares e Guimarães (2008).

Durante a operação de colheita, foram determinados índices relativos à qualidade da operação, sendo mensurados os volumes de café caído no chão durante a passagem da colhedora (café caído), de café remanescente na planta após a passagem da máquina, e de café colhido, obtido pela diferença da produção inicial das parcelas e os volumes perdidos. Todas essas determinações foram realizadas separadamente dos dois lados da linha do café, sempre com a colhedora se deslocando no mesmo sentido da trajetória.

Na determinação da perda do café caído, foram utilizados panos de derriça, descritos anteriormente, estendidos em cada célula amostral, embaixo da saia de cinco plantas consecutivas, sobre as quais a máquina operou. Os frutos caídos sobre o pano após a passagem da colhedora foram recolhidos, quantificados e separados em verde, cereja e passa, para conversão em equivalente em café beneficiado (kg ha^{-1}).

Para a determinação do café remanescente na planta, após a passagem da máquina, procedeu-se à derriça manual das mesmas cinco plantas, coletando-se o café caído, e separando-se os frutos não colhidos quanto à maturação e quantificando-os separadamente, para a conversão em equivalente em café beneficiado (kg ha^{-1}).

O volume de café colhido foi determinado pela diferença entre a carga inicial presente nas plantas e as perdas de café caído no chão e remanescente na planta (Equação 1).

$$CC = C_{Ini} - C_{Caído} - C_{Rem} \quad (1)$$

Em que,
CC: Café colhido (kg café beneficiado ha^{-1}).
C_{Ini}: Carga inicial de café (kg ha^{-1}).
$C_{Caído}$: Volume de café caído (kg ha^{-1}).
C_{Rem}: Volume de café remanescente (kg ha^{-1}).

Para a avaliação dos danos provocados pela ação das hastes vibratórias da colhedora nas plantas de café foi determinado o índice de desfolha, calculado a partir da massa de folhas e galhos arrancados, durante a operação de colheita. A massa de folhas arrancadas foi determinada recolhendo-se e pesando-se todas as folhas, galhos e fragmentos de material vegetal encontrados sobre os panos após a passagem da colhedora, calculando-se posteriormente a média por planta.

As análise sestatísticas foram realizada sutilizando-se o programa Minitab® 16, sendo realizada a análise de variância (ANOVA), fator único pelo teste F de Snedecor, com 5% de significância, para verificar a existência de diferenças significativas entre as médias das variáveis analisadas. Quando procedente, aplicou-se o teste de Tukey, também a 5% de significância, para a comparação das médias.

Para avaliar-se a qualidade do processo foram utilizadas cartas de controle pela média (TOLEDO; SILVA; FURLANI, 2013). Os limites de controle, inferior (LIC) e superior (LSC), resultaram da análise estatística e foram determinados de acordo com a variabilidade do processo. Os limites de controle permitem inferir se há variação dos resultados devido a causas não controladas no processo (causas especiais, ou seja causas não aleatórias, proporcionadas por fatores externos ao processo), e são calculados com base no desvio padrão das variáveis, como demonstrado nas equações 2 e 3.

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (2)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (3)$$

Em que,
LSC = Limite superior de controle.
$\bar{x}$ = Média geral da variável.
σ = Desvio padrão.
LIC = Limite inferior de controle (quando o valor calculado do LIC foi negativo, considerou-se o mesmo como nulo, LIC = 0).

Quando uma observação apresenta falha em um dos testes para causas especiais, o ponto é destacado na carta de controle, com o número do respectivo erro. Um ponto falho indica que há variação não aleatória nos resultados, decorrente da ação de causas especiais e que, portanto, deve ser investigada. Quando nenhum ponto é destacado na carta de controle, não há observação falha no processo, ou seja, não existem causas especiais de variação e, consequentemente, o processo está sob controle estatístico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância com os testes de médias para as variáveis da 1ª safra em estudo (Tabela 1) demonstrou que a produtividade na área não se diferenciou entre os fatores analisados (em torno de 2.150 kg ha^{-1} de café beneficiado). Esse fato mostra que a ação da máquina ocorreu em condições iguais de carga de café nas plantas, em ambos os lados da mesma e para as duas frequências de vibração, o que elimina qualquer interferência das condições da cultura nos resultados de colheita da máquina.

A quantidade de café colhido pela máquina apresentou diferença entre os dois lados da mesma, sendo que pelo lado direito da colhedora foi colhido cerca de 35% a mais de café que pelo lado esquerdo o que reflete uma deficiência na capacidade de recolhimento do lado esquerdo. Além disso, essa diferença não foi influenciada pela mudança na frequência de vibração das hastes, fator esse que não alterou a capacidade de colheita da máquina para a 1ª safra (1.600 kg ha^{-1} de café beneficiado, em média). A eficiência de colheita dessa operação foi de 74,6%, valor considerado adequado para a colheita do tipo "plena", onde objetiva-se colher maior quantidade de frutos utilizando uma única passada (SILVA et al., 2013).

Para as perdas de café caído e remanescente, observou-se que apenas o aumento na frequência de vibração das hastes reduziu a perda de café remanescente em torno de 40%, que elevou a capacidade da mesma em retirar os frutos aderidos à planta, corroborando com resultados obtidos por Oliveira et al. (2007b).

Isso ocorreu pois os frutos no estádio de maturação verde demandam maior energia da colhedora (vibração) para que se soltem (SILVA, et al., 2010). Somadas, as perdas representaram em média, cerca de 600 kg ha^{-1} de café beneficiado, sendo a distribuição entre as mesmas de 45% para café caído e 55% para café remanescente.

Nos valores de desfolha promovidos às plantas, assim como no caso da derriça dos frutos, o incremento na frequência de vibração das hastes elevou os danos causados às plantas, pois são diretamente ligados a essa variável (OLIVEIRA et al., 2007b; SILVA, et al., 2010).

Esse resultado mostrou, para esta safra, não ser viável o aumento da vibração na operação de colheita, uma vez que não se elevou a eficiência de colheita e aumentaram os danos causados às plantas.

A máquina derriçou o café da planta, porém não o recolheu, de forma que os frutos caíram no solo ficando sujeitos a fermentações e depreciações de qualidade.

TABELA 1- Síntese da análise de variância e teste de médias para produção de café beneficiado, café colhido, perda de café caído e remanescente, e desfolha por planta, na 1ª safra avaliada (2009/10).

Parâmetros	Produção	Colhido	Caído	Reman.	Desfolha (g planta^{-1})
	(kg de café beneficiado ha^{-1})				
Máquina (M)					
Lado Esquerdo	1.941,3	1.362,3 b	250,8	328,2	181,7
Lado Direito	2.361,0	1.843,9 a	263,9	253,2	193,0
Freq. Vibração (F)					
750 rpm	2.296,6	1.669,4	257,9	369,3 b	174,7 a
950 rpm	2.005,2	1.536,3	256,8	212,1 a	200,0 b
Probabilidade P<0,05					
M	2,559^{ns}	4,123 *	0,093^{ns}	2,748^{ns}	0,825^{ns}
F	2,609^{ns}	1,495^{ns}	0,059^{ns}	10,852 *	4,156 *
M x F	0,088^{ns}	0,122^{ns}	0,300^{ns}	0,022^{ns}	0,075^{ns}
CV(%)	28,31	41,34	34,18	37,87	29,61

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo; * Significativo a 5% probabilidade, pelo teste de F.

Em relação à 2ª safra avaliada pode-se observar na Tabela 2 que a maior produtividade de café alcançada foi decorrente do ano de safra alta (3.900 kg ha^{-1} de café beneficiado), sendo que, assim como na 1ª safra, essa produtividade não variou nas áreas de estudo em cada um dos fatores analisados, novamente não influenciando no desempenho apresentado pela colhedora avaliada.

A diferença entre os lados da colhedora na quantidade de café colhido verificada na 1ª safra avaliada foi eliminada para a safra em questão, provavelmente por apresentar, em média, 44,8% a mais de café pendente em relação à safra anterior.

A quantidade de café colhido foi maior quando se utilizou a maior frequência de vibração das hastes, de forma que maiores cargas pendentes exigem maiores vibrações, corroborando com Oliveira et al. (2007b). A eficiência de colheita para a menor vibração foi de 70,7% contra 80,0% atribuída à colheita com a maior vibração.

Para os índices de perda de café caído e remanescente, apenas o café caído diferiu entre os dois lados da colhedora, sendo nesse caso um novo problema com a capacidade de recolhimento da mesma, que fez com que o café derriçado pela máquina fosse perdido em torno de 33% a mais no lado esquerdo da máquina. A perda de café remanescente foi mais acentuada que na primeira safra avaliada devido à maior produção de frutos por planta, perda essa que foi reduzida em torno de 28% através do incremento na frequência de vibração das hastes.

A desfolha causada pela ação da colhedora sobre as plantas de café não foi influenciada por nenhuma das variáveis em estudo, sendo mais acentuada que na 1ª safra devido à maior carga de café nas plantas, o que favorece a queda de ramos e folhas. Da mesma forma, Santinato et al. (2013b) observaram desfolha operacional 16% maior em uma lavoura de carga elevada em relação à carga intermediária, submetidas à mesma colhedora, regulada da mesma forma.

TABELA 2 - Síntese da análise de variância e teste de médias para produção de café beneficiado, café colhido, perda de café caído e remanescente, e desfolha por planta, na 2ª safra avaliada (2010/11).

Parâmetros	Produção	Colhido	Caído	Reman.	Desfolha (g planta^{-1})
	(kg de café beneficiado ha^{-1})				
Máquina (M)					
Lado Esquerdo	4.190,3	3.156,7	313,3 b	720,3	255,6
Lado Direito	3.428,7	2.599,8	210,8 a	618,1	249,8
Freq. Vibração (F)					
750 rpm	3.549,0	2.510,9 b	285,8	779,3 a	241,8
950 rpm	4.043,0	3.245,6 a	238,3	559,1 b	263,6
Probabilidade P<0,05					
M	3,661^{ns}	1,532^{ns}	7,930*	0,362^{ns}	0,088^{ns}
F	0,866^{ns}	3,280*	0,750^{ns}	3,947*	2,342^{ns}
M x F	1,247^{ns}	0,761^{ns}	0,263^{ns}	0,194^{ns}	0,014^{ns}
CV(%)	26,61	34,59	35,62	37,70	29,61

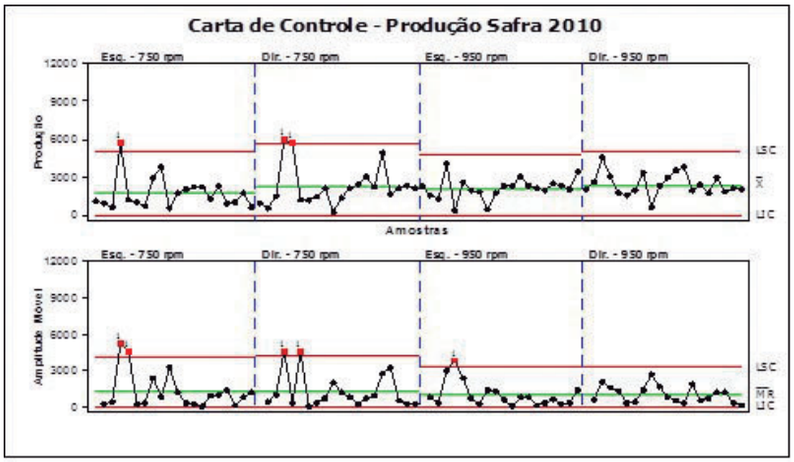
Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Não significativo; * Significativo a 5% probabilidade, pelo teste de F.

Nas cartas de controle para a produção correspondente de café beneficiado nas duas safras em estudo (Figura 1), observa-se instabilidade da produção entre os pontos avaliados, apresentando grande variabilidade em torno da média, com pontos de pico de produção que extrapolaram os limites estabelecidos. Na 1ª safra, observa-se que a média e a variabilidade foram reduzidas, em decorrência de um ano de baixa produção da cultura, mostrando que a produção nos pontos avaliados variou de maneira mais próxima da média, resultando em maior uniformidade da cultura.

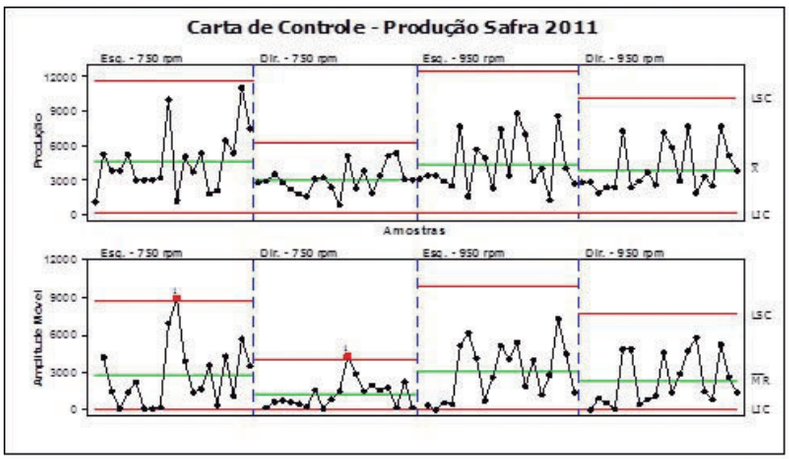
Comparada à safra anterior, nota-se que houve maior média de produção na 2ª safra avaliada, porém com variabilidade mais elevada entre os pontos amostrais, o que pode ser observado pela maior amplitude entre os limites. Esse fato permite constatar que, em ano de carga alta da cultura, há maior variabilidade da produção, existindo plantas ou locais da área produtiva que apresentam produções extremamente elevadas, enquanto que outros locais apresentam produção semelhante aos anos de baixa. Fato esse também encontrado por Carvalho et al. (2004) e Silva, et al. (2010).

Para a 2ª safra, a principal causa da instabilidade na produção foi observada na carta de amplitude móvel, ou seja, a grande variabilidade existente entre um ponto amostral, e seu anterior ou sucessor. Comparando-se a carga de café disponível para operação da máquina, nas duas safras (Figura 1), observa-se que, em todos os casos, houve grande variabilidade entre os pontos, o que pode refletir em aumento na variabilidade das variáveis subsequentes.

1ª SAFRA (2009/2010)



2ª SAFRA (2010/2011)



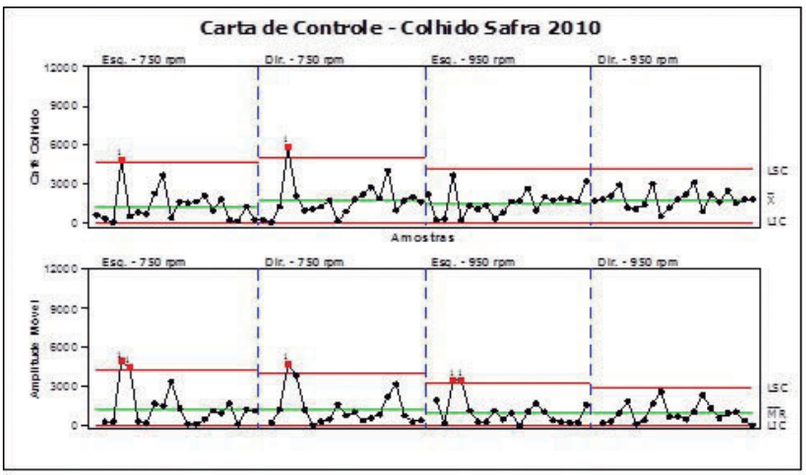
LCS: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; X: média; MR: Amplitude média

FIGURA 1 - Carta de controle para produção de café beneficiado (kg ha^{-1}).

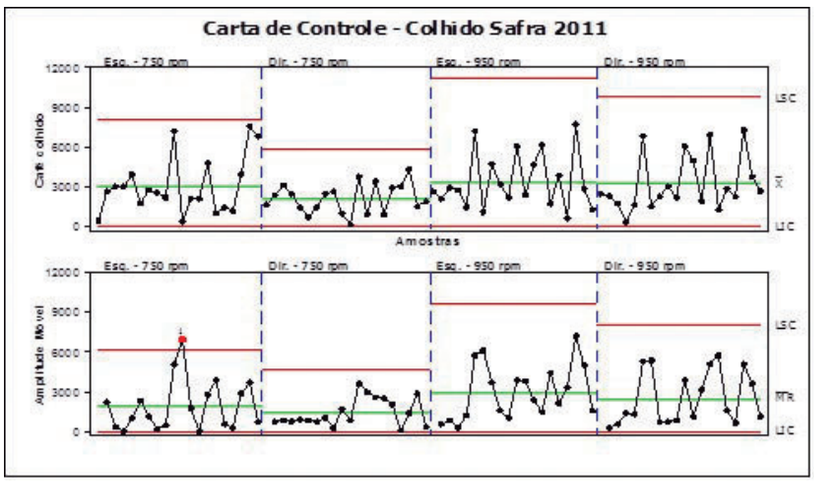
As cartas de controle para o café colhido nas duas safras em estudo (Figura 2) apresentam comportamento semelhante às cartas de produção, ou seja, apesar das variações entre os fatores e dos índices de perdas na colheita, o desempenho da colhedora varia acompanhando a variabilidade da cultura. Os fatores avaliados na 1ª safra pouco mudaram a média de café colhido pela máquina, havendo apenas um ponto de pico de colheita na vibração de 750 rpm, que excedeu o LSC, mas isso pode ser considerado como um "*outlier*" e atribuir estabilidade para a operação de colheita nessa safra.

Na 1ª safra avaliada, apenas um ponto extrapolou os limites de controle na carta de amplitude móvel devido à grande variabilidade presente na cultura, o que acarretou uma grande variação entre dois pontos amostrais, acusando uma falha na estabilidade do processo. Porém, pode-se observar que, apesar da menor incidência de pontos falhos no processo, a colheita realizada na 2ª safra apresentou maior variabilidade ao ser comparada à safra anterior, o que pode ser também atribuído ao comportamento observado na produção da cultura na safra em questão.

1ª SAFRA (2009/2010)



2ª SAFRA (2010/2011)



LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; X: média; MR: Amplitude média

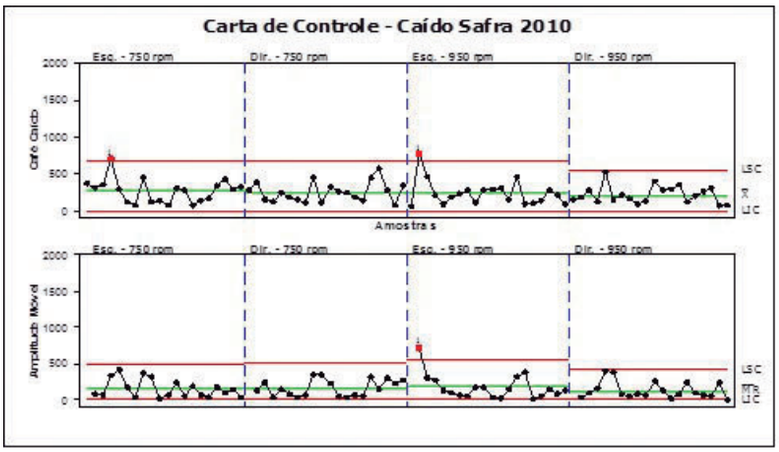
FIGURA 2 - Carta de controle para café colhido (kg ha^{-1}).

Quanto aos fatores analisados, observa-se que, na 2ª safra, o incremento na frequência de vibração das hastes elevou a capacidade média de colheita da máquina, e eliminou a incidência de pontos fora dos limites de controle. Porém, tal aumento na vibração, elevou ainda mais a variabilidade do processo, aumentando os limites de controle.

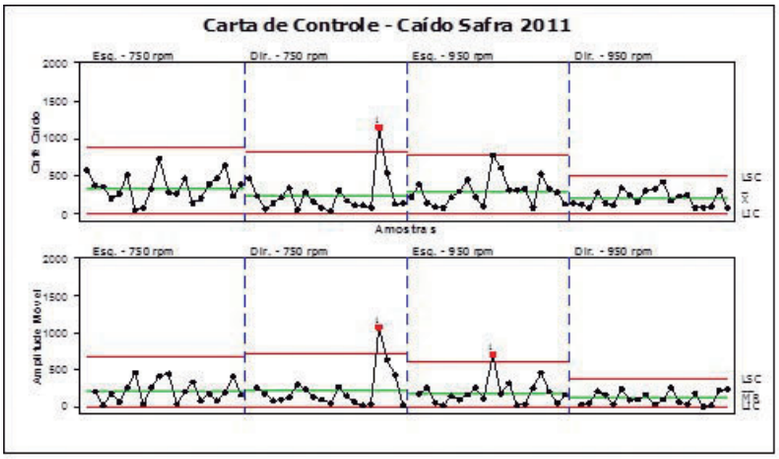
Nas cartas de controle para as perdas de café caído (Figura 3), observa-se reduzida variabilidade se comparada com as variáveis anteriores. Isso ocorre pela menor quantidade de café avaliado, 11,9 e 6,9% da carga total, respectivamente para a 1ª e 2ª safras. Para a 1ª safra, os valores variaram pouco em torno da média, e observou-se a incidência de apenas um ponto falho do lado esquerdo da colhedora, fato que se repetiu com o incremento na frequência de vibração das hastes da mesma, o que pode justificar a necessidade de inspeção e/ou manutenção da mesma. A carta de controle reforça o observado pela análise estatística convencional, onde o aumento na vibração não elevou a quantidade de café caído (OLIVEIRA et al., 2007b).

Para a 2ª safra, novamente a variabilidade entre as amostras se elevou, porém o comportamento quanto à estabilidade do processo se manteve, com a incidência novamente de apenas dois pontos falhos no processo como um todo, o que não variou com os fatores analisados.

1ª SAFRA (2009/2010)



2ª SAFRA (2010/2011)



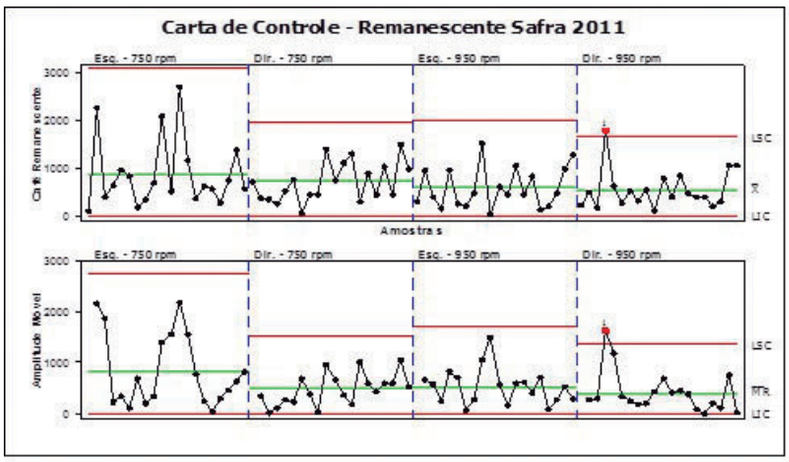
LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; X: média; MR: amplitude média

FIGURA 3 - Carta de controle para perda de café caído (kg ha^{-1}).

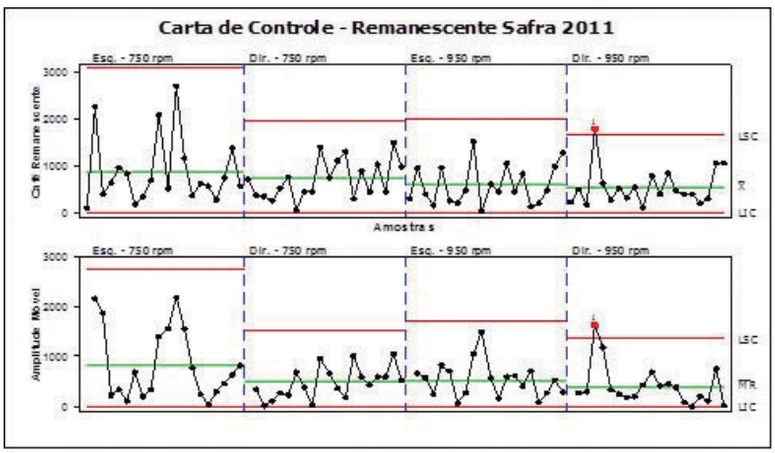
Nas cartas de controle para a perda de café remanescente nas plantas (Figura 4), pode-se observar grande diferença no comportamento entre as duas safras. Para a 1ª safra, com a passagem da máquina as perdas de café remanescente na planta foram baixas, apresentando melhor estabilidade para a menor frequência de vibração. Na 2ª safra, assim como a produção, as perdas apresentaram maior variabilidade, contudo se mantendo estáveis.

A maior variabilidade para essa variável está relacionada à elevada variabilidade da produtividade das plantas. Na safra de carga alta é comum observar plantas com elevadabb produtividade ao lado de plantas com baixa produtividade. Esse fato ocorre em maior proporção à medida que a planta vai ficando mais velha, notadamente após podas de recuperação (FERNANDES et al., 2012a).

1ª SAFRA (2009/2010)



2ª SAFRA (2010/2011)



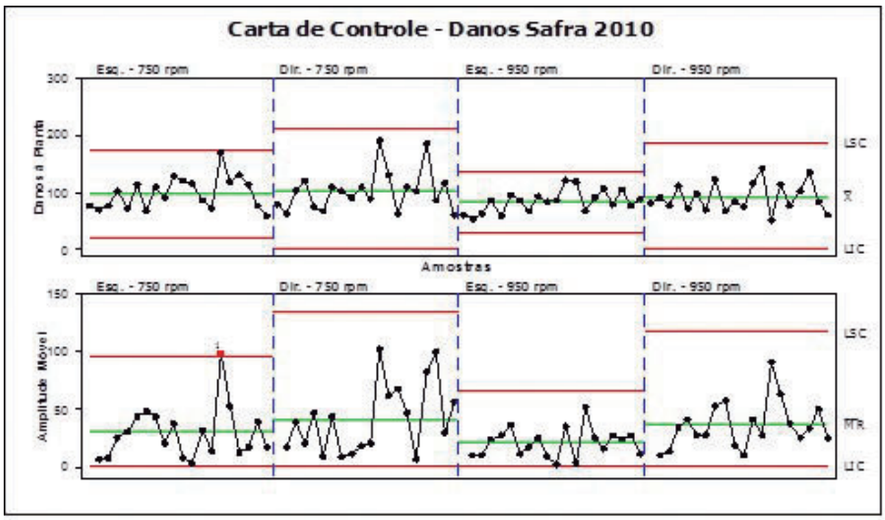
LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; X: média; MR: amplitude média

FIGURA 4 - Carta de controle para perda de café remanescente (kg ha^{-1}).

Na Figura 5, estão apresentadas as cartas de controle para os danos causados à cultura pela passagem da colhedora. Observou-se uma grande variabilidade das amostras paras as duas safras avaliadas, porém com valores considerados reduzidos, e se mostrando estável com a ocorrência de apenas um "*outlier*" na 2ª safra.

Essa variabilidade pode ser atribuída pelo fato da mensuração pesar folhas e ramos que se desprendem das plantas após a passagem da colhedora. Quando uma maior quantidade de ramos cai, a diferença no valor é maior, elevando a variabilidade entre os pontos.

1ª SAFRA (2009/2010)



2ª SAFRA (2010/2011)

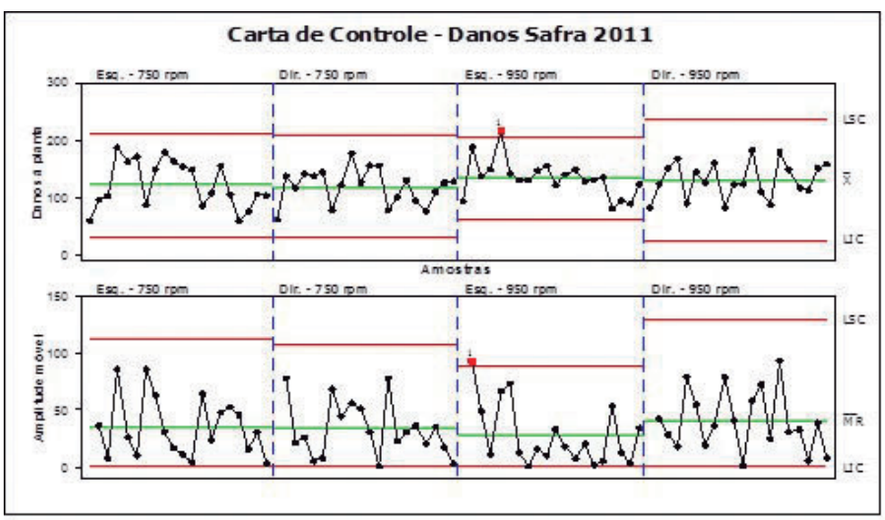


FIGURA 5- Carta de controle para os danos à cultura (g planta^{-1}).

4 CONCLUSÕES

1. A qualidade da operação de colheita mecanizada de café mostrou-se satisfatória sob a óptica do controle estatístico de processo.

2. Houve diferença entre os lados da colhedora, sendo que no lado direito, a quantidade de café colhido foi superior para o ano de bienalidade negativa (1ª safra), enquanto que no ano de alta produção (2ª safra) houve menor quantidade de café caído.

3. Para a safra baixa a vibração de 750 rpm teve a mesma eficiência que a maior vibração, no entanto ocasionou menores danos à planta, sendo a mais indicada.

4. Para a safra alta, a vibração de 950 rpm mostrou-se mais eficiente e não elevou os danos à planta.

5 REFERÊNCIAS

CARVALHO, L. G. et al. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.

CASSIA, M. T. et al. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 28-34, 2013.

FERNANDES, A. L. T. et al. Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no Cerrado de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 110-19, 2012a.

FERNANDES, A. L. T. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012b.

KÖEPPEN, W. **Climatologia:** con um estúdio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

LANNA, G. B. M.; REIS, P. R. Influência da mecanização da colheita na viabilidade econonômico-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 110-121, 2012.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil:** novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA; Varginha: PROCAFÉ, 2010. 542 p.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.

OLIVEIRA, E. et al. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 827-831, jun. 2007a.

OLIVEIRA, E. et al. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 714-721, 2007b.

REIS, T. H. P.; SOARES, T. L.; GUIMARÃES, G. P. T. Informações úteis no planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 112-127, 2008.

SANTINATO, F. et al. Comparação entre o custo da colheita manual e mecanizada de uma a seis passadas da colhedora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 39., 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: MAPA/PROCAFÉ, 2013a. p. 195-198.

SANTINATO, F. et al. Efeitos fisiológicos na cultura do café decorrentes da utilização de uma a seis passadas da colhedora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 39., 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: MAPA/PROCAFÉ, 2013b. p. 204-207.

SILVA, C. F. et al. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-474, mar./abr. 2010.

SILVA, F. C. et al. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 53-60, 2013.

SILVA, F. M. et al. Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijací, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun. 2010.

TOLEDO, A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A. Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 6, p. 384-389, 2013.

PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOS FRUTOS DO CAFEEIRO

Márcia Matiko Kondo[1], Renan Gaspar Magalhães Moraes[2], Sandro José de Andrade[3], Milady Renata Apolinário da Silva[4]

(Recebido: 27 de janeiro de 2014; aceito: 25 de abril de 2014)

RESUMO: O Brasil é o maior produtor de café do mundo. A cultura do café exerce grande influência na economia da região Sudeste do País. Após a realização da colheita dos grãos, o produto passa por alguns processos, visando a melhoria da qualidade da bebida. Dentre esses processos, encontra-se a lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro, que é geradora de grande quantidade de águas residuárias com alto teor de matéria orgânica. Diante desse cenário,objetivou-se,neste trabalho, avaliar a eficiência dos processos Fenton e foto-Fenton na redução da demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT) e cor. No ano de 2010, amostras de águas residuárias foram coletadas após o despolpamento de grãos provenientes da cultura convencional e da cultura orgânica. A caracterização preliminar dos efluentes mostrou alto teor de matéria orgânica e pH ácido. O processo Fenton mostrou-se eficiente para a remoção da matéria orgânica, proporcionando redução de DQO de 92%, DBO de 95% e de COT de 69%. Com o emprego do sistema foto-Fenton , a redução obtida foi de DQO de 98%, DBO de 100% e de COT de 94%. A redução da coloração das amostras também foi observada empregando ambos os processos.

Termos para indexação: Processos oxidativos avançados, efluente agroindustrial, matéria orgânica, café.

FENTON AND PHOTO-FENTON PROCESS TO THE WASTEWATER TREATMENT OF COFFEE FRUITS

ABSTRACT: *Brazil is the largest coffee producer in the world. After the coffee harvest, the coffee cherry goes through some processes with the objective to improve the quality of the coffee. Among these processes the coffee cherries washing and pulping processes generates large amount of wastewater which contains high amount of organic matter. The present study evaluated the efficiency of Fenton and photo-Fenton processes to reduce chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total organic carbon (TOC) and color from the coffee pulping wastewater. Wastewater samples from conventional and organic cultures, collected in 2010, were used in these studies. A preliminary characterization of the effluent showed high content of organic matter and acidic pH. The Fenton process showed to be efficient to the removal of organic matter, resulting in a reduction of 92% of COD, 95% of BOD and 69% of TOC. Use of the photo-Fenton system resulted in a reduction of 98% of COD, 100% of BOD and 94% of TOC. The reduction of the wastewater color was also observed in both processes.*

Index terms: *Advanced oxidation processes, agroindustrial wastewater, organic matter, coffee.*

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais *commodities* do planeta. O Brasil é o maior produtor mundial com produção de 49,2 milhões de sacas de 60 kg na safra de 2013, o que corresponde a mais de 1/3 da produção mundial (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2014).

Após a colheita, geralmente o café é processado de duas formas: processamento por via seca ou por via úmida. O processo por via seca é o mais utilizado pelos produtores brasileiros. O café colhido é seco com casca ao natural , em terreiros ou secadores mecânicos. No processamento por via úmida, geralmente utiliza-se água para facilitar o processo de despolpa (BORÉM, 2008).

O efluente gerado no processo por via úmida, conhecido como água residuária do café (ARC), apresenta baixo valor de pH e alto teor de resíduos orgânicos como frutose, glicose, proteínas, polifenóis, entre outros (HADDIS; DEVI, 2008; MATOS; LO MÔNACO, 2003). Devido à elevada quantidade desses resíduos, a ARC não pode ser descartada nos ambientes aquáticos sem um prévio tratamento para a remoção dos resíduos orgânicos (GONZALEZ-RIOS et al., 2007; SUAREZ-QUIROZ et al., 2005). Poucos trabalhos têm estudado os efeitos desse efluente ao meio ambiente (HADDIS; DEVI, 2008; KONDO et al., 2010; ZAYAS; GEISSLER; HERNANDEZ, 2007).

Tratamentos biológicos são os processos mais comumente estudados para remover a matéria orgânica da ARC. Fia, R. et al. (2010) estudaram a remoção de matéria orgânica, utilizando as plantas *Typha sp.* e *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. em sistemas alagados.

[1, 2, 3, 4] Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI - Instituto de Física e Química - Av. BPS, 1303 - Pinheirinho - 37500-903 Itajubá - MG - mmkondo@unifei.edu.br, julnan@uol.com.br, sandroandrade@unifei.edu.br, milady@unifei.edu.br

Num outro estudo, Fia, F. et al. (2010) utilizaram um reator anaeróbio de leito fixo com escória e alto-forno, espuma de poliuretano ou brita para a diminuição da carga orgânica. Fia et al. (2011) também efetuaram estudos com filtros anaeróbios de fluxo ascendente para o tratamento desse tipo de efluente. Campos, Prado e Pereira (2010) realizaram estudos de tratamento da ARC, utilizando reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB). Bruno e Oliveira (2008) avaliaram a eficiência do tratamento de ARC em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em dois estágios, em escala de bancada, submetidos a diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH).

Tratamentos químicos também estão sendo investigados. Devi, Singh e Kumar (2008) estudaram a eficiência de filtros de carvão ativado na remoção de matéria orgânica da ARC. Teixeira, Matos e Rossmann (2012) estudaram a eficiência do ácido fólico na redução da carga orgânica da ARC.

A implantação de tratamentos biológicos não é uma tarefa fácil e a sua manutenção, em épocas de entressafra, nem sempre justifica a construção de estações de tratamentos biológicos convencionais nas fazendas de plantio de café. Dessa forma, processos alternativos de tratamento são necessários para a redução da matéria orgânica presentes nesses efluentes.

Os processos oxidativos avançados (POAs) têm sido utilizados por vários pesquisadores como processos alternativos para o tratamento de poluentes recalcitrantes (CHEN; WU; CHUNG, 2009; NOGUEIRA et al., 2007). Kondo et al. (2010) fizeram um trabalho comparativo entre os processos Fenton, foto-Fenton e a utilização de reator anaeróbico de fluxo ascendente, seguido do processo foto-Fenton na remoção de matéria orgânica da ARC. Zaya, Geissler e Hernandez (2007) utilizaram a floculação/coagulação química seguida pelo tratamento com os processos oxidativos avançados (POAs) UV/H_2O_2, UV/O_3 e UV/H_2O_2/O_3.

Os POAs são processos em que os radicais hidroxilas são gerados ($HO^{\bullet}$, com potencial redox de 2,730 V), os quais podem destruir compostos orgânicos e inorgânicos tóxicos transformando-os em compostos não tóxicos como H_2O CO_2 e ácidos inorgânicos (KONDO; JARDIM, 1991; OLLER; MALATO; SÁNCHEZ-PÉREZ, 2011; SANTOS; KONDO, 2006).

Dentre os POAs, os processos Fenton e foto-Fenton são muito investigados pelos pesquisadores. A reação de Fenton utiliza uma mistura de solução de íons ferro (II) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que gera radicais hidroxila, conforme a Equação 1 (PIGNATELLO; OLIVEROS; MACKAY, 2006):

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO^{\cdot} + OH^{-} \qquad (1)$$

O processo foto-Fenton é similar ao processo Fenton, entretanto, o sistema necessita de radiação ultravioleta (SUN; PIGNATELLO, 1993). A energia solar pode ser a fonte de radiação UV, com considerável redução dos custos de operação (MALATO et al., 2002; MARTÍN et al., 2009; NOGUEIRA; SILVA; TROVÓ, 2005). Os íons Fe(III), gerados na Equação 1, podem ser fotorreduzidos para Fe(II). O Fe(II) regenerado pode reagir com H_2O_2 (Equação 1), e gerar radicais adicionais de hidroxila (Equação 2) (PIGNATELLO; OLIVEROS; MACKAY, 2006).

$$Fe(OH)^{2+} + h\gamma \rightarrow Fe^{2+} + HO^{\cdot} \qquad (2)$$

Objetivou-se, neste trabalho, estudar uma metodologia alternativa para a redução da matéria orgânica presente na água residuária do café, empregando para tanto os processos Fenton e foto-Fenton.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Reagentes

$Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ e H_2O_2 30% (m/m) foram obtidos da Synth. Soluções de H_2SO_4 (Isofar) e NaOH (Impex) foram preparadas para o ajuste do pH. KH_4PO_4 (Dinâmica), K_2HPO_4 (Nuclear), $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ (Nuclear), NH_4Cl (Isofar), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Ciro), $CaCl_2$ (Nuclear), $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (Vetec) foram utilizados para análise de DBO, conforme metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - APHA; WEF; AWA, 2005). Todas as soluções aquosas foram preparadas com água destilada.

Amostragem

Amostras de ARC foram coletadas na Fazenda Experimental de Machado (Minas Gerais/Brasil), no mês de junho de 2010.

As amostras provenientes de café cultivado de maneira convencional e orgânica foram coletadas logo após o processo de despolpamento. As mesmas foram armazenadas refrigeradas (-5ºC) em frascos de polietileno até a realização das análises. As análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters (APHA; WEF; AWA, 2005).

Caracterização

A determinação de sólidos totais, sólidos totais fixos, demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) foram realizadas conforme metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters. A Tabela 1 apresenta esses resultados e pode-se verificar que as amostras apresentam um alto teor de resíduo orgânico. Esses valores estão em conformidade com a literatura (FIA et al., 2012; FIA, R. et al., 2010; RIGUEIRA et al., 2010). Tais informações corroboram com a importância do tratamento desse efluente, antes de ser disposto em um corpo d'água receptor.

Como a quantidade de DQO na amostra convencional é superior à encontrada na amostra orgânica, para a análise de remoção de cor, foi necessário diluir a amostra convencional bruta em 1:10.

Sistema Fenton

As amostras (100 mL) foram transferidas para um frasco de reação e $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ foi adicionado em concentração predeterminada. O valor do pH foi ajustado para 3,0.

Peróxido de hidrogênio foi adicionado também com concentração predeterminada e a solução resultante foi mantida, sob agitação, por 2 horas. Em tempos predeterminados, uma alíquota de 10 mL foi transferida para um outro frasco, onde o pH foi ajustado para 8,0, para interromper a reação de Fenton, através da precipitação do hidróxido de ferro. Essa alíquota foi centrifugada e os parâmetros DQO, DBO, carbono orgânico total (COT – Analytik Jena, modelo Multi N/C 2100S) e cor (espectrofotômetro UV/vis - Agilent Cary 50) foram determinados. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas e os resultados apresentados são a média dos valores encontrados.

Para obtenção do valor da eficiência de remoção de DQO ao longo do processo, realizou-se o procedimento em triplicata para os tempos 15, 30, 60 e 90 min. Para a amostra bruta, ou seja, tempo 0 (zero) e após as 2 horas de reação, efetuaram-se as análises cinco vezes.

Sistema foto-Fenton

Para o tratamento da ARC com o processo foto-Fenton, utilizaram-se as concentrações otimizadas de Fe(II) e de H_2O_2, e o sistema foi mantido sob radiação solar, numa área externa ao laboratório. Todos os experimentos foram realizados entre 11:00 e 13:00 horas, período de maior intensidade solar. A irradiação de energia acumulada durante a exposição solar foi medida usando um radiômetro (Solar Light, PMA2100). A intensidade média de radiação medida foi de 1,51 mW cm^{-2}.

TABELA 1 - Resultados da caracterização de alguns parâmetros do efluente bruto do fruto do cafeeiro.

Parâmetros	Cultura orgânica			Cultura convencional		
	LI	LS	Média	LI	LS	Média
ST ($g\ L^{-1}$)	0,91	1,19	1,05	3,36	3,70	3,53
STF ($g\ L^{-1}$)	0,10	0,24	0,17	0,27	0,45	0,36
DQO ($mg\ O_2\ L^{-1}$)	374	546	460	1992	2978	2485
DBO ($mg\ O_2\ L^{-1}$)	343	509	426	1638	1811	1725
pH			2,90			2,60

ST – Sólidos totais; STF – Sólidos totais fixos; DQO – Demanda química de oxigênio; DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; LI – Limite inferior; LS – Limite superior

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Otimização da concentração dos reagentes utilizados nos processos Fenton

O procedimento adotado para se avaliar a proporção ótima de reagentes para o processo Fenton, baseou-se na quantidade de reagentes otimizadas por Kondo et al. (2010), que estudaram a água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro de cultivo convencional (ARC). Em seu trabalho, Kondo et al. (2010) avaliaram diferentes relações mássicas entre o sal de ferro e peróxido de hidrogênio encontrando melhores resultados para a proporção 1,1 (ou seja 1:0,9). Com essas informações, elaboraram-se experimentos visando obter a quantidade de reagente necessária para a maior eficiência na remoção de matéria orgânica do efluente. As quantidades de reagentes utilizadas, assim como as eficiências dessas variações estão ilustradas na Figura 1.

Pela análise da Figura 1, percebe-se que, quanto maior a quantidade de reagentes adicionados à reação, maior a eficiência do processo. Porém, a partir do ponto 4, o aumento de eficiência é menos acentuado. Diante disso, nesse ponto, cujas massas de $FeSO_4 \bullet 7H_2O$ e H_2O_2 foram 2,00 g e 1,80 g, respectivamente, para cada 100 mL de amostra foi o escolhido para o estudo.

Processo Fenton

Em relação aos valores de remoção de DQO, verificou-se que a eficiência obtida para as amostras de cultura convencional foi de aproximadamente 84% após 15 minutos de reação, chegando até quase 91%, ao final de duas horas (Figura 2A). Para o tratamento da ARC, proveniente de cultura orgânica pelo processo Fenton, observou-se uma eficiência de quase 68% com relação à remoção de DQO após apenas 15 minutos de reação, chegando a mais de 92% em duas horas de reação (Figura 2B). Pode-se concluir, nesse caso, que embora tenha se verificado uma pequena diferença de remoção de DQO aos 15 minutos, o processo Fenton foi bastante eficiente, igualando-se os valores de remoção de DQO, para ambas as amostras, ao final de 2 h de reação.

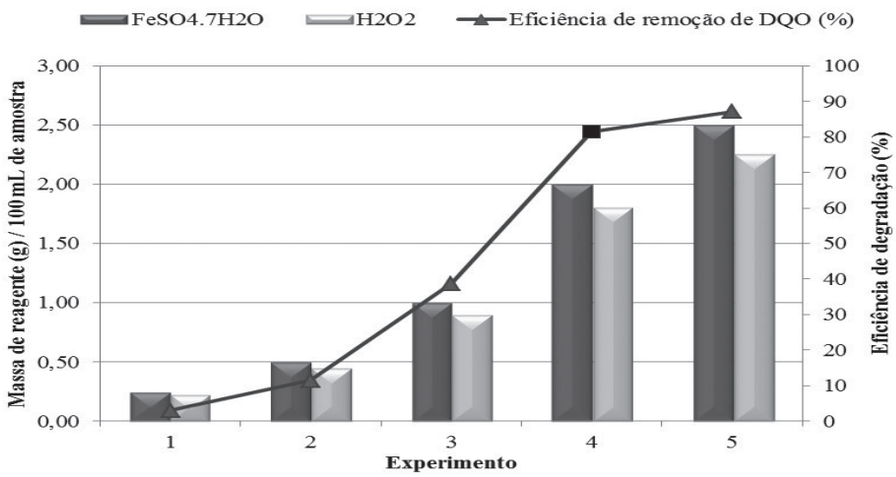


FIGURA 1 - Otimização das quantidades de reagentes para o processo Fenton ARC convencional.

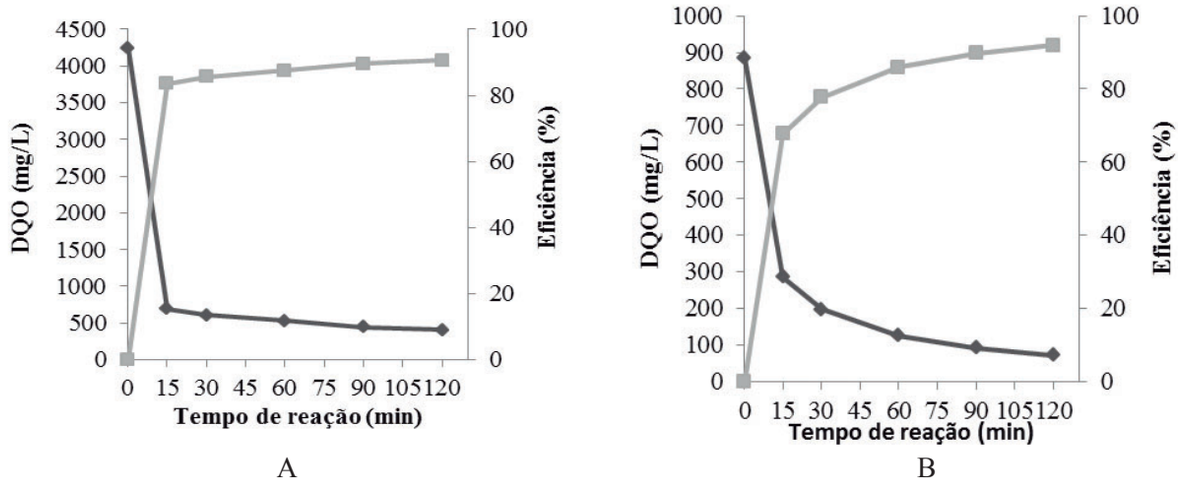


FIGURA 2 - Eficiência do processo Fenton para remoção de DQO da ARC de cultura convencional (A) e orgânica (B).

Os valores de carbono orgânico total (COT), bem como seu percentual de eficiência de remoção ao longo das 2 horas de reação, são mostrados na Figura 3. Observa-se, em relação à amostra convencional, eficiência para remoção de COT de, aproximadamente, 55% em 15 minutos de reação, chegando a 69% após 120 minutos de reação (Figura 3A). Para amostras provenientes da cultura orgânica, verificou-se eficiência para remoção de COT de, aproximadamente, 30% nos primeiros 15 minutos, chegando a mais de 68% após os 120 minutos de reação (Figura 3B). Conclui-se, nesse caso, que apesar da eficiência de remoção de COT ser significativamente superior nas amostras provenientes da cultura convencional, nos primeiros 15 minutos de reação, os resultados se igualaram após o término do experimento (120 minutos).

Quanto à cor, observou-se que o processo também foi eficaz para a sua remoção da ARC, já que a absorbância para a amostra tratada, após 2 horas de reação, é menor que a absorbância da amostra bruta em, praticamente, todo o espectro UV/Vis, mesmo quando essa é diluída na proporção 1:10 (Figura 4). Também não há diferença significativa no perfil do espectro, quando comparadas as amostras provenientes da cultura convencional (Figura 4A) e da cultura orgânica (Figura 4B).

Processo foto-Fenton

O processo foto-Fenton mostrou-se mais eficiente, quando comparado com o processo Fenton, em relação à remoção de DQO. Para amostras provenientes da cultura convencional, esse tipo de tratamento apresentou eficiência para remoção de DQO de quase 84% nos primeiros 15 minutos e de praticamente 98%, em duas horas de reação (Figura 5A). Para amostras provenientes da cultura orgânica, verificou-se eficiência de, aproximadamente, 89% para remoção de DQO nos primeiros 15 minutos, aumentando para mais de 98%, após as duas horas de reação (Figura 5B). Como discutido no processo Fenton, os resultados obtidos para amostras da cultura convencional e orgânica são semelhantes.

Quanto ao COT, observou-se, para amostras provenientes da cultura convencional, remoção de aproximadamente 54% nos primeiros 15 minutos de reação, chegando a quase 94%, após os 120 minutos de reação (Figura 6A). Para amostras da cultura orgânica, observou-se remoção de, aproximadamente, 27% nos primeiros 15 minutos, alcançando mais de 88%, após as duas horas de reação (Figura 6B). Diante desses dados, pode-se constatar que as amostras provenientes da cultura convencional, apresentaram maior redução de COT, quando comparadas com a cultura orgânica, tanto nos primeiros 15 minutos de reação, quanto no tempo integral do experimento.

Com relação à remoção de cor para o tratamento da ARC, utilizando-se o processo de foto-Fenton, observou-se que a amostra tratada possui menor absorbância mesmo quando comparada com a amostra bruta diluída na proporção 1:10, tanto para amostras provenientes da cultura convencional (Figura 7A), quanto para amostras da cultura orgânica (Figura 7B).

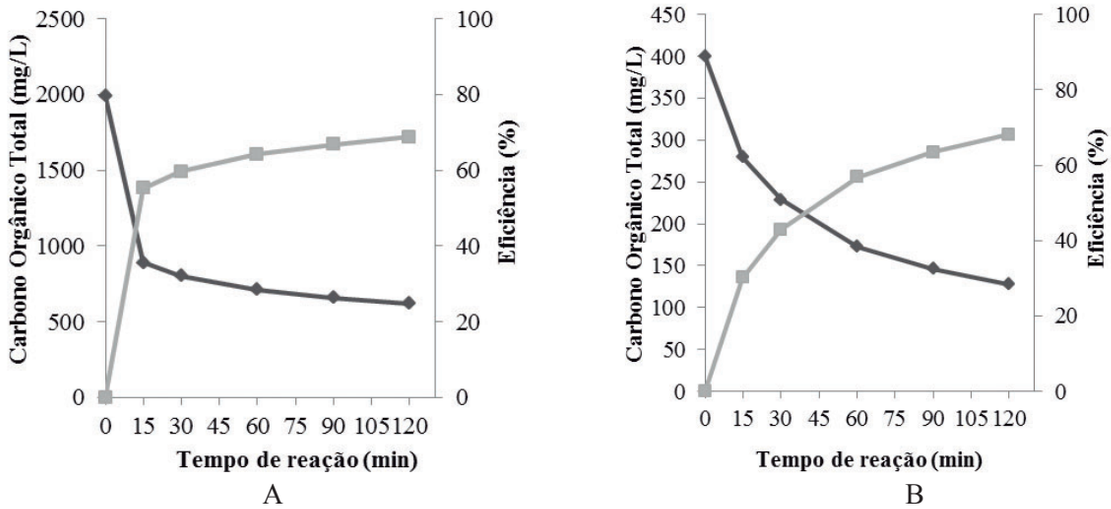


FIGURA 3 - Eficiência do processo Fenton para remoção do COT da ARC de cultura convencional (A) e de cultura orgânica (B). Tratamento de 100 mL de amostra contendo 2,00 g de$FeSO_4$•$7H_2O$ e 1,80 g de H_2O_2.

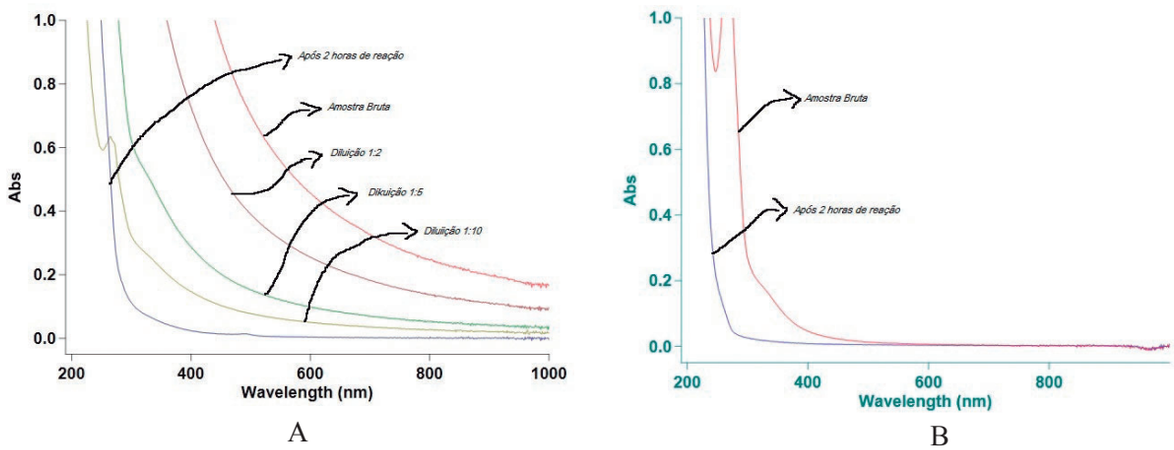


FIGURA 4 - Eficiência do processo Fenton, para remoção de cor da ARC de cultura convencional (A) e cultura orgânica (B).

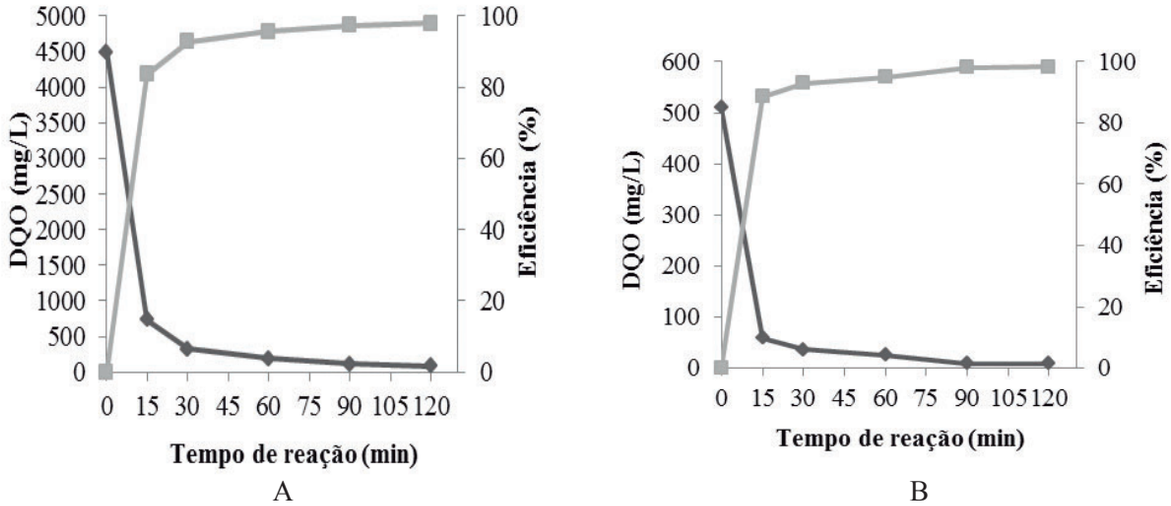


FIGURA 5 - Eficiência do processo foto-Fenton solar para remoção de DQO da ARC de cultura convencional (A) e de cultura orgânica (B). Tratamento de 100 mL de amostra ,contendo 2,00 g de$FeSO_4$•$7H_2O$ e 1,80 g de H_2O_2.

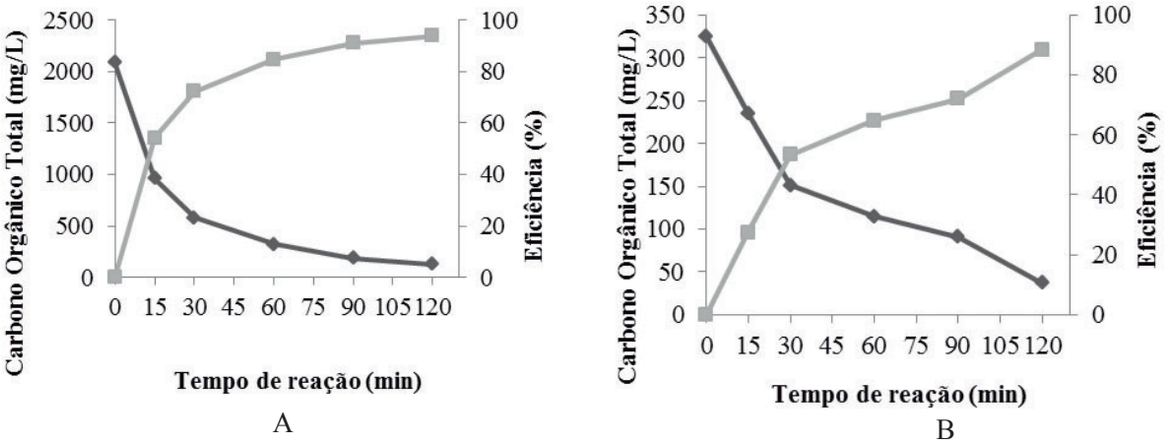


FIGURA 6 - Eficiência do processo foto-Fenton solar para remoção do COT da ARC de cultura convencional (A) e cultura orgânica (B). Tratamento de 100 mL de amostra, contendo 2,00 g de$FeSO_4$•$7H_2O$ e 1,80 g de H_2O_2.

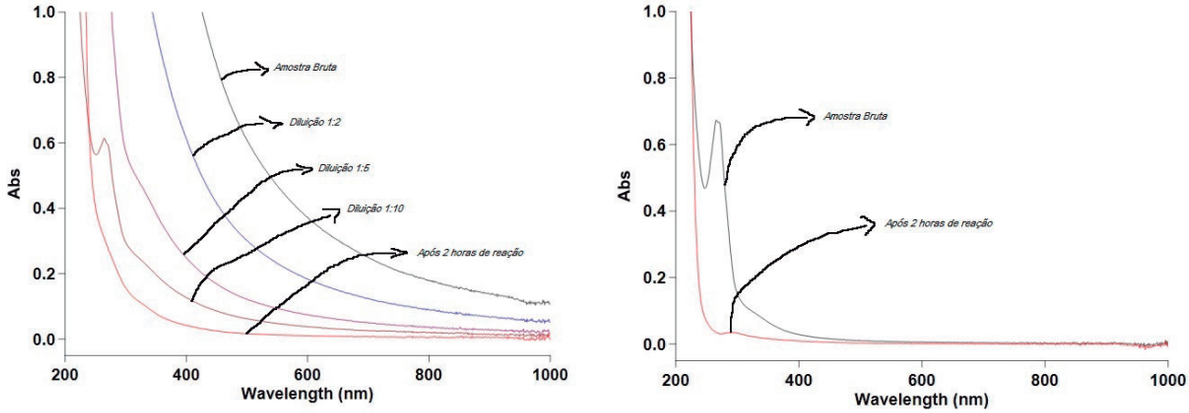


FIGURA 7 - Eficiência do processo foto-Fenton solar para remoção de cor da ARC de cultura convencional (A) e cultura orgânica (B).

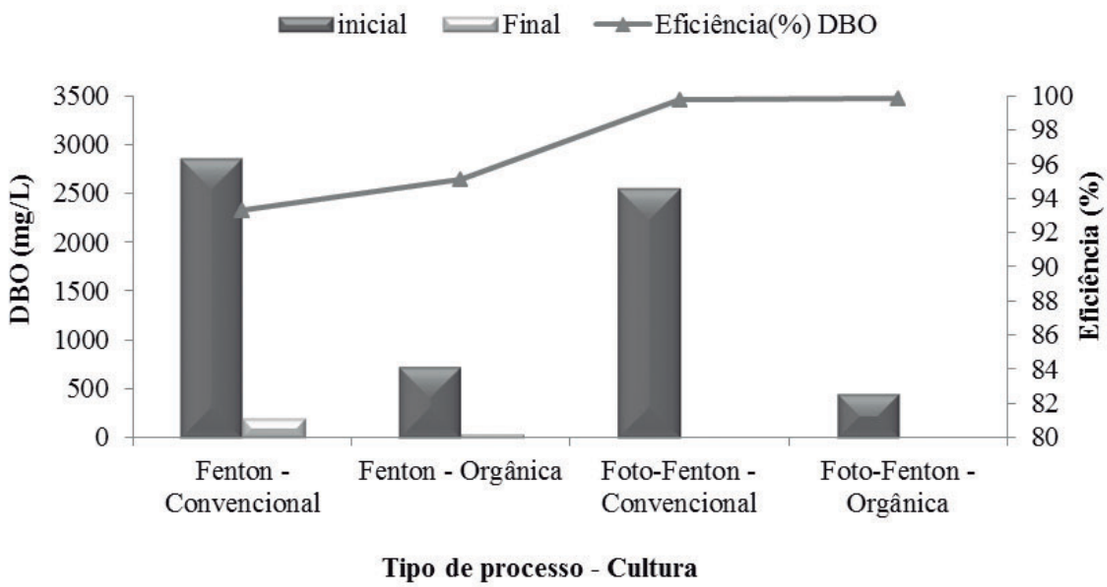


FIGURA 8 - Comparação das eficiências dos tratamentos para remoção de DBO das águas residuárias do café.

Redução de DBO pelos processos Fenton e foto-Fenton

As análises de DBO foram realizadas em triplicata e avaliadas no tempo 0 (amostra bruta) e após 2 horas de reação. Os valores e a eficiência da redução de DBO, para cada um dos tratamentos aplicados, são apresentados na Figura 8. Percebe-se grande eficiência dos processos Fenton e foto-Fenton na diminuição da DBO, para as ARC de cultura orgânica e convencional, sendo de, aproximadamente, 95% no processo Fenton e de praticamente 100% no processo foto-Fenton.

Poucos trabalhos são encontrados na literatura utilizando-se os processos Fenton e foto-Fenton para remoção de matéria orgânica de água residuária proveniente do processamento dos frutos do café (ARC). Kondo et al. (2010) fizeram um trabalho comparativo entre os processos Fenton, foto-Fenton e a utilização de reator anaeróbico de fluxo ascendente seguido do processo foto-Fenton, na remoção de matéria orgânica da ARC. Neste trabalho, a remoção de DBO foi acima de 60% para o processo foto-Fenton e de 95%, quando o processo UASB foi utilizado antes do processo foto-Fenton.

Zaya, Geissler e Hernandez (2007) utilizaram a floculação/coagulação química, seguida pelo tratamento com os processos oxidativos avançados (POAs) UV/H_2O_2, UV/O_3 e UV/H_2O_2/O_3. Quando utilizada apenas a floculação/coagulação, a remoção de DQO foi de 67%. Quando aplicado o POA UV/H_2O_2/O_3 a remoção de DQO passou para 87%.

Alguns autores estudaram processos alternativos para a degradação de matéria orgânica em ARC. Fia, R. et al. (2010) estudaram a remoção de matéria orgânica em ARC, utilizando as plantas *Typha sp.* e *Alternanthera philoxeroides* em sistemas alagados. Em tempos superiores a 100 horas encontraram remoção de DBO de 63% e de DQO de 85%. Num outro estudo, Fia, F. et al. (2010) utilizaram um reator anaeróbio de leito fixo (com escória e alto-forno, espuma de poliuretano ou brita) para a degradação da matéria orgânica proveniente da ARC. O filme sobre brita apresentou remoção de DQO de 80%, sendo esse o melhor desempenho entre os sistemas estudados. Fia et al. (2011) efetuaram estudos com filtros anaeróbios de fluxo ascendente para o tratamento de ARC. Naquele trabalho, foi observada grande instabilidade do sistema, tendo como impacto baixa remoção da carga orgânica. Campos, Prado e Pereira (2010) realizaram estudos de tratamento da ARC utilizando reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), obtendo eficiência de remoção de DQO de 82%. Bruno e Oliveira (2008) avaliaram a eficiência do tratamento de ARC em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em dois estágios, em escala de bancada, submetidos a tempos de detenção hidráulica (TDH) de 4,0, 5,2 e 6,2 dias. Obtiveram remoção de DQO entre 66% e 93%. Devi, Singh e Kumar (2008) estudaram a eficiência de filtros de carvão ativado na remoção de matéria orgânica da ARC. Obtiveram redução de DQO e de DBO de, aproximadamente, 99% utilizando esses processos.

O processo proposto no presente trabalho mostrou-se mais eficiente que a maioria dos trabalhos encontrados na literatura, principalmente no que diz respeito ao tempo necessário para a remoção de matéria orgânica. Além disso, a maior parte dos estudos avaliados utiliza processos biológicos que necessitam de pessoal técnico especializado para sua manutenção e não seria economicamente viável manter uma estação de tratamento de esgoto em constante operação para o uso em propriedades rurais, para ser utilizado com a finalidade de tratamento das ARCs somente nas épocas de colheita, ou seja, uma vez por ano. Contudo, novos estudos, envolvendo outros fatores, são necessários para o aperfeiçoamento dessa metodologia de tratamento da ARC.

4 CONCLUSÕES

Os processos oxidativos avançados Fenton e foto-Fenton são eficientes na remoção da demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, carbono orgânico total e cor de soluções de efluentes provenientes da cultura de café orgânico ou convencional. O processo foto-Fenton apresenta vantagem sobre o processo Fenton. O processo proposto no presente trabalho pode ser uma alternativa para o tratamento das águas residuárias do café.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21th ed. Washington, 2005.

BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. de. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 364-377, 2008.

CAMPOS, C. M. M.; PRADO, M. A. C.; PEREIRA, E. L. Caracterização físico-química, bioquímica e energética da água residuária do café processado por via úmida. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 514-524, 2010.

CHEN, C. Y.; WU, P. S.; CHUNG, Y. C. Coupled biological and photo-Fenton pretreatment system for the removal of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) from water. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 19, p. 4531-4534, 2009.

DEVI, R.; SINGH, V.; KUMAR, A. COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using Avacado peel carbon. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 6, p. 1853-1860, 2008.

FIA, F. R. L. et al. Development of biofilm in anaerobic reactors treating wastewater from coffee grain processing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 210-217, 2010.

FIA, F. R. L. et al. Treatment of wastewater from coffee bean processing in anaerobic fixed bed reactors with different support materials: performance and kinetic modeling. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 108, p. 14-21, 2012.

FIA, R. et al. Desempenho de filtros anaeróbios no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 62-71, 2011.

FIA, R. et al. Desempenho de sistemas alagados no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1323-1329, 2010.

GONZALEZ-RIOS, O. et al. Impact of "ecological" post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I., Green coffee. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, n. 3/4, p. 289-296, 2007.

HADDIS, A.; DEVI, R. Effect of effluent generated from coffee processing plant on the water bodies and human health in its vicinity**. Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 152, n. 1, p. 259-262, 2008.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Exporting countries:** total production: crop years commencing. Disponível em: <http://www.ico.org/prices/po.htm>. Acesso em: 20 mar. 2014.

KONDO, M. M. et al. Fenton and photo-Fenton processes coupled to UASB to treat coffee pulping wastewater. **Separation Science and Technology**, New York, v. 45, n. 11, p. 1506-1511, 2010.

KONDO, M. M.; JARDIM, W. F. Photodegradation of chloroform and urea using Agloaded titanium dioxide as catalyst. **Water Research**, New York, v. 25, n. 7, p. 823-827, 1991.

MALATO, S. et al. Photocatalytic treatment of water-soluble pesticides by photo-Fenton and TiO_2 using solar energy. **Catalysis Today**, Amsterdam, v. 76, n. 2/4, p. 209-220, 2002.

MARTÍN, M. M. B. et al. Degradation of a four-pesticide mixture by combined photo-Fenton and biological oxidation. **Water Research**, New York, v. 43, n. 3, p. 653-660, 2009.

MATOS, A. T.; LO MÔNACO, P. A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 7 p. (Boletim Técnico, 68).

NOGUEIRA, R. F. P. et al. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 400-408, 2007.

NOGUEIRA, R. F. P.; SILVA, M. R. A.; TROVÓ, A. G. Influence of the iron source on the solar photo-Fenton degradation of different classes of organic compounds. **Solar Energy**, Kidlinton, v. 79, n. 4, p. 384-392, 2005.

OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. A. Combiantion of advanced oxidation processes and biological treatment for wastewater descontamination: a review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 409, n. 20, p. 4141-4166, 2011.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 36, n. 1, p. 1-84, 2006.

RIGUEIRA, R. J. A. et al. Alteração nas características físicas, químicas e bioquímicas da água no processo de lavagem, despolpa e desmucilagem de frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 8, n. 2, p. 131-139, 2010.

SANTOS, V. C.; KONDO, M. M. Imobilização de TiO_2 em concreto: fotodegradação de clorofórmio e fenol. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 251-255, 2006.

SUAREZ-QUIROZ, M. L. et al. Effect of the post-harvest processing procedure on OTA occurrence in artificially contaminated coffee. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 103, n. 3, p. 339-345, 2005.

SUN, Y.; PIGNATELLO, J. J. Photochemical reactions involved in the total mineralization of 2,4-D by Fe^{3+}/H_2O_2/UV. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 27, n. 2, p. 304-310, 1993.

TEIXEIRA, D. L.; MATOS, A. T.; ROSSMANN, M. Ácido fólico no tratamento da água residuária do café processado por via úmida. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 91-98, 2012.

ZAYAS, P. T.; GEISSLER, G.; HERNANDEZ, F. Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes. **Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, v. 19, p. 300-305, 2007.

QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB IRRIGAÇÃO E BRAQUIÁRIA EM LAVOURA DE CAFÉ NO CERRADO

Omar Cruz Rocha[1], Antonio Fernando Guerra[2], Maria Lucrécia Gerosa Ramos[3], Alberto da Silva Oliveira[4], Gabriel Ferreira Bartholo[5]

(Recebido: 28 de janeiro de 2014; aceito: 13 de fevereiro de 2014)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho,avaliar o efeito da irrigação e da braquiária em cobertura nas entrelinhas dos cafeeiros, sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho, do Planalto Central Brasileiro. O ensaio foi delineado em cinco blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 2 sendo dois regimes hídricos, irrigado e sequeiro, e dois sistemas de manejo das entrelinhas, com e sem braquiária. A estratégia de pesquisa fundamentou-se na investigação do armazenamento de água do solo com base na distribuição da porosidade, em função do comportamento dos atributos físico-hídricos nos diferentes tratamentos. Foram coletadas amostras de solo em duplicada em cada parcela experimental, nas profundidades de 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 m. O regime de irrigação aumentou a densidade do solo na camada superficial do solo, sem prejudicar sua capacidade de armazenamento de água. Em relação à braquiária houve efeito positivo de suas raízes sobre os atributos físico-hídricos do solo, provendo o incremento da Microporosidade de baixa retenção (Mib), caracterizada pelo aumentando da amplitude na curva de retenção, na faixa de tensão correspondente a água prontamente disponível (APD), que foi acrescida em 18% ao longo do perfil.

Termos para indexação: Armazenamento de água no solo, plantas de cobertura, manejo do solo.

PHYSICAL-HYDRIC QUALITY OF OXISOL UNDER IRRIGATION AND BRACHIARIA IN FARMING OF COFFEE IN THE CERRADO REGION

ABSTRACT: *The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation and cultivation of brachiaria among coffee trees lines on physical-hydric Oxisol quality at Brazilian central plateau. The experiment was carried out in five randomized blocks in a factorial design 2 x 2, with two water treatments, irrigated and rainfed systems, and two management systems, with and without brachiaria between coffee trees lines. The research strategy was based on studying soil water storage based on porosity distribution due to the behavior of physical parameters in different water and management treatments. Soil samples were collected in duplicate in each plot at depths from 0.0 to 0.05, 0.05 to 0.10, 0.10 and 0.20 m. The irrigation regime increased soil bulk density in the surface layer without reducing its readily available water that, due to presence of brachiaria was increased by 18%. In general, irrigated brachiaria had a positive effect on the physical-hydric soil characteristics of the soil and promoted an increase in readly available soil microporosity from the redistribution of pore diameter characterized by increasing retention curve amplitude in the soil water tension range corresponding to the readily-available water.*

Index terms: Soil water storage, cover crops, soil management.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a sustentabilidade dos solos do cerrado esteve vinculada à existência de gramíneas adaptadas ao Bioma, que eram consideradas como importantes fornecedoras de carbono para solo. Essa contribuição cíclica favorecia a atividade biológica, a estruturação do solo e, por conseguinte, a disponibilização e ciclagem de nutrientes para as demais espécies vegetais. Atualmente, as gramíneas vêm sendo empregadas em pastagens muitas vezes degradadas no cerrado brasileiro e as braquiárias, em particular, têm predominância de uso em atividades pecuárias e são classificadas como plantas invasoras em lavouras perenes.

Em levantamento recente, foram identificados na região dos cerrados 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5% da área total do bioma. Duas são as classes de uso mais representativas, as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, ocupando, respectivamente, 26,5% e 10,5% do cerrado (SANO et al., 2008). Dentre as culturas agrícolas perenes, o café (*Coffea arabica* L.) se destaca com uma produção de 5,9 milhões

[1]Embrapa Cerrados - BR 020 - Km 18 - Planaltina - DF - 73310-970 - Cx. P. 08223 omar.rocha@embrapa.br
[2,5]Embrapa Café - Parque Estação Biológica/PqEB s/nº - Brasília - DF - 70770-901- antonio.guerra@embrapa.br, gabriel.bartholo@embrapa.br
[3,4]Universidade de Brasília - Campus Universitário Darcy Ribeiro - ICC - Centro - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Asa Norte - Brasília - DF - 70.910-970 - lucrecia@unb.br, dasilvao@unb.br

de sacas, representando 15,4% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014). Nesse caso, o cerrado mineiro lidera a produção, com 5,2 milhões de sacas, e contribui com mais de 90 mil empregos diretos e 270 mil indiretos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC, 2014).

A expansão da cafeicultura em áreas marginais onde as chuvas são insuficientes ou mal distribuídas no decorrer do ano, como na região do cerrado, tornou a irrigação uma prática indispensável para viabilizar a atividade, devido aos aumentos de produtividade da cultura (BONOMO et al., 2008; COELHO; SILVA, 2005; COSTA et al., 2013; FARIA; SIQUEIRA, 2005; LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008) e da qualidade do café produzido (MARTINS et al., 2007). Por outro lado, essa expansão se deu, predominantemente, sobre a classe dos Latossolos (EBERHARDT et al., 2008), que ocupa cerca de 50% da área de cerrado do Brasil. Esses solos caracterizam-se por seu elevado grau de intemperismo, baixa fertilidade natural, contrastando com a elevada estabilidade dos agregados, baixa densidade do solo, alto volume de macroporos e alta friabilidade, características que favorecem sobremaneira o seu manejo (OLIVEIRA et al., 2004), mas que, no entanto, desfavorecem a sua capacidade em reter água.

A maioria dos trabalhos científicos tem priorizado o aumento da eficiência de aplicação e uso da água de irrigação com base em ferramentas operacionais e na modernização dos equipamentos. Não obstante, outra forma seria favorecer a capacidade do solo em armazenar água a partir da adoção de sistemas de manejo que promovam o incremento da matéria orgânica no solo. Os complexos organo-minerais, resultantes da associação da matéria orgânica com os minerais do solo, proporcionam benefícios diretos e indiretos na capacidade do solo em reter água (RESCK et al., 2008) e isso ocorre devido a importantes contribuições dessa associação para a melhoria na qualidade física dos solos (QFS), condição fundamental para a sustentabilidade global dos agroecossistemas (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005) e, além disso, essa associação está intimamente relacionada à qualidade físico-hídrica do solo (QFHS).

A QFHS pode ser entendida como o resultado da interdependência dos atributos estruturais do solo, no sentido de equilibrar sua capacidade de armazenar água e ar, de forma a contribuir para o desenvolvimento vegetal sem limitar a atividade microbiológica no solo.

Em sistemas conservacionistas, o uso de plantas de cobertura é uma importante prática, pois protege a superfície dos solos contra os agentes erosivos, adiciona C e N; recicla nutrientes e melhora a estabilidade da estrutura. Além disso, promove a formação e manutenção de agregados, pelas raízes (RESCK et al., 2008), propriedades indispensáveis para manutenção e melhoria na QFHS.

O efeito de sistemas de uso e manejo sobre as propriedades físicas do solo e culturas tem sido tema de várias pesquisas (BEUTLER; CENTURION; ROQUE, 2004; NUNES et al., 2010; SILVA; SILVA; FERREIRA, 2005; SPERA et al., 2009). Contudo, os trabalhos relacionados a plantas de cobertura entre fileiras de plantas perenes têm sido conduzidos em regiões com características distintas do cerrado. Nesta região, a informação existente baseia-se em sistemas que envolvem a sucessão de cultivos com plantas anuais, no uso de leguminosas, nas entrelinhas de culturas (AMABILE; FANCELLI; CARVALHO, 2000; ANDRADE et al., 2002) e no crescimento inicial de mudas de café, quando submetidos a diferentes densidades de plantio de braquiária (DIAS; ALVES; DIAS, 2004).

O uso de leguminosas poderia ser adequado ao sistema produtivo de café não fossem as limitações operacionais relacionadas ao estabelecimento e a condução dessas espécies nas entrelinhas. Para Guedes et al. (1996), no entanto, gramíneas, particularmente a braquiária, podem melhorar a QFHS a partir da ação direta de suas raízes na estruturação do solo. Nos sistemas de manejo que utilizam gramíneas perenes como plantas de cobertura, essas apresentam ação agregante mais prolongada do que as leguminosas, devido à presença de um sistema radicular fasciculado, mais denso e com maior contato com as partículas do solo (PALADINI; MIELNICZUK, 1991).

A adaptabilidade às condições locais, arquitetura adequada ao sistema produtivo da cultura, perenidade, facilidade de ressemeadura natural, rusticidade, facilidade de manutenção e resistência à mecanização são características desejáveis na seleção de uma planta de cobertura. Nesse sentido, partindo-se dessas premissas, a braquiária apresenta alto potencial como planta de cobertura para lavouras de café, contudo, a carência de informações sobre os impactos dessa gramínea no sistema produtivo demanda estudos mais detalhados que fundamentem, cientificamente, o emprego ou não dessa prática pelos produtores.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito da irrigação e da braquiária em cobertura nas entrelinhas dos cafeeiros sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho do Planalto Central Brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizada na cidade de Planaltina, Distrito Federal, Brasil (15°35'30"S, 47°42'30"W e 1007 m). A região encontra-se inserida no bioma cerrado e apresenta, segundo a classificação Köppen, clima do tipo CWh1 com precipitação média anual de 1.460 mm e temperatura média de 21,3 ºC. A área experimental está sob um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), de textura argilosa.

Antes do experimento, a análise química do solo (camada de 0-20 cm) apresentou: pH em água 5,2; Al^{3+} (4,3 mmolc dm^{-3}); Ca^{2+} (22,9 mmolc dm^{-3}); Mg^{2+} (8,3 mmolc dm^{-3}); H + Al (76,0 mmolc dm^{-3}); P (1,4 mg dm^{-3}); K (61,2 mg dm^{-3}) e saturação de alumínio em 12%. Para análise granulométrica, os níveis médios de argila, silte, areia fina e grossa foram 601, 116, 47 e 236 g kg^{-1}, respectivamente, na camada de 0-20 cm.

De janeiro de 2000 a dezembro de 2007 a área foi conduzida com *Urochloa decumbens* (Stapf) R. D. Webster (sinonímia *Brachiaria decumbens*) sem pastejo. Os cafeeiros (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí vermelho IAC 144, foram plantados em dezembro de 2007 no espaçamento de 3,50 por 0,70m, em dois regimes hídricos (RH): Irrigado (I), com aplicação de estresse hídrico para uniformização da florada (GUERRA et al., 2007) e sequeiro (S). Foram também adotados dois sistemas de manejo das entrelinhas (SM) dos cafeeiros: Com braquiária (B) e tradicional, com ruas descobertas (T). O ensaio foi delineado em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2, sendo dois regimes hídricos (RH) e dois sistemas de manejo das entrelinhas (SM), em cinco repetições, sendo a parcela experimental constituída por nove plantas, das quais cinco centrais foram consideradas úteis e as demais bordadura.

Na implantação do experimento foram adicionados 120 g de superfosfato triplo (SFT), 50 g de termofosfato magnesiano (Yoorin®) e 24,5 g de fritted trace elements (FTE) por cova. A calagem foi de duas toneladas por hectare de calcário dolomítico, para elevar a saturação por bases para 50%, sendo metade aplicada antes da aração e o restante antes da gradagem. O manejo nutricional foi realizado conforme Guerra et al. (2008).

O manejo da braquiária resumiu-se a roçagens ocorridas quando a planta atingia uma altura média de 0,60 m, permanecendo os restos culturais na área. No tratamento tradicional, o solo foi mantido livre de plantas invasoras com auxílio de capinas manuais, permanecendo também os restos culturais nas respectivas parcelas.

No regime hídrico irrigado, os cafeeiros foram plantados sob um sistema mecanizado de aspersão do tipo pivô central. O critério de manejo de irrigação fundamentou-se no monitoramento do conteúdo de água do solo, sendo que o momento de irrigação ocorria sempre que a umidade, na profundidade de 0,10 m, correspondia ao consumo de 50 % da água disponível (ROCHA et al., 2008). O monitoramento do conteúdo de água foi realizado com o auxílio de sondas de umidade ML1 (Delta-T® Devices). No regime hídrico de sequeiro somente no primeiro ano após o plantio os cafeeiros receberam irrigação suplementar visando garantir o estabelecimento da cultura.

As amostragens de solo foram realizadas no mês de março, em 2011 e 2012, no período de granação dos frutos. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em duplicada em cada parcela experimental, na projeção da copa e equidistantes, ao longo da parcela, nas profundidades de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 m. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis de 50 mm de diâmetro e 51 mm de altura para determinação da densidade do solo (Ds) e da capacidade de retenção de água determinada pelo método da centrífuga. Foram utilizadas as tensões de água correspondentes a 1, 3, 6, 10, 33, 60, 100 e 1.500 kPa. Para isso, as amostras foram previamente saturadas por 24 h e submetidas a rotações variadas da centrífuga por um período de 30 min (FREITAS JÚNIOR; SILVA, 1984). Com as amostras deformadas, avaliou-se a distribuição granulométrica do solo pelo método da pipeta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997).

Os pontos experimentais das curvas de retenção foram ajustados a partir da equação de Genuchten (1980) (equação 1), empregando-se a restrição proposta por Mualem (1974), m = [1-(1/n)]. Para o ajuste, utilizou-se o programa SAS® 9.2 (NLIN Procedure) obtendo os parâmetros empíricos de ajuste, α, m e n.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\psi_m)^n]^m} \quad (1)$$

em que, θ = conteúdo de água no solo ($m^3\ m^{-3}$), θ_s = conteúdo de água na condição de solo saturado ($m^3\ m^{-3}$), θ_r = conteúdo de água residual ($m^3\ m^{-3}$), ψ_m = potencial mátrico da água no solo (kPa) e α, m, n = parâmetros empíricos da equação.

Para a obtenção das curvas características de água do solo, os valores da umidade volumétrica foram ajustados de acordo com a tensão da água no solo ($\theta = f(\psi_m)$), utilizando-se planilhas de cálculo. A avaliação da disponibilidade de água do solo foi obtida pela determinação da água disponível total (ADT) e da água prontamente disponível (APD), a partir das seguintes expressões: ADT= $\theta_6 - \theta_{1.500}$ e APD = $\theta_6 - \theta_{100}$, onde θ_6, θ_{100} e $\theta_{1.500}$ correspondem às umidades volumétricas equivalentes às tensões matriciais de 6, 100 e 1.500 kPa.

Para quantificar os poros por tamanho, baseou-se na expressão matemática proposta por Bouma (1991): $D = 4\ s\ Cos\ \theta/\psi_m$, sendo D o diâmetro do poro (μm); s a tensão superficial da água (73,43 kPa μm a 20 °C); θ o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como 0) e ψ_m a tensão de água no solo (kPa). Seguindo sugestões de Santos (1997), o diâmetro do poro foi relacionado com a tensão aplicada à amostra, correspondente a um número de rotação utilizada na centrífuga, diferente, portanto, da metodologia original, que se baseia na ascensão da água em um tubo capilar (BOUMA, 1991).

Visando o entendimento da dinâmica das variações do volume do espaço poroso do solo em função do RH e do SM, determinou-se a porosidade total (PT), considerando-a igual a θ_s, e os volumes de microporos (MIC) para as diferentes camadas. Paralelamente, para determinar a distribuição relativa dos poros estratificou-se a porosidade de acordo com o diâmetro em percentagens de macroporos (Mac) e de criptoporos (Crip). Nessa classificação, considerou-se: Mac, aqueles com diâmetro maior que 48 μ_m (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa) e Crip, poros com diâmetro menor que 0,2 μ_m (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1.500 kPa). Visando um entendimento mais abrangente do impacto das raízes da braquiária no diâmetro e distribuição dos microporos, essa classe foi dividida em dois grupos: percentagem de microporos associados à água prontamente disponíveis, aqui denominados microporos de baixa retenção (Mib), e porcentagem de microporos remanescentes, aqui denominados microporos remanescentes (Mir). Nessa subclassificação, foram considerados: Mib, aqueles com diâmetro entre 3 e 48 μ_m (que são esvaziados a tensões entre 6 e 100 kPa), correspondentes à APD, e Mir, aqueles com diâmetro entre 0,2 e 3 μ_m (que são esvaziados a tensões entre 100 e 1.500 kPa). A análise estatística envolveu inicialmente uma abordagem descritiva, visando entender a distribuição dos dados, os quais foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, que comprovou a normalidade, e em seguida à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey ($p < 0,05$), para a comparação das médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores estimados da evapotranspiração referência (Eto), os valores de precipitação (P) e os valores de água aplicada via irrigação, no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012.

Como era esperado para a região de cerrado, houve concentração das precipitações entre os meses de novembro e março em que os valores, em geral, superaram aos da Eto. Também pode ser visto que, de forma geral, durante os meses de abril a outubro que a precipitação foi inferior à Eto, ocorrendo déficit hídrico, no período, nos tratamentos não irrigados.

Mesmo sendo verificado um valor pluviométrico considerável durante o período em que o experimento foi conduzido, com média anual de 1400,6 mm, o mesmo apresentou-se com má distribuição, justificando o uso da irrigação para suprir a deficiência hídrica. Observa-se que, de julho a agosto não houve irrigação devido ao período de estresse hídrico para uniformização da florada, no entanto, a partir de setembro até junho aplicou-se, em média, 917,5 mm de água.

Os valores F e a significância das análises de variância dos fatores de efeito, bem como suas interações, em relação aos atributos físico-hídricos do solo são apresentados na Tabela 1 para as camadas A (0,0-0,05 m), B (0,05-0,10 m) e C (0,10-0,20 m).

Para a camada A, houve diferença significativa do regime hídrico (RH), em relação à densidade do solo (Ds), microporosidade (MIC), porosidade total (PT) ($p<0,05$); percentagem de macroporos (Mac) e percentagem de criptoporos (Crip) ($p<0,01$) (Tabela 1). Na Tabela 2, observa-se que a Ds foi maior nos tratamentos irrigados (0,99 Mg m^{-3}) do que nos conduzidos em sequeiro (0,91 Mg m^{-3}), diferindo significativamente entre si e indicando uma pequena redução no espaço poroso em função da irrigação.

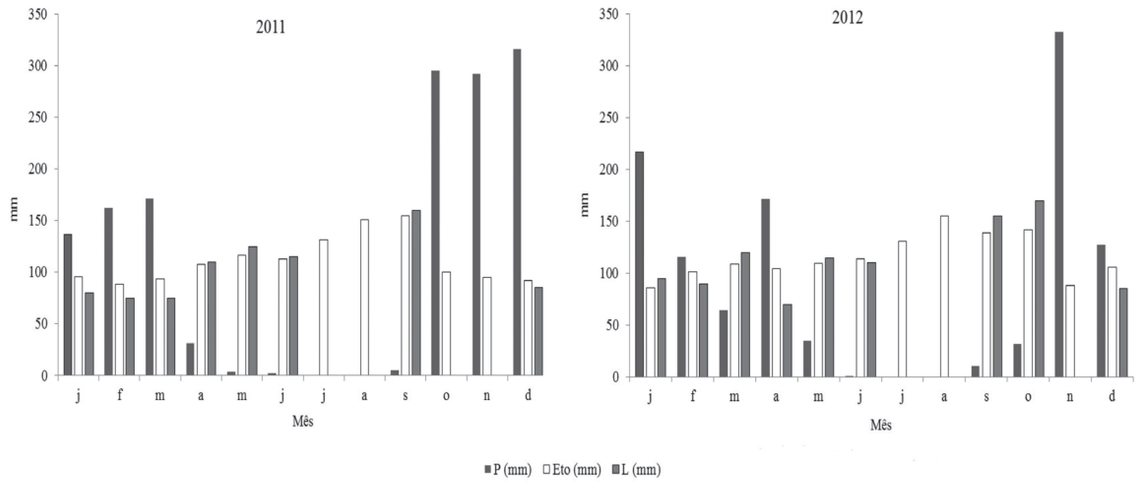


FIGURA 1 - Totais mensais (mm) para evapotranspiração de referência (Eto), precipitação (P), água de irrigação (L) de janeiro de 2011 a dezembro de 2012. EMBRAPA CERRADOS, Planaltina, DF.

Observou-se ainda que, nos tratamentos irrigados, houve aumento na MIC (+0,04 m^3m^{-3}) e na Crip (+4,8%) com redução na Mac (-4,3%), delimitando a redução do espaço poroso à classe dos macroporos.

Nesta linha de estudo, são poucos os trabalhos científicos na região de Cerrado. No entanto, Jorge et al. (2012), avaliando atributos físicos do solo em função da época de amostragem e tipos de usos do solo, observaram que os valores de Ds foram maiores no período chuvoso e os autores atribuíram esses resultados ao fato de que, nessa época, o solo recebe diversas cargas de pressão junto com operações mecanizadas para a condução da cultura, situação semelhante à ocorrida em lavouras cafeeiras irrigadas. Araújo Junior et al. (2011), avaliando diferentes sistemas de manejo da entrelinha de cafeeiros, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo na região de Patrocínio-MG, concluíram que a camada 0 - 0,03 m apresentou maior capacidade de suporte de carga para umidades superiores a 0,20 $kg.kg^{-1}$. Da mesma forma, Marchão et al. (2007), estudando a qualidade física de um Latossolo, também constataram maiores Ds na camada de 0 - 0,05 m, em área de braquiária associada com soja sob plantio direto, indicando que quanto mais próximo da superfície maior o efeito das pressões proporcionadas pelo manejo.

Por outro lado, houve diferença significativa ($p<0,01$) do sistema de manejo (SM) em relação aos microporos de baixa retenção (Mib) (Tabela 1), que foram acrescidos em 11% na presença da braquiária, haja vista que variou de 17,7% nos tratamentos conduzidos de forma tradicional até 19,7% naqueles com braquiária, diferindo-os significativamente, mas, sobretudo, indicando a conversão dos macroporos em microporos associados à água prontamente disponível (APD) que, por consequência, também foi influenciada significativamente pela presença da braquiária ($p<0,05$), haja vista que proporcionou um acréscimo de 0,02 m^3m^{-3} na APD, passando de 0,11 m^3m^{-3}, nos tratamentos em sistema tradicional, para 0,13 m^3m^{-3} naqueles com braquiária, o que equivale a 1,0 mm de água a mais nos primeiros 0,05 m do solo. Contudo, devido a uma pequena redução na Mir (- 0,2%), condicionada pelos fatores RH e SM, a água disponível total (ADT) não foi influenciada significativamente, muito embora também tenha tido um acréscimo de 0,01 m^3m^{-3} (Tabelas 1 e 2).

Nas camadas B e C, o SM proporcionou efeito significativo sobre os atributos do solo, causando variações na Mib ($p<0,01$) e, consequentemente, no armazenamento de água (ADT e APD) ($p<0,05$) (Tabela 1). Observa-se, nas Tabelas 2 e 3, que o manejo com braquiária foi responsável pelo aumento de 15% e 17% na Mib nas camadas C e B, respectivamente, os quais promoveram acréscimo de 0,02 m^3m^{-3} na APD e, por conseguinte, na ADT. Esse comportamento demonstra que, livre das pressões do manejo ocorridas normalmente na camada superficial, a braquiária tende a funcionar como condicionadora física na estrutura do solo, com reflexos diretos no armazenamento de água, confirmando as afirmações de Guedes et al. (1996) de que as gramíneas, particularmente a braquiária, podem melhorar a qualidade físico-hídrica do solo (QFHS) a partir da ação direta de suas raízes na estruturação do solo.

TABELA 1 - Valor F e significância das análises de variância dos fatores de efeito, regime hídrico (RH) e sistema de manejo das entrelinhas dos cafeeiros (SM), e suas interações sobre densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (MIC), água disponível total (ADT), água prontamente disponível (APD), porcentagem de macroporos (Mac), porcentagem de criptoporos (Crip), microporos de baixa retenção (Mib) e microporos remanescente (Mir), nas camadas A, B e C.

Atributos Físico-hídricos	RH (A)	SM (B)	A x B	RH (A)	SM (B)	A x B	RH (A)	SM (B)	A x B
	—— 0,0 - 0,05 m (A) ——			—— 0,05 - 0,10 m (B) ——			—— 0,10 - 0,20 m (C) ——		
Ds	5,44*	0,03	0,86	0,19	3,21	0,85	0,55	1,07	0,72
MIC	7,21*	1,93	1,04	0,03	1,10	1,95	0,53	3,33	1,20
PT	6,74*	0,24	0,24	0,02	0,59	0,41	0,04	0,41	0,13
ADT	0,77	0,31	1,85	0,87	5,15*	0,45	2,45	5,56*	0,27
APD	0,05	5,89*	0,44	0,65	10,47*	0,16	0,31	7,64*	0,03
Mac	14,95**	2,97	3,46	0,17	0,11	2,13	6,47*	4,36	2,97
Mib	0,05	14,46**	0,82	2,53	8,70**	0,00	0,51	23,42**	0,11
Mir	0,43	0,06	0,03	0,58	0,37	1,07	0,96	0,02	0,00
Crip	14,42**	0,02	1,84	0,02	6,78**	3,55	9,00**	0,29	4,46

RH: Regime hídrico (irrigado e sequeiro), SM: Sistema de manejo (com *Urochloa decumbens* e Tradicional), *, **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

TABELA 2 - Efeito do regime hídrico (RH) e do sistema de manejo (SM) nos atributos físico-hídricos na camada superficial do solo (0,0 - 0,05 m).

FV		RH		SM		CV%
		Irrigado	Sequeiro	Braquiária	Tradicional	
DS	$kg.m^{-3}$	0,99a	0,91b	0,95a	0,95a	7,2
MIC		0,43a	0,39b	0,40a	0,42a	6,5
PT	↑	0,59b	0,63a	0,62a	0,61a	5,0
ADT	$m^3.m^{-3}$	0,17a	0,16a	0,17a	0,16a	19,2
APD	↓	0,12a	0,12a	0,13a	0,11a	9,6
Mac		32,2b	36,5a	33,4	35,3	5,5
Mib	↑	18,6a	18,7a	19,7a	17,7b	6,3
Mir	%	6,1a	6,5a	6,2a	6,3a	14,8
Crip	↓	43,0a	38,2b	40,6a	40,8a	5,7

* Médias de parâmetro físico-hídrico do solo seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Contudo, na camada C, de forma análoga à camada A, houve ainda diferença significativa do RH em relação à percentagem de macroporos (Mac) ($p<0,05$) e percentagem de criptoporos (Crip) ($p<0,01$) (Tabela 1) com redução de 15% na Mac e acréscimo de 13% na Crip, demonstrando uma leve compactação padronizada, ao longo do perfil, muito embora na camada intermediária essas variáveis não tenham se modificado de forma significativa (Tabelas 3 e 4).

É patente afirmar que a irrigação, com uma logística de tráfego e manejo inadequados, pode contribuir para a compactação do solo, principalmente, nas camadas superficiais. A sustentabilidade de um sistema de produção irrigado depende, portanto, do manejo adotado. Entretanto, solos ligeiramente compactados podem ter alta atividade radicular, visto que as raízes podem utilizar os macroporos ainda existentes no interior dos agregados para o crescimento e desenvolvimento (AKKER; SOANE, 2005).

TABELA 3 - Efeito do regime hídrico (RH) e do sistema de manejo (SM) nos atributos físico-hídricos na camada superficial do solo (0,05 - 0,10 m).

FV		RH		SM		CV%
		Irrigado	Sequeiro	Braquiária	Tradicional	
DS	$kg.m^{-3}$	0,96a	0,98a	1,01a	0,92a	10,6
MIC		0,41a	0,41a	0,41a	0,40a	7,0
PT	↑	0,62a	0,62a	0,61a	0,63a	6,3
ADT	$m^3.m^{-3}$	0,15a	0,14a	0,16a	0,14a	12,5
APD	↓	0,12a	0,11a	0,13a	0,11a	10,6
Mac		35,8a	36,8a	36,7a	35,9a	16,6
Mib	↑	19,0a	17,7a	19,6a	17,1b	8,5
Mir	%	5,1a	5,7a	5,6a	5,2a	20,7
Crip	↓	40,0a	39,8a	38,0b	41,8a	8,0

* Médias de parâmetro físico-hídrico do solo seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4 - Efeito do regime hídrico (RH) e do sistema de manejo (SM) nos atributos físico-hídricos na camada superficial do solo (0,10 - 0,20 m).

FV		RH		SM		CV%
		Irrigado	Sequeiro	Braquiária	Tradicional	
DS	$kg.m^{-3}$	0,95a	0,85a	0,96a	0,84a	26,4
MIC		0,40a	0,39a	0,41a	0,39a	6,9
PT	↑	0,63a	0,62a	0,62a	0,63a	5,6
ADT	$m^3.m^{-3}$	0,15a	0,14a	0,16a	0,14b	12,8
APD	↓	0,12a	0,12a	0,13a	0,11b	11,5
Mac		33,0b	37,7a	33,4a	37,3a	11,0
Mib	↑	19,7a	19,3a	21,0a	18,0b	6,3
Mir	%	4,4a	4,9a	4,7a	4,6a	26,6
Crip	↓	42,9a	38,1b	40,9a	40,0a	8,7

* Médias de parâmetro físico-hídrico do solo seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Não obstante, em geral, considera-se que o volume de macroporos de 0,25 cm^3 cm^{-3} representa boa aeração; entre 0,10 e 0,25 cm^3 cm^{-3}, uma limitada troca gasosa; e abaixo de 0,10 cm^3 cm^{-3}, aeração deficiente (STEPNIEWSKI; HORN; MARTYNIUK, 2002) ou solo compactado (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004). Desse modo, o solo em estudo pode ser considerado com boa aeração, uma vez que, na presença da braquiária, o volume médio de macroporos foi de 0,21 cm^3cm^{-3}.

Por consequência de um maior grau de estruturação do solo, proporcionado pelo sistema radicular da braquiária, observou-se, em todas as camadas de solo estudadas, incrementos significativos na microporosidade de baixa retenção (Mib), indicando que a ação agregante atribuída por Guedes et al. (1996) ao sistema radicular da braquiária, é possivelmente o recurso para aumentar o armazenamento de água no solo, o qual foi obtido a partir da produção de microporos com diâmetro entre 3 e 48 µm , ou seja, aqueles correspondentes à APD, uma vez que a microporosidade remanescente (Mir), correspondente à proporção de microporos remanescentes necessário para complementar a água disponível total (ADT), não foi influenciada por nenhum dos fatores.

Nesse sentido, a distribuição relativa média das classes de poros é apresentada na Figura 2, onde se comparam os tratamentos com braquiária com aqueles conduzidos no sistema tradicional de manejo, e se comprova que a braquiária promoveu a redistribuição de poros com ganhos significativos na Mib. De outra forma, na Figura 3, constata-se alteração no traçado da curva de retenção de água no solo, em função da presença da braquiária irrigada permitindo afirmar, com base no acréscimo ocorrido para Mib, que houve redistribuição no diâmetro dos poros, similar ao obtido por Klein e Libardi (2002).

A soma da microporosidade de baixa retenção (Mib) com a microporosidade resmanescente (Mir) corresponde ao espaço poroso responsável pela água disponível total (ADT) do solo. Dessa forma, observou-se que, nos tratamentos em sistema tradicional, a Mib média, considerando-se todas as camadas, representou 77% dos microporos responsáveis pela ADT, e que a mesma relação considerando a presença da braquiária representou 79%, correspondendo a um incremento de 2,6% em função do manejo com braquiária nas entrelinhas.

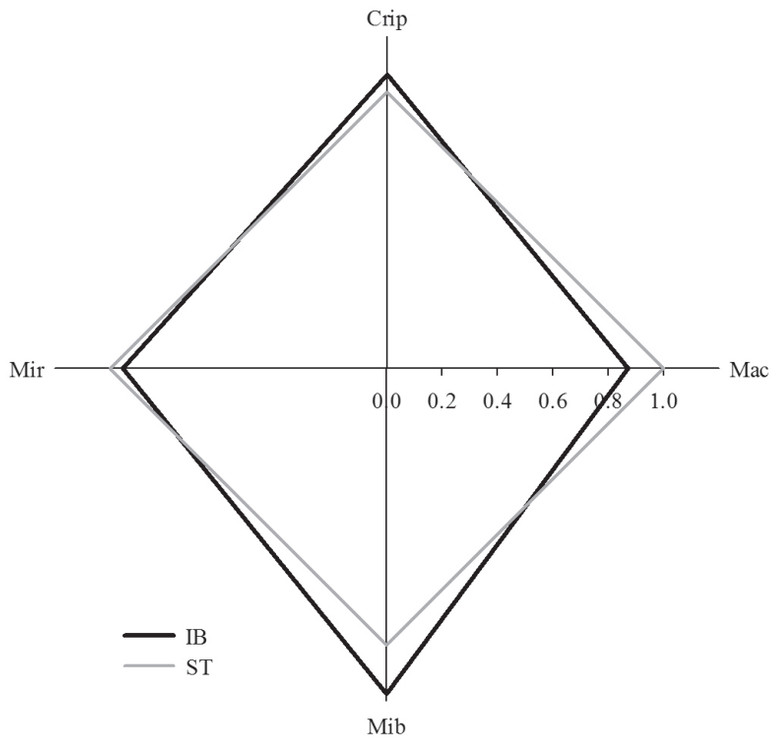


FIGURA 2 - Distribuição relativa das classes de poros do solo entre os tratamentos irrigados com braquiária (IB) e em sequeiro no sistema de manejo tradicional (ST), no perfil de 0-0,20 m.

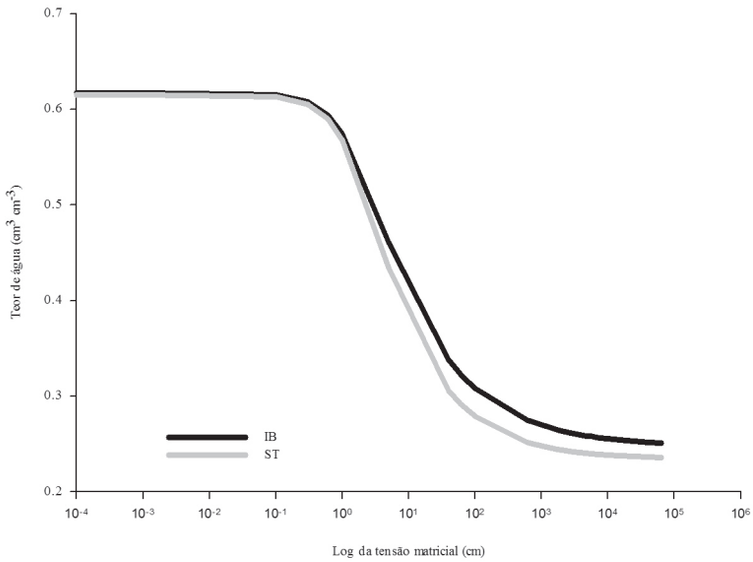


FIGURA 3 - Curvas médias de retenção de água para os solos dos tratamentos irrigados com braquiária (IB) e sequeiro tradicional (ST), para o perfil de 0-0,20 m.

Esse aumento embora sutil corresponde ao deslocamento de 6,5 m^3 de água por hectare para uma faixa de tensão de maior facilidade de absorção pelas culturas, levando-se em conta a camada de 0,20 m e considerando a ADT média de 1,63 $mm.cm^{-1}$ do solo em estudo.

Historicamente, houve consenso entre os pesquisadores de que a matéria orgânica tinha pouco ou nenhum efeito sobre a capacidade de água disponível do solo. No entanto, Hudson (1994) encontrou correlações positivas altamente significativas entre a quantidade de matéria orgânica e a ADT em todos os grupos de solo por ele estudados. Mais recentemente, constatou-se que compostos orgânicos podem melhorar as relações solo-água-planta modificando a densidade do solo, a porosidade total e a relação água no solo (SULTANI et al., 2007), especialmente em baixas sucções, uma vez que a umidade na capacidade de campo do solo aumenta linearmente com o aumento no teor de matéria orgânica do solo (BRAIDA et al., 2010).

De forma similar, considerando-se as três camadas de solo em estudo, houve um aumento médio de 18% na APD em função da presença da braquiária nas entrelinhas dos cafeeiros, haja vista que a média de APD variou de 1,1 a 1,3 $mm.cm^{-1}$ na ausência e na presença da braquiária, respectivamente. Esse resultado equivale à adição, nos primeiros 20 centímetros do perfil do solo, de 40 m^3 de água por hectare ou de uma lâmina de 4,0 mm.

4 CONCLUSÕES

O regime hídrico irrigado alterou levemente a densidade do solo na camada superficial do solo. Por outro lado, o sistema de manejo das entrelinhas do cafeeiro com a braquiária como planta de cobertura promoveu, na camada de 0,0 a 0,20 m, alterações nos atributos físico-hídricos do solo, resultando no aumento de 18% na água prontamente disponível do solo. Esse aumento pode ser atribuído à conversão de macroporos em microporos de baixa retenção (Mib) devido à ação agregante do sistema radicular da braquiária que, quando associada à irrigação, proporcionou aumento na amplitude da curva de retenção na faixa de tensão água correspondente à água prontamente disponível (APD). Nesse contexto, a Mib demonstrou potencial para ser usada como indicador da qualidade físico-hídrica do solo, uma vez que se mostrou eficientemente sensível às variações na capacidade de armazenamento de água do solo, em função do manejo.

5 REFERÊNCIAS

AKKER, J. J. H. van de; SOANE, B. Compaction. In: HILLEL, D. et al. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. New York: Academic, 2005. v. 1, p. 285-293.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.

ANDRADE, L. R. M. et al. **Cobertura de solos em pomares de maracujazeiro**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 24 p. (EMBRAPA Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

ARAUJO JUNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 115-131, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ. **Notícias do café**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=59&infoid=1451>. Acesso em: 22 jan. 2014.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 365-371, 2004.

BONOMO, R. et al. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 233-240, 2008.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 46, p. 1-37, 1991.

BRAIDA, J. A. et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 131-139, 2010.

COELHO, G.; SILVA, A. M. O efeito da época de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro em três safras consecutivas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 400-408, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café 2013:** quarta estimativa. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>. Acesso em: 22 jan. 2014.

COSTA, A. R. da et al. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of an oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regimes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 55-65, 2013.

DIAS, G. F. da S.; ALVES, P. L. da C. A.; DIAS, T. C. de S. Brachiaria decumbens supresses the initial growth of Coffea arabica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 579-583, 2004.

EBERHARDT, D. N. et al. Influência da granulometria e da mineralogia a retenção de fósforo em latossolos sob pastagem no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1009-1016, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIA, R. T.; SIQUEIRA, R. Produtividade do cafeeiro e cultivos intercalares sob diferentes regimes hídricos. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 583-590, 2005.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para a determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 1423-1428, 1984.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GUEDES, H. M. et al. Caracterização da distribuição do tamanho de agregados de diferentes sistemas de manejo e seu conteúdo de carbono em Latossolo vermelho-escuro na região dos Cerrados, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 329-333.

GUERRA, A. F. et al. Resposta do cafeeiro arábica a aplicação de fósforo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10., 2008, Araguari. **Resumos Expandidos...** Araguari: EMBRAPA Café, 2008. p. 62-66.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Irrigação & Tecnologia Moderna - ITEM**, Brasília, n. 73, p. 52-61, 2007.

HUDSON, B. D. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 49, n. 2, p. 189-194, 1994.

JORGE, R. F. et al. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 159-169, 2012.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 857-867, 2002.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. de; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeirassafras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 2560-2568, nov./dez. 2008.

MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, jun. 2007.

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being:** biodiversity synthesis. Washington, 2005.

MUALEM, Y. **A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils, technical report**. Haifa: Israel Institute of Technology, 1974.

NUNES, L. A. P. L. et al. Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 71-78, 2010.

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 327-336, 2004.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 131-143, 2004.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho dos agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 135-140, 1991.

RESCK, D. V. S. et al. Manejo do solo sob um enfoque sistêmico. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Org.). **Savanas:** desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2008. p. 417-473.

ROCHA, O. C. et al. Water deficit in arabica coffee trees as affected by irrigation regimes in the cerrado region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Proceedings…** Paris: ASIC, 2008. p. 1157-1160.

SANO, E. E. et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 153-156, 2008.

SANTOS, M. N. **Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso na Região dos Cerrados**. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia do Alto do Rio Grande, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 719-730, 2005.

SPERA, S. T. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 1079-1093, 2009.

STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, San Francisco, v. 88, n. 2, p. 175-181, 2002.

SULTANI, M. I. et al. Evaluation of soil physical properties as influenced by various green manuring legumes and phosphorus fertilization under rain fed conditions. **International Journal of Environmental Sciences Technology**, New York, v. 4, n. 1, p. 109-118, 2007.

EFICIÊNCIA DA COLHEITA MECANIZADA DO CAFÉ COM O USO DO INIBIDOR DE BIOSSÍNTESE DE ETILENO

Rodrigo Elias Batista Almeida Dias[1], Fábio Moreira da Silva[2], João Paulo Barreto Cunha[3], Rogner Carvalho Avelar[4], Fernando Costa Fernandes[5]

(Recebido: 29 de janeiro de 2014; aceito: 10 de abril de 2014)

RESUMO: A colheita mecanizada do café vem se desenvolvendo diariamente e tornou-se um processo crescente e irreversível. Porém, uma das limitações da colheita, seja no sistema manual ou mecanizado, é a desuniformidade de maturação, que prejudica o desempenho operacional e a qualidade do produto final, gerando perdas econômicas aos produtores. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a eficiência da colheita mecanizada do café com o uso do inibidor da biossíntese de etileno, buscando compreender sua influência na queda natural dos frutos. Os ensaios foram realizados em área experimental de 1,0 há, para as cultivares Catuaí Vermelho IAC 15, nos anos de 2012 e 2013, e Acaiá Cerrado MG 1474, apenas no ano de 2013. Foram determinados parâmetros de carga pendente, índice de maturação, queda natural dos frutos e eficiência de colheita mecânica. Com base nos resultados obtidos, a aplicação do inibidor da biossíntese de etileno, em doses de 5 litros, por hectare, demonstrou maior eficiência de colheita na cultivar Catuai vermelho, IAC 15. A queda natural de frutos diminuiu com a aplicação de duas doses do inibidor de etileno (5 + 5 litros por hectare) para a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, no ano de 2013.

Termos para indexação: Mecanização, cafeeiro, uniformização da maturação, colhedora.

INFLUENCE OF THE USE OF BIOSYNTHESIS INHIBITOR ETHYLENE ON THE EFFICIENCY OF COMBINE HARVESTING

ABSTRACT: *The mechanized harvesting is evolving daily and has become an increasing and irreversible process. However, one of the limitations of the harvest, either manual or mechanized, is the uneven ripening, which affects the operating performance and the product quality, resulting economic losses to producers. Thus, this study was carried out with the objective of evaluating the operation of the mechanized coffee harvesting using the inhibitor of ethylene biosynthesis, seeking to understand their influence on the natural fall. The study was conducted in Ouro Verde farm, located in Lavras-MG. The tests were conducted in the experimental area of 1.0 ha for Catuaí Vermelho IAC 15 in the years 2012 and 2013 and Acaiá Cerrado MG 1474 only in 2013, loading parameters were determined the plant load, maturation index, natural fruit fall and efficiency of mechanical harvesting . Based on the result obtained, the application of the inhibitor of ethylene biosynthesis at dosage of five liters per hectare showed greater efficiency in crop cultivar Catuai Vermelho IAC 15. The natural fruit fall decreased with the application of two dosage of ethylene inhibitor (5 + 5 liters per hectare) for the Acaiá Cerrado MG 1474 in the year 2013.*

Index terms: *Mechanization, coffee, maturation, harvester.*

1 INTRODUÇÃO

Originado no continente Africano, o cafeeiro pertence à família Rubiaceae e seu gênero, *Coffea*, é representado por mais de 100 espécies, entre as quais apenas *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre apresentam importância comercial. O café é um dos mais valiosos bens comercializados no mundo, representando uma importante fonte de renda e empregos em vários países tropicais, incluindo o Brasil, que é o maior produtor e exportador mundial (DAVIS et al., 2006).

A cafeicultura brasileira vem passando por momentos de transição em que o processo de colheita migra do sistema manual para o sistema mecanizado, prática cujos benefícios técnicos e econômicos se comprovam a cada safra, como alternativa técnica e operacional (SILVA et al., 2011).

A colheita do café com colhedoras automotrizes na região do Sul de Minas Gerais está em ampla expansão, devido à necessidade dos produtores realizarem uma colheita rápida, com menor custo operacional e com café de melhor qualidade (SILVA et al., 2009).

A maturação desuniforme é uma constante na cafeicultura brasileira em função de floradas sucessivas que podem ocorrer de duas a cinco ao ano, dependendo do clima de cada região e

[1,4,5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.2000-000 - Lavras - MG rodrigoodias@hotmail.com, avelarcafe@yahoo.com.br,fernando.cf@bol.com.br
[2,3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.2000-000 - Lavras - MG famsilva@prpg.ufla.br, bcunha_2@hotmail.com

da própria variabilidade climática em cada ano, o que prejudica os processos de colheita manual ou mecanizada, o desempenho operacional e a qualidade do produto (SILVA et al., 2006).

Os mercados interno e externo de café vêm se tornando cada vez mais exigentes com relação à qualidade do produto, sendo crescente o segmento de cafés especiais (CAMPA et al., 2004). A obtenção de um café de boa qualidade depende, dentre outros fatores, da colheita que deve ser realizada quando a maturação do grão atingir o ponto ótimo (estádio cereja). A colheita com maior porcentagem de frutos cereja pode ser realizada mecanicamente de duas formas, através da colheita seletiva com duas passadas da colhedora ou então, com a aplicação do regulador etileno que antecipa a maturação dos frutos, aumentando a porcentagem de frutos cereja, sendo colhidos em uma passada com a colhedora (SILVA et al., 2011). Estão surgindo produtos que auxiliam os produtores no controle da maturação, para garantir uma colheita com o maior volume possível de frutos cereja. O uso de maturadores fisiológicos em cafeeiros vem permitindo uniformizar e acelerar a maturação dos frutos, antecipando a colheita e aumentando sua eficiência (SCUDELER et al., 2004).

O envolvimento do etileno no processo de amadurecimento tem sido comprovado pelo estudo de plantas geneticamente transformadas, nas quais a inibição de sua biossíntese reduz ou inibe o amadurecimento dos frutos (SILVA et al., 2004), possibilitando o escalonamento da colheita mecanizada. Dessa forma, produtos à base de potássio possuem papel importante na preservação da qualidade do fruto através da inibição da biossíntese de etileno, permitindo uniformizar a maturação dos frutos (SÁ et al., 2008).

Este amadurecimento é geneticamente programado, sendo um fenômeno irreversível que envolve uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas e organolépticas que leva ao desenvolvimento de um fruto com atributos de qualidade desejável (PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007).

Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a eficiência da colheita mecanizada do café com o uso de um inibidor da biossíntese do etileno, buscando verificar sua influência na queda natural dos frutos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na fazenda Ouro Verde, no município de Lavras, Sul do estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas médias 21º16’57’’ de latitude Sul e 45°06’16’’ de longitude oeste de Greenwich e altitude média de 920 m, em área de um hectare. Foram utilizadas as cultivares Catuaí Vermelho IAC 15 (maturação tardia) e Acaiá Cerrado MG 1474 (maturação precoce), implantadas em 2004 no espaçamento 3,6 x 0,6 metros, com estande de 4630 plantas/ha, sobre solo classificado como latossolo vermelho distrófico de textura argilosa. Os dados climáticos da microregião foram coletados na estação meteorológica da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada a, aproximadamente, 15 km da área experimental do presente trabalho.

Foram realizados dois ensaios, nos anos de 2012 e 2013. No primeiro ano, utilizou-se apenas a cultivar Catuaí Vermelho IAC 15 e, no segundo ano, utilizou-se, também, a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474. Para os ensaios, utilizou-se o produto comercial MATHURY®, inibidor da biossíntese de etileno à base de acetato de potássio (sistêmico) na dose de 5 L ha^{-1} com volume de calda de 400 L ha^{-1} (Tratamento 2) e na sua ausência (Tratamento 1, testemunha). Em 2013,repetiram-se os tratamentos do ano anterior,com acréscimo de um tratamento, que recebeu duas aplicações de 5 L ha^{-1} com 400 L ha^{-1} de calda (Tratamento 3), sendo a primeira no estádio de fruto verde-cana e a segunda após 20 dias, quando alguns frutos se encontravam passando para o estádio cereja, no terço superior da planta. A aplicação foi feita por turbo atomizador ARBUS 2000, com velocidade média de 3000 m h^{-1} e vazão de 7,1 L min^{-1}.

Para determinação da eficiência de colheita mecânica, nos anos de 2012 e 2013, utilizou-se colhedora automotriz Jacto K3®, com uma única passada em colheita plena. A regulagem da colhedora, com velocidade operacional de 1000 m h^{-1} e vibração de 950 ciclos min^{-1} para a colheita dos ensaios, foi realizada seguindo recomendação proposta por Oliveira et al. (2007) e novamente confirmada por Sales (2011) apresentando maior eficiência de colheita. Na safra de 2012,a colheita foi realizada em 12 de julho e na safra de 2013, em 19 de Junho, para a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474 e, no dia 23 de Julho, para a cultivar Catuaí Vermelho IAC15. Para as avaliações de colheita foram utilizadas cinco parcelas de dez plantas para cada tratamento, onde quantificou-se o volume em litros de frutos colhidos e perdidos (café de chão) pela colhedora. Para determinar as perdas, a colhedora operou sobre panos que forraram o chão em cada parcela, onde foi separada e realizada a pesagem em kg de folhas caídas sobre os panos (desfolha), expressando os valores em quilogramas,por planta ,e medindo o volume de frutos de café em décimos de litro, para posterior conversão em porcentagem da carga pendente da planta.

Determinou-se a eficiência de colheita, medindo-se o volume (L) efetivamente colhido em cada parcela. Para a determinação do café remanescente na planta foi feito o repasse manual, medidos os frutos colhidos em recipiente volumétrico graduado em décimos de litro (repasse), onde foi feita a conversão para porcentagem da carga pendente. Para o cálculo da eficiência de derriça (Equação 1) a metodologia proposta por Sales (2011) foi utilizada. A eficiência de colheita foi dada pela subtração da porcentagem de perda, em relação à eficiência de derriça (Equação 2).

O índice de maturação final (Equação 3) foi obtido por meio da média dos três valores de maturação encontrados em cada repetição, conforme metodologia adaptada de Silva et al. (2010).

Equação 1:

$$ED(\%) = \frac{VTD}{CPM} * 100$$

Em que:
ED – eficiência de derriça, %;
VTD – volume total derriçado em cada parcela, L planta^{-1};
CPM – Carga pendente média obtida em cada data dos ensaios, L planta^{-1}.

Equação 2:

$$EC(\%) = ED - P$$

Em que:
EC – eficiência de colheita, %;
ED – eficiência de derriça, %;
P – perdas, %;

Equação 3:

$$IM = 100\% - \%VERDE$$

Em que:
IM - índice de maturação (%), representa a somatória percentual de frutos cerejas, passa e seco;
%VERDES- percentagem de frutos verdes.

A determinação da queda natural foi realizada em cada parcela e expressa em litros por planta, sendo utilizadas sete plantas separadas para esse fim, considerando as cinco plantas centrais úteis, montadas separadamente com bordadura de duas linhas, para não sofrer interferência das outras avaliações como colheita mecânica e carga pendente. As avaliações de queda natural foram feitas em seis diferentes épocas (Tabela 1), recolhendo manualmente os frutos caídos no chão, abanando e medindo em recipiente graduado em décimos de litros, expressando os valores em litros por planta.

A determinação da carga pendente foi realizada com derriça manual em cada tratamento, com duas plantas aleatórias por parcela com o volume medido em recipiente graduado em litros, expressando a produtividade em litros por planta.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema de faixa, com parcela experimental constituída por 19 plantas, sendo as 17 centrais consideradas úteis. Foram usadas 10 plantas para a colheita mecânica, cinco plantas para avaliação de força de desprendimento e duas plantas para avaliação de carga pendente, com cinco repetições em cada tratamento. As análises estatísticas dos resultados foram realizadas por meio do software R® e ao proceder a análise das pré-suposições básicas para realizar ANAVA, verificou-se, para todas as variáveis, a dependência dos erros, a não homogeneidade da variância e a não normalidade. Portanto, foi adotado o teste não paramétrico de Kruska – Wallis que serve ao propósito de comparar a diferença entre grupos de tratamentos. Para análise de correlação entre as variáveis, foi realizado o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r), por meio do software R®.

TABELA 1 -Épocas de avaliações dos ensaios nos anos de 2012 e 2013.

Época	2012	2013
0	19/abr	22/abr
1	04/mai	14/mai
2	22/mai	28/mai
3	05/jun	07/jun
4	29/jun	19/jun
5	12/jul	26/jun

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de maturação dos frutos do cafeeiro, para as safras de 2012 e 2013, foi observado o fator climático precipitação (Figura 1 A e B). Observou-se uma elevada ocorrência de precipitação durante o período em que ocorreu a maturação dos frutos de café. Precipitação pode alterar diretamente a fisiologia da planta (maturação do fruto), aumentando a queda natural do café, segundo Silva et al. (2011), e comprovado por Laviola et al. (2007) que estudando a alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro mostraram que os estádios de formação dos frutos são bem definidos, porém, podem adiantar ou atrasar de acordo com o clima e a região.

É possível observar na Tabela 2 que, para a cultivar Catuai Vermelho IAC 15, na safra de 2012, foi encontrada diferença significativa para eficiência de colheita e derriça, sendo que , para ambas as variáveis, foi verificada maior eficiência, 80,6% e 96,9% respectivamente, nas parcelas com Tratamento 2 (aplicação de 5 litros por hectare do inibidor da biossíntese de etileno), em relação às parcelas-testemunha (Tratamento 1). Cassia et al. (2013) avaliando a qualidade da colheita mecanizada em sistema de plantio circular, obtiveram uma eficiência de derriça média de 63,3% muito abaixo da obtida pelo presente estudo que, em média ,apresentou eficiência de derriça de 95,3%. Por outro lado, Sales (2011), verificando a regulagem do freio dos vibradores em duas épocas distintas obteve valores médios de 87,0%, para a primeira época e 96,7% para a segunda, sendo explicado pela maturação avançada dos frutos em relação à primeira passada, o que corrobora com os valores encontrados no presente estudo. Para as demais variáveis avaliadas, no ano de 2012, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2).

Em relação à cultivar Catuaí Vermelho IAC 15, na safra de 2013, foi possível verificar diferença significativa entre os tratamentos para eficiência de colheita, em que as parcelas com aplicação de 5 litros de inibidor da biossíntese de etileno, por hectare, (Tratamento 2) apresentaram maiores valores (84,1%) para esse parâmetro. Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram-se superiores aos obtidos por Silva et al. (2009) que, testando o desempenho operacional da colheita mecanizada com a aplicação de ethrel, antecipando a maturação, obtiveram eficiência de colheita média de 75,0%, próximo aos resultados encontrados para as parcelas do tratamento testemunha, com 76,3%.

Oliveira et al. (2007) e Silva et al. (2003) relataram que os limites aceitáveis de perda são de, até, 15,0%. No presente trabalho, o tratamento 2 apresentou menor porcentagem de perda, quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 3) e de acordo com os autores supracitados, o valor de 10,1% mostrou-se dentro dos limites considerados aceitáveis. Para as demais variáveis avaliadas não foram observadas diferenças significativas.

Em relação aos atributos referentes à colheita mecanizada da cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, na safra de 2013, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4). A baixa eficiência de derriça e o alto volume de repasse são explicados pela altura média das plantas de 3,5 metros, o que dificultou a colheita mecanizada dos frutos da parte superior da planta (ponteiros), restando nas plantas, em média, 22,1% da carga pendente, aumentando o repasse.

Com relação à queda natural dos frutos nas avaliações de 2012 e 2013 para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 15 não foram encontradas diferenças significativas nas variáveis estudadas (Tabelas 5 e 6).

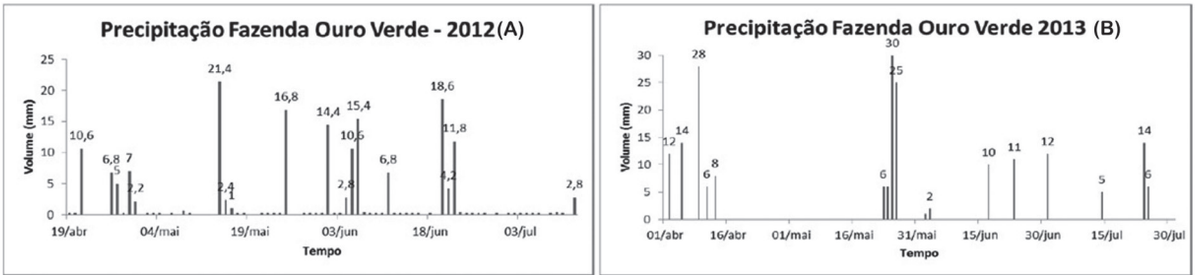


FIGURA 1 - Precipitação (mm) na fazenda Ouro Verde durante o período de maturação dos frutos do cafeeiro, para as safras de 2012 (A) e 2013 (B).

TABELA 2 - Atributos referentes à colheita mecanizada da cultivar Catuaí Vermelho IAC 15 na safra de 2012.

Trat.	Carga pendente	Café colhido	Eficiência de colheita	Perda	Eficiência de derriça	Repasse	Desfolha
	L planta^{-1}	L planta^{-1}	%	%	%	%	Kg planta^{-1}
1	4,07 a	3,04 a	74,77 b	18,83 a	93,60 b	6,40 a	0,54 a
2	4,06 a	3,27 a	80,58 a	16,37 a	96,95 a	3,05 a	0,65 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Kruska-Wallis.

TABELA 3 - Atributos referentes à colheita mecanizada da cultivar Catuaí Vermelho IAC 15 na safra de 2013.

Trat.	Carga pendente	Café colhido	Eficiência de colheita	Perda	Eficiência de derriça	Repasse	Desfolha
	L planta^{-1}	L planta^{-1}	%	%	%	%	Kg planta^{-1}
1	4,94 a	3,77 a	76,34 b	18,14 a	94,48 a	5,52 a	0,64 a
2	4,84 a	4,07 a	84,11 a	10,14 b	94,25 a	5,75 a	0,65 a
3	4,60 a	3,75 a	81,50 ab	12,59 ab	94,09 a	5,91 a	0,84 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Kruska-Wallis.

TABELA 4 - Atributos referentes à colheita mecanizada da cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, na safra de 2013.

Trat.	Carga pendente	Café colhido	Eficiência de colheita	Perda	Eficiência de derriça	Repasse	Desfolha
	L planta^{-1}	L planta^{-1}	%	%	%	%	Kg planta^{1}
1	9,45 a	6,18 a	65,36 a	11,26 a	76,62 a	23,38 a	0,87 a
2	8,69 a	5,89 a	67,84 a	10,36 a	78,20 a	21,80 a	0,79 a
3	9,34 a	6,58 a	70,45 a	8,37 a	79,92 a	21,18 a	0,91 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste Kruska-Wallis.

TABELA 5 - Carga pendente (L planta^{-1}), índice de maturação (%) e queda de frutos (L planta^{-1} e % planta^{-1}), para o ano de 2012, na cultivar Catuaí Vermelho IAC 15.

Época	Trat.	Carga Pendente (L planta^{-1})	Índice de Maturação %	Queda de Frutos (L planta^{-1})	Queda de Frutos (% planta^{-1})
0	1	5,38	2,2	0,05	0,84
	2	-	-	-	-
1	1	5,75 a	8,7 a	0,03 a	0,55 a
	2	5,78 a	9,7 a	0,03 a	0,54 a
2	1	7,03 a	34,9 a	0,03 a	0,43 a
	2	6,22 a	25,6 a	0,02 a	0,31 a
3	1	7,93 a	74,9 a	0,06 a	0,75 a
	2	7,88 a	72,6 a	0,06 a	0,71 a
4	1	4,85 a	98,9 a	0,75 a	15,42 a
	2	4,79 a	96,3 a	0,77 a	16,13 a
5	1	4,08 a	98,6 a	0,19 a	4,75 a
	2	4,06 a	97,3 b	0,23 a	5,54 a
Média	1	5,93 a	76,8 a	0,21 a	4,38 a
	2	5,74 a	60,3 a	0,22 a	4,65 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste Kruska-Wallis.

TABELA 6 - Carga pendente (L planta^{-1}), índice de maturação (%) e queda de frutos (L planta^{-1} e % planta^{-1}), para o ano de 2013, na cultivar Catuaí Vermelho IAC 15.

	Época	Trat.	Carga Pendente (L planta^{-1})	Índice de Maturação %	Queda de Frutos (L planta^{-1})	Queda de Frutos (% planta^{-1})
CATUAÍ	0	1	3,3	6,7	0,00	0,00
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
	1	1	5,3 a	20,2 a	0,002 a	0,04 a
		2	5,5 a	18,6 a	0,002 a	0,03 a
		3	-	-	-	-
	2	1	7,0 a	39,0 a	0,04 a	0,53 a
		2	7,2 a	43,1 a	0,05 a	0,75 a
		3	7,3 a	41,6 a	0,03 a	0,40 a
	3	1	6,5 a	47,2 a	0,33 a	5,11 a
		2	6,5 a	59,2 a	0,35 a	5,32 a
		3	6,8 a	60,1 a	0,37 a	5,38 a
	4	1	4,5 a	67,4 a	0,17 a	3,78 a
		2	4,3 a	59,1 a	0,21 a	4,94 a
		3	5,2 a	59,8 a	0,21 a	3,99 a
	5	1	4,7 a	67,3 a	0,21 a	4,54 a
		2	4,5 a	67,2 a	0,18 a	3,96 a
		3	4,7 a	78,5 a	0,18 a	3,81 a
Média		1	5,0 a	55,2 a	0,19 a	4,38 a
		2	5,0 a	57,1 a	0,20 a	4,67 a
		3	5,4 a	60,0 a	0,19 a	4,08 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste Kruska-Wallis.

Por outro lado, foi encontrada diferença significativa para o índice de maturação (Tabela 5), na época 5, com 97,3% para o Tratamento 2 e 98,9% para o Tratamento 1 (testemunha), evidenciando o evento fisiológico de inibição da biossíntese de etileno.

Com relação à queda natural na cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, verificou-se na safra de 2013 (Tabela 7) diferença significativa, apresentando o Tratamento 3 menor queda em relação ao Tratamento 1, nas Épocas 2, 3, 4 e 5. Conforme descrito por Gomes e Barbosa (2013), produtos à base de acetato de potássio permitem a manutenção do fruto na planta por mais tempo, através da inibição da síntese do etileno. No presente trabalho, a aplicação do produto à base de acetato de potássio pode ter causado um atraso no amolecimento dos tecidos, mantendo os frutos com uma maior força de desprendimento, o que explica a menor queda natural observada no Tratamento 3.

Tais resultados são semelhantes a diferentes estudos sobre a ação da biossíntese de etileno na abscisão de frutos, para o pêssego (RASORI et al., 2002; RUPERTI et al., 2002), caqui (NAKANO et al., 2003) e maçã (DAL CIN et al., 2005; LI; YUAN, 2008). Para as demais variáveis analisadas não foi observada diferença significativa (Tabela 7).

TABELA 7 - Carga pendente (L planta^{-1}), índice de maturação (%) e queda de frutos (L planta^{-1} e % planta^{-1}), para o ano de 2013 na cultivar Acaiá Cerrado MG 1474.

	Época	Trat.	Carga Pendente (L/Planta)	Índice de Maturação %	Queda de Frutos (L/Planta)	Queda de Frutos (%/Planta)
ACAIÁ	0	1	9,7	3,4	0,00	0,00
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
	1	1	8,3 a	22,3 a	0,002 a	0,02 a
		2	9,2 a	12,0 a	0,001 a	0,01 a
		3	-	-	-	-
	2	1	10,3 a	49,2 a	0,03 ab	0,26 ab
		2	10,5 a	45,3 a	0,05 a	0,43 a
		3	10,2 a	46,1 a	0,02 b	0,17 b
	3	1	8,7 a	80,6 a	0,34 a	3,88 a
		2	8,5 a	62,0 a	0,45 ab	5,32 ab
		3	9,7 a	71,2 a	0,17 b	1,78 b
	4	1	7,5 a	68,9 a	0,20 ab	2,72 ab
		2	6,7 a	74,5 a	0,23 a	3,43 a
		3	7,2 a	67,9 a	0,12 b	1,70 b
	5	1	8,7 a	81,1 a	0,188 a	2,17 ab
		2	8,0 a	84,7 a	0,186 ab	2,33 a
		3	8,3 a	74,2 a	0,114 b	1,37 b
Média		1	8,8 a	70,0 a	0,2 a	2,3 a
		2	8,4 a	66,6 a	0,2 a	2,9 a
		3	8,8 a	64,9 a	0,1 a	1,3 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si , a 5% de significância pelo teste Kruska-Wallis.

O pico da queda natural, no ano de 2013, para a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474 foi observado na Época 3 (Figura 2) resultado de precipitação de 30mm no dia (25/Maio) e 25mm no dia (26/Maio) (Figura 1-B), apresentando diferença significativa, com menor queda natural para o tratamento 3, que recebeu a dose de 5 + 5 litros do inibidor da biossíntese de etileno, o que corrobora com trabalho realizado por Silva et al. (2011), que estudaram a queda natural dos frutos, encontrando influência pela ocorrência de chuvas e ventos.

Na análise de correlação de Pearson, entre as variáveis estudadas, observou-se correlação moderada positiva entre as características queda natural e porcentagem de frutos no estádio bóia, significando que a queda natural é parcialmente explicada pela quantidade de frutos no estádio bóia que a planta apresenta. O mesmo efeito ocorreu quando se analisou a variável queda natural em relação ao índice de maturação. Tais resultados corroboram com Silva et al. (2010) que, estudando a força de desprendimento dos frutos encontraram força entre 0,42 e 1,12 (N) para os frutos no estádio bóia, inferiores às forças dos frutos nos estádios cereja e verde. Dessa forma, os frutos no estádio bóia podem ser lançados para fora do sistema de recolhimento da colhedora pelo impacto das varetas vibratórias, podendo alterar a porcentagem de perda de colheita.

Analisando a correlação entre a porcentagem de frutos no estádio cereja e a eficiência de derriça (0,5545), verificou-se correlação positiva moderada. Desta maneira, quanto maior a quantidade de frutos no estádio cereja, maior a eficiência de derriça. Esse fato pode também ser explicado parcialmente pela correlação moderada negativa entre a porcentagem de frutos no estádio cereja e a porcentagem de perda de colheita (-0,6321), onde quanto maior a porcentagem de frutos cereja menores foram as perdas, aumentando a eficiência de derriça (Tabela 8).

De acordo com a correlação negativa obtida para as porcentagens de frutos no estádio verde, em relação à queda natural e também frutos no estádio verde, em relação à eficiência de derriça, observou-se para maior porcentagem de frutos verdes, menor ocorrência de queda natural e menor eficiência de derriça. Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com os encontrados por Silva et al. (2013) que, estudando o efeito do Mathury®, na maturação de frutos de café, variedade Catuaí Vermelho, concluíram que a aplicação do produto aumentou a intensidade de frutos da coloração verde e, consequentemente, diminuiu a queda natural dos frutos. Tal fato mostrou-se inversamente proporcional à correlação moderada positiva entre o índice de maturação e a eficiência de derriça, em que, quanto maior o índice de maturação, maior a eficiência de derriça.

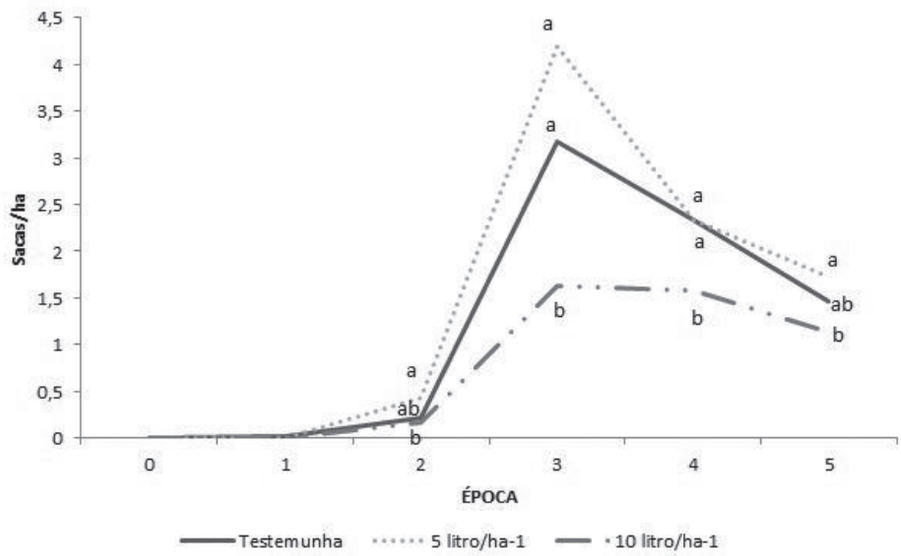


FIGURA 2 - Comportamento da queda natural dos frutos em sacas, por hectare, para a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, no ano de 2013.

TABELA 8 - Coeficiente de Correlação de Pearson para queda natural dos frutos, eficiência de colheita, eficiência de derriça e perda de frutos.

	% Queda Natural	Eficiência Colheita	Eficiência Derriça	% Perda
% Bóia	0,6651 **	0,3955 ***	0,6798 **	0,7541 **
% Cereja	-0,0038 ****	0,3122 ***	0,5545 **	-0.6321 **
% Verde	-0,5251 **	0,3919 ***	-0,6582 **	-0.7159 **
Índice de Mat.	0,5251 **	0,3919 ***	0,6582 **	0.7159 **
Força Verde	-0,3169 ***	0,1132 ***	0,2035 ***	0.2575 ***
Força Cereja	-0,4597 ***	0,4507 ***	0,4167 ***	0.1516 ***

*Correlação Forte, **Correlação Moderada, ***Correlação Fraca, ****Correlação Ínfima

Observou-se correlação negativa entre a porcentagem de frutos no estádio verde e a porcentagem de perdas de colheita (Tabela 8). Dessa forma, quanto maior a porcentagem de frutos no estádio verde na planta, menores valores de perdas na colhedora foram encontrados. Tais resultados podem ser explicados pelo fato dos frutos verdes apresentarem força de desprendimento mais elevada, fato que diminuiu o volume de café derriçado pela máquina, fazendo com que as perdas de colheita fossem menores.

Analisando a correlação positiva encontrada entre o índice de maturação e a porcentagem de perda (Tabela 8), observou-se que o maior índice de maturação resultou na maior quantidade de perda de colheita.

De acordo com os resultados obtidos, acredita-se que o produto aplicado teve efeito na diminuição da síntese de etileno, visto que ocorreu um aumento na eficiência da colheita, bem como uma diminuição na perda desses frutos, porém com uma manutenção do índice de maturação, quando comparada â testemunha. Conforme Gomes e Barbosa (2013), produtos à base de acetato de potássio permitem a manutenção do fruto na planta por mais tempo, pela redução de etileno.

O hormônio etileno tem participação direta na síntese e ativação das enzimas celulase e poligalacturonase, que participam do afrouxamento da parede celular. A diminuição na síntese desse hormônio, no presente trabalho, pode ter causado um atraso no amolecimento dos tecidos, mantendo os frutos com uma maior força de desprendimento. Essa diminuição na síntese do etileno pode ter interferido na síntese dessas enzimas, porém o processo de maturação dos frutos não foi afetado.

4 CONCLUSÕES

A aplicação do inibidor da biossíntese de etileno, na dose de 5 litros por hectare, demonstra maior eficiência de colheita, nos anos de 2012 e 2013, para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 15.

A aplicação de duas doses do inibidor de etileno (5 + 5 litros por hectare) diminui a queda natural para a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, no ano de 2013.

5 REFERÊNCIAS

CAMPA, C. et al. Trigonelline and sucrose diversity in wild Coffea species. **Food Chemistry**, Washington, v. 88, p. 39-43, Jan. 2004.

CASSIA, M. T. et al. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system.**Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, p. 28-34, 2013.

DAL CIN, V. et al. Ethylene biosynthesis and perception in apple fruitlet abscission (Malus domestica L. Borck). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 421, p. 2995-3005, Nov. 2005.

DAVIS, A. P. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus Coffea (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 152, n. 4, p. 465-512, Dec. 2006.

GOMES, D. H. S.; BARBOSA, D. S. G. Efeito do Mathury na uniformidade de maturação do cafeeiro. **Revista ProCampo**, Linhares, n. 36, p. 22-23, jan. 2013.

LAVIOLA, B. G. et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, nov. 2007.

LI, J.; YUAN, R. NAA and ethylene regulate expression of genes related to ethylene biosynthesis, perception, and cell wall degradation during fruit abscission and ripening in 'Delicious' apples. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 27, n. 3, p. 283-295, Sept. 2008.

NAKANO, R. et al. Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 131, n. 1, p. 276-286, Jan. 2003.

OLIVEIRA, E. et al. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 714-721, 2007.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit ripening phenomena: an overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v. 47, p. 1-19, 2007.

RASORI, A. et al. Characterization of two putative ethylene receptor genes expressed during peach fruit development and abscission. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 379, p. 2333-2339, May 2002.

RUPERTI, B. et al. Ethylene responsive genes are differentially regulated during abscission, organ senescence and wounding in peach (Prunuspersica). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 368, p. 429-437, Mar. 2002.

SÁ, C. R. L. et al. **Métodos de controle do etileno na qualidade e conservação pós colheita de frutas**. Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 2008. 36 p. (Documentos, 111).

SALES, R. S. **Avaliação da regulagem do freio dos vibradores de colhedoras na eficiência de derriça do café**. 2011. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SCUDELER, F. et al. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 129-139, 2004.

SILVA, F. C. et al. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiro ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-474, mar./abr. 2010.

SILVA, F. M. et al. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 309-315, 2003.

SILVA, F. M. et al. Avaliação da colheita mecanizada do café com o uso do ethephon. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 1-6, abr./jun. 2006.

SILVA, F. M. et al. Planejamento da colheita mecanizada da lavoura cafeeira em função da maturação e queda natural dos frutos. In: SIMPÓSIO MECANIZAÇÃO DA LAVOURA CAFEEIRA, 2., 2011, Três Pontas. **Anais...** Três Pontas: PROCAFÉ, 2011. p. 83-116.

SILVA, F. M. et al. Uso do Ethrel na colheita mecanizada e seletiva do café arábica. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 2, p. 178-182, jul./dez. 2009.

SILVA, J. A. et al. Characterization of ripening behavior in transgenic melons expressing an antisense 1-aminocyclopropene-1-carboxylate (ACC) oxidase gene from apple. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 263-268, June 2004.

SILVA, R. A. et al. Efeito do Mathury® na maturação de frutos de café variedade Catuaí Vermelho. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 66-74, 2013.

ALTERNATIVAS DE MANEJO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO EM CULTIVOS DE CONILON

Diego Zancanella Bonomo[1], Robson Bonomo[2], José Ricardo Macedo Pezzopane[3], Joabe Martins de Souza[4]

(Recebido: 6 de fevereiro de 2014; aceito: 23 de março de 2014)

RESUMO: O cultivo do café Conilon no Norte Capixaba tem sido feito predominantemente sob irrigação, em razão das condições de distribuição irregular das chuvas. Após a implantação do sistema de irrigação, o manejo da água de irrigação torna-se muito importante do ponto de vista econômico e ambiental para o sucesso da irrigação do cafeeiro Conilon. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar métodos de manejo de água em sistema de irrigação por microaspersão, empregado em cafeeiros Conilon adultos, na região de São Mateus (ES). Durante três safras (2008 a 2011) foram avaliados os efeitos do manejo de irrigação pelos métodos: balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, tensiometria e o sistema Irrigas, nas características produtivas de quatro clones do café Conilon. Os resultados obtidos indicaram que os manejos de irrigação pelo sistema Irrigas e o balanço hídrico possibilitaram as maiores produtividades, porém foram os que tiveram maior consumo de água e menor eficiência no uso da água de irrigação.

Termos para indexação: Microaspersão, Irrigas, *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, tensiômetro, balanço hídrico.

ALTERNATIVE MANAGEMENT OF IRRIGATION WATER IN CROPS OF CONILON

ABSTRACT: *The cultivation of Conilon coffee in North Capixaba has been done predominantly under irrigation due to the conditions of uneven distribution of rainfall. After the implementation of irrigation system management of irrigation water becomes very important economically and environmentally to the success of irrigation Conilon coffee. This study aimed to evaluate methods of water management in micro sprinkler irrigation system, used in coffee Conilon adults in the region of São Mateus (ES). For three seasons (2008 to 2011) the effects of irrigation management methods were evaluated for the water balance in the soil-plant-atmosphere, tensiometry and system Irrigas in productive characteristics of four clones of coffee Conilon. The results indicated that the irrigation management system by Irrigas and water balance enabled the highest yields, but were those who had higher water consumption and less efficient use of irrigation water.*

Index terms: *Micro sprinkler, Irrigas, Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner*, tensiometer, water balance.*

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do café Conilon irrigado no Norte Capixaba apresenta-se com destaque na produção agrícola nacional, sendo uma das principais fontes de renda e emprego (BONOMO et al., 2013). Em razão das condições de distribuição irregular das chuvas nesta região e ocorrência de elevados déficits hídricos (PEZZOPANE et al., 2010), o cultivo tem sido feito predominantemente sob irrigação, com lavouras altamente produtivas com destaque na produção cafeeira brasileira.

Dentre os sistemas de irrigação comumente empregados na cafeicultura nesta região destacam-se os sistemas localizados (gotejamento convencional, gotejamento com "microjet" e microaspersão) e por aspersão (pivô central, aspersão convencional e fixa). Embora os sistemas localizados apresentem maior potencial de economia de água, associados à alta uniformidade e eficiência de aplicação (MARTINS et al., 2007), nos últimos anos tem havido uma tendência na implantação de sistemas novos de aspersão fixa.

A resistência dos irrigantes por sistemas localizados tem sido relacionada a problemas de entupimento de emissores em razão da qualidade da água dos mananciais da região, em geral, com elevados níveis de ferro e matéria orgânica em suspensão.

Uma alternativa de irrigação localizada no Conilon é a microaspersão, que tem sido empregada para diminuir os riscos de entupimento, pois os emissores apresentam maior diâmetro de saída

[1,2]Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Universitário Norte do Espírito Santo - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - Rodovia BR 101 Norte - Km 60 - Bairro Litorâneo - 29932-540 - São Mateus - ES - diegozancanella@yahoo.com.br, robsonbonomo@gmail.com
[3]Embrapa Pecuária Sudeste - Rodovia Washington Luiz - Km 234 -13560-970 - São Carlos - SP - jricardo@cppse.embrapa.br
[4]Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias - Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal Alto Universitário s/n - 29500-000 - Alegre - ES joabenv@gmail.com

da água, quando comparados com os gotejadores, além de possibilitar uma maior área molhada. Em geral, a instalação desse sistema é feita para atender ao cultivo inicial da área com mamoeiro, quando esse cultivo atinge de 12 a 18 meses, é feito o transplantio do cafeeiro, estabelecendo-se um cultivo consorciado de mamão-café até a eliminação do mamoeiro o que ocorre em torno de 30 meses.

O manejo da irrigação constitui uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola irrigada, proporcionando economia de água, energia, aumento da produtividade da cultura e melhoria na qualidade do produto (BONOMO et al., 2013). Portanto, adotando-se um manejo adequado é possível utilizar, muitas vezes, o sistema de irrigação em tempo inferior àquele em que foi projetado, economizando assim em termos de operação, com reflexos diretos nos custos de energia elétrica e mão de obra (RESENDE; ALBUQUERQUE, 2003).

Embora o gerenciamento da água aplicada nas irrigações seja um dos aspectos mais importantes para o sucesso da agricultura irrigada (FIGUÊREDO et al., 2008), no Brasil a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação. Para se determinar o momento de se irrigar e a quantidade de água que deve ser aplicada em uma cultura, existem muitas estratégias que podem ser utilizadas, através de estudos e levantamentos de solo, clima e fatores culturais. Dentre os métodos de manejo de irrigação, destaca-se o método do balanço de água no solo, que tem como fundamento o balanço de água no sistema solo–planta–atmosfera. Para usá-lo é necessário que se determinem os valores de evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente de cultura (Kc), água disponível no solo, informações sobre o manejo da cultura, inclusive o nível de esgotamento e outras (RESENDE; ALBUQUERQUE, 2003).

Os tensiômetros, constituídos por uma cápsula de cerâmica, ligada por meio de um tubo a um vacuômetro, são equipamentos para medição direta da tensão de água no solo, sendo a umidade determinada de forma indireta, mediante o emprego da curva de retenção de água do solo. A capacidade de leitura do tensiômetro vai até tensões de 70 kPa, pois, após esse limite, o equipamento perde a escorva.Assim, segundo Resende e Albuquerque (2003), esses são adaptados a solos que armazenam água a menores tensões (arenosos) e apresentam a desvantagem de requererem manutenções frequentes no campo. Para cafeeiro, adotam-se tensões na faixa de 40 kPa.

Como alternativa para o manejo de irrigação foi desenvolvido, patenteado e licenciado pela Embrapa, o sistema Irrigas (CALBO; SILVA, 2006). O Irrigas consiste de uma cápsula porosa, que é o sensor, conectada a um dispositivo de pressurização de ar e medição. Em solo úmido, os poros da cápsula porosa impregnam-se de água e é necessário pressão para forçar a passagem da água através dos poros. Conforme o solo seca, a tensão de água aumenta e a pressão necessária para forçar a passagem da água através dos poros, diminui. Esse sistema tem se mostrado simples, de baixo custo, confiável e requerendo pouca manutenção (SANTANA; OLIVEIRA; QUADROS, 2004), podendo ser fabricados utilizando vela de filtro como cápsula porosa.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar três alternativas de manejo de água em sistemas de irrigação por microaspersão, empregados em quatro clones de cafeeiros Conilon adultos, na região de São Mateus (ES).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Córrego Grande, de cultivo comercial de café Conilon, em São Mateus (ES) (latitude 18º 45’ S, longitude 40º 06´ W e altitude média de 90 m), durante o período de agosto de 2008 a julho de 2011. O clima da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão (PEZZOPANE et al., 2010). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura de arenosa a média, típico de tabuleiros costeiros.

O local do experimento possui topografia plana, sendo que o solo deste foi analisado quanto às suas características físico-hídricas, incluindo a curva de retenção de água (Tabela 1).

Os tratamentos referentes ao manejo de irrigação foram aplicados em setores de irrigação de uma lavoura comercial, em fase de produção, de café Conilon, com mudas transplantadas em maio de 2006, no espaçamento 3,0 m entre linhas e 1,5 m entre plantas, com uma população aproximada de 2.222 plantas por hectare. A área apresentava plantio dos clones em sistemas de linhas com a identificação dos mesmos.

TABELA 1 - Características físico-hídricas do solo.

Camada (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Equação da curva de retenção [1]
0,00 - 0,20	73	2	25	$\theta = 0{,}031+((0{,}163-0{,}031)/(1+(0{,}062\Psi)^{6{,}84})^{0{,}086}))$
0,20 - 0,40	69	2	29	$\theta = 0{,}055+((0{,}126-0{,}055)/(1+(0{,}025\Psi)^{8{,}76})^{0{,}150}))$

[1] θ = umidade gravimétrica (kg kg^{-1});

Ψ = tensão matricial (kPa)

Realizou-se este trabalho por três safras, em razão de o cafeeiro ser conduzido no sistema de poda programada, em que o mesmo ramo ortotrópico produz por esse período, envolvendo assim um ciclo de produção. A partir daí é feita a retirada desse e conduzidas novas brotações. O sistema de irrigação empregado foi do tipo localizada, por microaspersão. As linhas laterais eram alternadas em relação às fileiras de cafeeiro, com uma porcentagem de área molhada de 55%. Os emissores do tipo com asa giratória, espaçados em 4,0 m e com vazão média de 40 L h^{-1}, operando na pressão de 200 kPa. Cada setor de irrigação englobava uma área cultivada de 10.000 m^2. O sistema de irrigação era composto por bombeamento a partir de uma represa, tubulações, peças, e sistema de filtragem com filtros de areia e disco.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso no esquema de parcela subdividida, sendo o fator manejo de irrigação na parcela, e clone em subparcela, com quatro repetições, sendo a área útil dessa de 36 m^2.

As subparcelas foram quatro clones de café Conilon (*Coffea Canephora* Pierre) identificados como: 120, 100, 11 e 16. As parcelas consistiram de três sistemas de manejo de água de irrigação, sendo: a) balanço de água no solo por meio de balanço hídrico diário; b) monitoramento da tensão de água no solo utilizando tensiômetros; e c) monitoramento da tensão de água no solo com o uso do sistema Irrigas. Detalhados a seguir.

a) Balanço de água no solo por meio de balanço hídrico diário- utilizando valores de ETo (Figura 1) , calculados pelo método de Penman-Monteith Padrão FAO 56 (TURCO et al., 2005), com dados meteorológicos fornecidos pela estação meteorológica do CEUNES/INMET, localizada no município de São Mateus (ES), além de valores de precipitação medidos junto á área irrigada (Figura 1). Nesse tratamento foi empregado um turno de rega fixo com duas irrigações semanais. A seguir está apresentada a equação utilizada para cálculo da lâmina aplicada:

$$ETcloc = ETo \cdot Kc \cdot KL \quad (1)$$

em que,
ETcloc = Evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (mm.dia^{-1})
Kc = Coeficiente da cultura (0,9);
KL = Coeficiente irrigação localizada.

O Kc de 0,9 foi adotado segundo Allen et al. (1998), para plantas em pleno desenvolvimento, em local não sombreado e sem presença de ervas daninhas, como foi o caso da área experimental.
O KL foi calculado pela equação apresentada a seguir (SOARES et al., 2006):

$$KL = 0{,}1 \cdot P^{0{,}5} \quad (2)$$

em que,
P = Porcentagem de área sombreada ou molhada, utilizou-se a que era maior no momento (%).

b) Monitoramento da tensão de água no solo utilizando tensiômetros- o manejo foi baseado no monitoramento da tensão de água no solo empregando um conjunto de três pontos de medida da tensão de água no solo, com sensores instalados, em cada ponto, em duas profundidades, 0,20 e 0,35 m, e a 0,30 m em relação à fileira de plantas. As irrigações foram realizadas quando a tensão de água no solo, de no mínimo dois sensores, atingisse o limite de 40 kPa, definido pelos tensiômetros instalados a 0,20 m de profundidade;
c) Monitoramento da tensão de água no solo, com o uso de sensores Irrigas- foi empregado um conjunto de cinco pontos de monitoramento da tensão de água no solo, com sensores instalados em duas profundidades, 0,20 e 0,35 m, e a 0,30 m,em relação à fileira de plantas. Os sensores instalados a 0,20 m, assim como os considerados no tratamento com tensiometria, foram utilizados para definir o controle de irrigação.

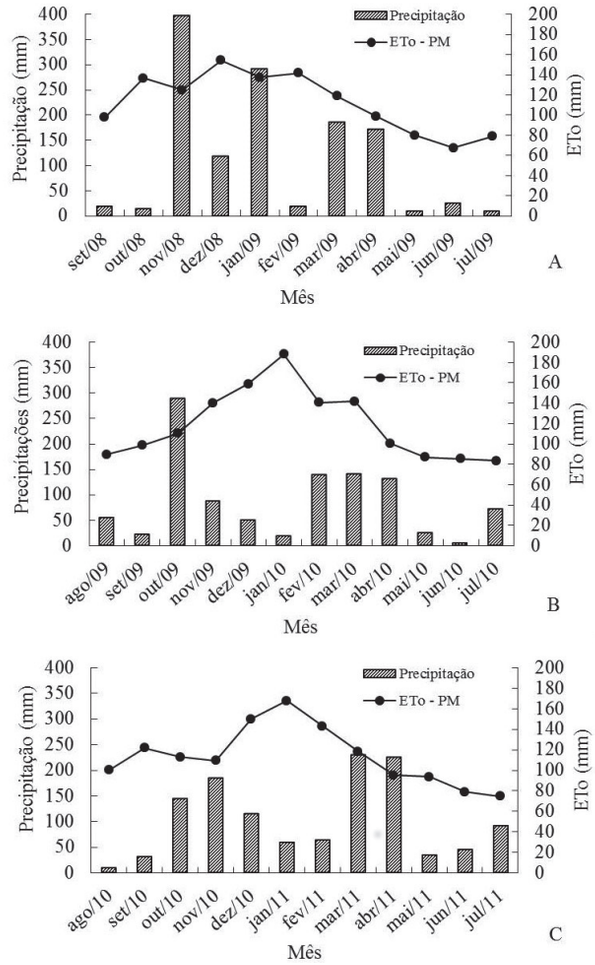


FIGURA 1 - Precipitação ocorrida em milímetro (mm) e ET_0 (mm) nas safras 2008-2009 (A), 2009-2010 (B), 2010-2011 (C).

Para fabricação do sistema foram utilizados, como cápsula porosa, velas de filtro sendo que essas atingiam o momento de irrigar a uma tensão de, aproximadamente, 30 kPa.

Em cada safra, quando atingia-se 80% de frutos cereja era feita a colheita de todas as subparcelas, medido o volume, pesado e retirada uma amostra de 4 litros. Essa foi seca ao sol, beneficiada e pesada para se obter dados de produtividade e rendimento. O rendimento foi obtido pela relação entre os sacos de café recém-colhidos, por sacas café beneficiado.

Com relação à qualidade foi retirada uma subamostra de 100 gramas de cada subparcela e classificada nas peneiras. Além disso, foi avaliado: o consumo de água; a eficiência no uso da água de irrigação, e a quebra relativa de produção, segundo Carvalho (2008).

Esses dados foram obtidos pelas equações a seguir:

$$UEAI = (Pr / I) \quad (3)$$

$$Q = ((1 - (Pr / Pr_p)) \times 10 \quad (4)$$

em que,

UEAI = Eficiência no uso de água de irrigação (kg ha^{-1} mm^{-1});
Pr = Produtividade média das três safras em cada manejo de irrigação (kg ha^{-1});
I = Lâmina média de irrigação, por safra (mm);
Pr_p = Produtividade máxima observada entre todos tratamentos (kg ha^{-1})
Q = Quebra relativa de produção (%)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, estão apresentados os dados de consumo de água durante os três anos para cada tratamento de manejo de água de irrigação. Observa-se uma grande diferença entre os tratamentos, sendo que, no manejo feito por balanço hídrico, houve um consumo de água 37,5% maior em relação ao tensiômetro e 22% maior em relação ao Irrigas, com total acumulado de 1.162 mm no final das três safras, enquanto o sistema de manejo por tensiômetro teve um consumo final de 725 mm e Irrigas de 902 mm. Isso se deve, parcialmente, por ser o método por balanço hídrico, de estimativa, baseado em uma grande quantidade de parâmetros, tanto climáticos quanto da cultura, enquanto os demais são baseados na medição da tensão de água no solo.

Por outro lado, o método do balanço hídrico trabalha com turno de rega fixo, levando a um maior número de irrigações ao longo do ciclo, 100 no total deste trabalho, enquanto os tratamentos com tensiometria e Irrigas são baseados com turno de rega variável, levando a um menor número de irrigações ao longo do ciclo, 50 e 60 irrigações, respectivamente. Esse menor número de irrigações proporcionados pelos métodos de turno de rega variável, possibilitam um melhor aproveitamento das precipitações, o que é particularmente importante, durante o período chuvoso do ano. Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes et al. (2004), quando compararam tensiômetro com balanço hídrico (tanque classe A) em feijoeiro e obtiveram um consumo de água 17,5% maior, no método por balanço hídrico. Scalco et al. (2005), trabalhando com café arábica, com densidade de 2.500 plantas ha^{-1}, observaram que o sistema por balanço hídrico, utilizando o programa IRRIGA, desenvolvido no âmbito da Universidade Federal de Viçosa (UFV), teve um consumo de água 39% maior que tensiômetro para tensão de 20 kPa e 59% maior para tensão de 60 kPa.

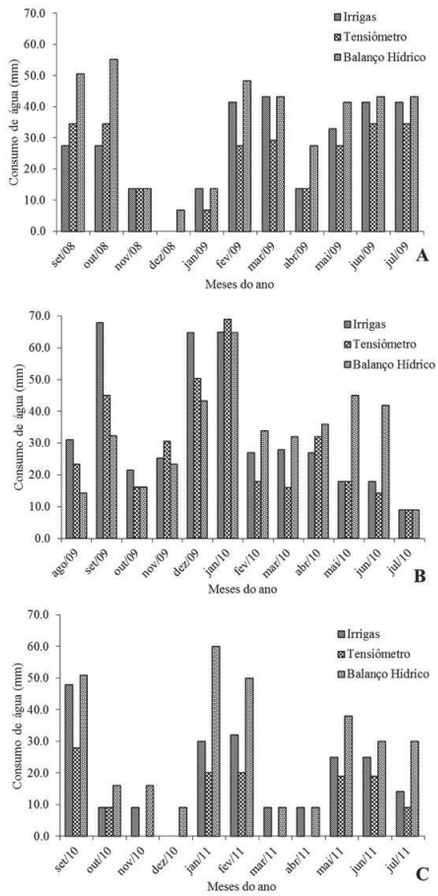


FIGURA 2 - Consumo mensal de água de irrigação (mm) para cada um dos manejos, durante as três safras avaliadas, 2008-2009 (A), 2009-2010 (B) e 2010-2011 (C).

A produtividade no tratamento, empregando o manejo de irrigação baseado no balanço hídrico (Tabela 2) foi estatisticamente superior nas safras 2009/2010 e 2010/2011 aos demais sistemas de manejo, porém, na média das três safras, foi igual ao sistema Irrigas e superior ao método de manejo, utilizando tensiômetros. Esses resultados podem estar relacionados às maiores lâminas de água aplicadas neste tratamento, como pode ser verificado na Figura 1. Lopes et al. (2004), trabalhando com feijoeiro obtiveram produtividade igual estatisticamente para os manejos por tensiometria e balanço hídrico, contradizendo os resultados desse trabalho .Porém , o possível motivo é que o feijoeiro é uma planta de ciclo curto e durante esse período ocorreu uma chuva de, aproximadamente, 160 mm.

Rezende et al. (2006), avaliando diferentes lâminas em café, observaram diferença estatística entre os tratamento na média de duas safras, sendo a lâmina de 80 e 120% da ECA superiores a de 0 e 40% e iguais estatisticamente entre si.

Scalco et al. (2005), em trabalho realizado em Lavras, MG, observaram que o sistema por balanço hídrico, utilizando o programa IRRIGA não diferiu estatisticamente do método por tensiometro, para tensões de 20, 60 e 100 kPa e teve consumo de água maior, porém o trabalho foi realizado em apenas duas safras com cafeeiro arábica que apresenta bienalidade da produção.

Gomes et al. (2007) avaliaram diferentes lâminas de irrigação, de 60 a 140% da ECA e sem irrigação em cinco safras de cafeeiro arábica irrigado por pivô central, sendo que entre as lâminas aplicadas não houve diferença. Resultados semelhantes aos encontrados por Faria e Siqueira (2005) que avaliaram cafeeiro arábica durante seis safras, sendo que, nos dois primeiros anos de formação ,o cafeeiro foi cultivado com feijão e arroz como cultura intercalar, quando foram avaliadas tensões de 40 e 70 kPa na camada de 0,00 – 0,25 m, com irrigação durante o ano todo, sendo que, de setembro a março, não foram observadas diferenças entre os tratamentos.

Os resultados observados no presente trabalho indicam que a tensão adotada de 40 kPa, embora tenha sido adequada para manejo de irrigação, realizados com café arábica citados anteriormente, foi elevada para as condições edafoclimáticas de cultivo de café Conilon, uma vez que o tratamento com Irrigas, com tensão em torno de 30 kPa, não diferiu do tratamento com balanço hídrico.

TABELA 2 - Síntese dos valores de análise de variância e do teste de médias para a produtividade (sc ha^{-1} de café beneficiado) de café Conilon, em São Mateus, ES, nas safras de 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e média das três safras.

Manejo	Safra 2008/2009	Safra 2009/2010	Safra 2010/2011	Média
	Produtividade (sc ha^{-1})			
Irrigas	71,16 A	72,97 B	67,62 B	70,58 AB
Tensiômetro	69,42 A	73,08 B	64,77 B	69,09 B
Balanço hídrico	63,03 B	80,57 A	75,81 A	73,14 A
Clone				
120	55,98 B	75,69 B	65,38 B	65,68 B
100	70,86 A	72,74 B	65,70 B	69,77 AB
11	74,68 A	86,10 A	60,80 B	73,86 A
16	69,96 A	67,64 B	85,72 A	74,44 A
	Valor de Quadrado Médio			
Manejo (M)	293,16 **	303,82 **	524,86 **	66,951 **
Clone (C)	803,89 **	726,62 **	1480,5 **	199,116 **
M x C	49,607 ^{ns}	169,500 ^{ns}	133,215 ^{ns}	26,308 ^{ns}
CV (%)	8,68	10,85	11,20	6,45

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Ainda em relação à produtividade, os resultados mostraram efeito significativo para clone, sendo que o clone 120 foi o de pior desempenho, com produtividade inferior aos demais na média das três safras avaliadas, com os demais não diferindo entre si. Esses valores de produtividades obtidos estão acima dos valores médios de produtividade para o estado do Espírito Santo que, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2012), na safra 2010-2011, foi de 22,05 sacas ha^{-1}.

Com relação ao rendimento, o fator manejo de irrigação teve influência significativa apenas na safra 2010/2011 com o método balanço hídrico e Irrigas superiores estatisticamente ao método de tensiometria, necessitando de menor quantidade de café recém- colhido para produzir uma saca de café beneficiado (Tabela 3). Porém, na média das três safras não houve diferenças estatística, resultado semelhante ao encontrado por Scalco et al. (2005) que avaliando tensiômetro e balanço hídrico, com auxílio do programa IRRIGA, em café não observaram diferença estatística entre os tratamentos.

Já para o fator clone foi verificado efeito significativo em duas das três safras avaliadas, com destaque para o clone 11 e 100 que possibilitaram maior rendimento, ou seja, necessitou de menor quantidade de sacos de café recém-colhido, para cada saca de café beneficiada, o que reflete em menores custos de colheita e beneficiamento para esses materiais.

Na Tabela 4, pode-se observar que, em geral, a porcentagem de café classificado na peneira inferior a 13 ficou na faixa de 7 a 29%, sendo a peneira 13 ou superior a exigida pelas grandes indústrias alimentícias. Verifica-se também que o manejo por balanço hídrico possibilitou os menores valores com relação à peneira inferior a 13 aos demais tratamentos para todos clones avaliados, possivelmente o motivo deve-se à maior lâmina de água aplicada nesse tratamento.

Quanto à eficiência no uso da água de irrigação (UEAI), o tensiômetro foi mais eficiente que os demais, conforme Tabela 5, pois para cada milímetro de água de irrigação aplicado produziu 17,13 kg de café beneficiado.Nota-se, dessa forma, que a diminuição da lâmina aplicada tendeu a aumentar esses valores, isso, principalmente por diminuir as perdas por percolação profunda.

Outros trabalhos (MELO et al., 2010; PAYERO et al., 2008; SAAD; LIBARDI, 1994) com outras culturas, também encontraram maiores valores de UEAI, a partir de menores lâminas de irrigação. Esses resultados mostram que manejo por tensiometria a 40 kPa pode ser uma opção a ser adotada em regiões onde existe baixa disponibilidade de água para irrigação dos cafezais, como na região Norte do Espirito Santo. Carvalho (2008), avaliando diferentes lâminas de irrigação em cafeeiro arábica observou que a lâmina de 80% da ECA foi a que proporcionou maior produtividade, porém a lâmina de 40% da ECA foi a que teve maior UEAI, corroborando com os resultados deste trabalho.

TABELA 3 - Síntese dos valores de análise de variância e do teste de médias para o rendimento (sacos de café recém-colhidos / saca de café beneficiado) de café Conilon, em São Mateus, ES, nas safras de 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e média das três safras.

Manejo	Safra 2008/2009	Safra 2009/2010	Safra 2010/2011	Média
		Rendimento		
Irrigas	6,15 A	5,75 A	4,49 B	5,46 A
Tensiometro	5,88 A	5,64 A	4,74 A	5,42 A
Balanço hídrico	5,90 A	5,67 A	4,36 B	5,31 A
Clone				
120	6,44 A	5,79 A	4,65 A	5,63 A
100	5,59 B	5,85 A	4,42 AB	5,20 C
11	5,64 B	5,71 A	4,26 B	5,27 BC
16	6,21 A	5,45 A	4,78 A	5,48 AB
		Valor de F		
Manejo (M)	0,3571 ns	0,5220 ns	0,6039 **	0,1024 ns
Clone (C)	2,1538 **	0,3245 ns	0,6383 **	0,4599 **
M x C	0,3721 ns	0,7360 ns	0,9948 ns	0,1848 ns
CV (%)	5,42	10,10	7,43	4,38

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de

TABELA 4 - Média das três safras da porcentagem (%) de café retido nas diferentes peneiras, em função do clone do e do manejo de irrigação.

Manejo	Peneiras (%)							
	Clone	P18	P17	P16	P15	P14	P13	Inferior a P13
Irrigas	120	3,53	5,33	8,88	8,10	25,06	20,26	18,84
	100	2,48	6,71	18,12	3,57	24,07	12,17	23,18
	11	5,00	5,30	11,57	18,67	23,97	18,96	16,54
	16	11,36	11,51	16,67	19,83	19,28	12,98	8,37
	Média	5,59	7,21	13,8	12,5	23,1	16,1	16,7
Tensiômetro	120	2,89	4,41	10,68	19,03	22,30	22,96	17,73
	100	4,43	7,75	14,94	25,04	23,36	12,65	21,89
	11	6,08	9,73	11,74	18,68	25,69	13,39	25,00
	16	4,04	6,47	13,12	17,42	21,12	16,82	29,88
	Média	4,36	7,09	12,6	20,04	23,1	16,5	23,6
Balanço hídrico	120	4,14	6,94	17,47	19,75	23,26	20,38	17,26
	100	6,06	10,41	19,87	23,50	18,55	11,51	10,11
	11	3,42	6,92	10,14	21,04	27,67	24,27	16,31
	16	8,45	11,72	15,73	19,63	18,64	18,78	7,06
	Média	5,51	8,99	15,8	20,98	22,03	18,7	12,7

TABELA 5 - Eficiência uso de água de irrigação (UEAI) e quebra relativa (Q).

	Irrigas	Tensiômetro	Balanço Hídrico
UEAI (kg ha^{-1} mm^{-1})	14,07	17,13	11,34
Q (%)	3,50	5,53	0,00

O índice de quebra relativa (Q) representa quanto foi a quebra percentual dos demais manejos de irrigação, em relação ao método balanço hídrico, que foi o de maior produtividade neste trabalho. Observa-se na Tabela 5, que o método tensiômetro teve a maior quebra relativa (5,53%).

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que, em geral, o manejo com balanço hídrico e sensores Irrigas tiveram as maiores produtividades do café Conilon, porém apresentaram maior consumo de água e menor eficiência no uso da água de irrigação, em relação ao tensiômetro.

5 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranpiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 301 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BONOMO, D. Z. et al. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. Gaseous irrigation control system: description and physical tests for performance assessment. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 501-511, 2006.

CARVALHO, H. P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café**. 2008. 173 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café safra 2010/2011, quarto levantamento, dezembro/2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_12_14_11_47_58_boletim__cafe___dezembro_2010..pdf>. Acesso em: 21 jun. 2012.

FARIA, R. T.; SIQUEIRA, R. Produtividade do cafeeiro e cultivos intercalares sob diferentes regimes hídricos. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 583-590, 2005.

FIGUERÊDO, S. F. et al. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos no cerrado. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378-391, 2008.

GOMES, N. M. et al. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.

LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

MARTINS, A. et al. Manejo da Irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

MELO, A. S. et al. Crescimento, alterações fisiológicas e rendimento de frutos da melancia irrigada. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

PAYERO, J. O. et al. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 8, p. 895-908, 2008.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/878/472>. Acesso em: 10 nov. 2013.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. **Métodos e estratégias de manejo de irrigação**. Brasília: EMBRAPA, 2003.

REZENDE, F. C. et al. Características produtivas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. Cv.,topázio mg-1190), recepado e irrigado por gotejamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 103-110, jul./dez. 2006. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/25>. Acesso em: 10 nov. 2013.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 549-555, set./dez. 1994.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 644-653, 2004.

SCALCO, M. S. et al. Rendimento e maturação de frutos do cafeeiro sob diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio safra 2003/2004. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2005. 1 CD-ROM.

SOARES, A. R. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação no crescimento e produção do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 107-114, 2006.

TURCO, J. E. P. et al. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 215-228, 2005.

COMPARAÇÃO DE CLASSIFICADORES SUPERVISIONADOS NA DISCRIMINAÇÃO DE ÁREAS CAFEEIRAS EM CAMPOS GERAIS - MINAS GERAIS

Christiany Mattioli Sarmiento[1], Gláucia Miranda Ramirez[2], Priscila Pereira Coltri[3], Luis Felipe Lima e Silva[4], Otávio Augusto Carvalho Nassur[5], Jefferson Francisco Soares[6]

(Recebido: 12 de fevereiro de 2014; aceito: 3 de abril de 2014)

RESUMO: O uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital representa um significativo avanço para os levantamentos de dados da cafeicultura, principalmente visando a complementação das técnicas utilizadas atualmente. Objetivou-se,neste trabalho, mapear áreas cafeeiras em imagens de alta resolução, a partir de métodos de classificação por análise de imagens orientada a objeto, com os algoritmos k nearest neighbor (KNN), support vector machine (SVM) e pixel-a-pixel, com o algoritmo maximum likelihood (Maxver). A área de estudo foi mapeada, em duas classes: 'café' e 'outros usos'. Realizou-se a análise da exatidão dos mapeamentos a partir da comparação com o mapa de referência da área e foi constatado que a classificação pixel a pixel, pelo método maximum likelihood, obteve os melhores resultados, com 0,78 de índice kappa e 94,61% de exatidão. Conclui-se, a partir deste estudo que o método pixel a pixel do algoritmo Maxver mostra-se mais eficiente para discriminar café, quando se considera somente dois tipos de uso da terra, café e não café, em imagens de alta resolução.

Termos para indexação: Sensoriamento remoto, cafeicultura, análise de imagem orientada a objetos, exatidão.

COMPARISON OF SUPERVISED CLASSIFIERS IN DISCRIMINATION COFFEE AREAS FIELDS IN CAMPOS GERAIS - MINAS GERAIS

ABSTRACT: *The use of remote sensing techniques represents a significant advance for the coffee crop data, mainly to complement the currently techniques that have been used. In this context, this study aimed to map coffee areas in high resolution images using object-oriented images analyses methods, with k nearest neighbor (KNN) and support vector machine (SVM) algorithm, and pixel-by-pixel methods, using maximum likelihood (Maxver) algorithm. The study area was mapped using two classes: 'coffee' and 'other uses'. We performed the mappings accuracy analysis using reference map and it was found that the pixel by pixel classification with maximum likelihood algorithm has the best results, with kappa value of 0.78 and 94.61% of accuracy. In this study, we concluded that the pixel by pixel method of Maxver algorithm seems more efficient to discriminate coffee areas when considering only two types of land use, coffee and no coffee, in high resolution images.*

Index terms: *Remote sensing, coffee farming, object-oriented image analyses, accuracy.*

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade de grande importância mundial (SOUZA et al., 2012), sendo desenvolvida no Brasil desde 1727 (SILVA; ALVES, 2013; ZULLO JÚNIOR et al., 2011). Atualmente, o Brasil é responsável por aproximadamente 35% da produção mundial de café e 25,3% das exportações de grãos verdes (BRASIL, 2013). O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café, responsável por 53% da produção nacional, sendo a região Sul do Estado, a maior produtora (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2013).

No Brasil, a obtenção de informações oficiais referentes à cafeicultura, tais como área plantada, quantidade produzida e área colhida, é realizada pela CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - e pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - que utilizam informações municipais obtidas através da aplicação de questionários padrões a produtores, cooperativas e representantes de órgãos públicos e privados. No entanto, essa metodologia não fornece o detalhamento necessário para planejamentos estratégicos regionais e municipais (MACHADO et al., 2010; RAMIREZ; ZULLO JÚNIOR, 2010), deixando o setor carente de informações (MOREIRA et al., 2007). Para suprir essa lacuna, as geotecnologias têm sido promissoras para avaliar a dinâmica da cafeicultura (MOREIRA et al., 2010; MOURA et al., 2009; ORTEGA-HUERTA et al.,

[1,2,5,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37200-000 - Lavras - MG chrislavras@yahoo.com.br, glaucia_ramirez@yahoo.com.br, otavionassur@yahoo.com.br, jefferson@ahefunil.com.br
[3]Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura/ CEPAGRI Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas - SP - priscilapereira.coltri@gmail.com
[4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37200-000 - Lavras - MG - luisufla@hotmail.com

2012; SOUZA et al., 2012; VIEIRA et al., 2007), incluindo variáveis como extensão, distribuição e localização do ambiente em que o café é cultivado. Essas ações de mapeamento e quantificação das relações da cultura cafeeira com o meio físico favorecem ações estratégicas de planejamento (MOREIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2012) e tomadas de decisões (BERNARDES et al., 2012).

Em sensoriamento remoto, o mapeamento é realizado por meio da classificação de imagens orbitais, que podem ser feitas através de análise visual (manual) ou automática, utilizando classificadores pixel a pixel ou baseado em objetos. Basicamente, a classificação pode ser supervisionada (em que o usuário seleciona pixels de amostra e atribui classes a eles), uma das mais utilizadas em sensoriamento remoto, ou não supervisionada (em que o próprio algoritmo atribui as classes aos pixels). Na classificação de áreas cafeeiras, o algoritmo Maxver, que é uma técnica supervisionada pixel a pixel, tem sido aplicado com frequência em imagens de média resolução espacial, como as do satélite Landsat (MOREIRA et al., 2010; ORTEGA-HUERTA et al., 2012; SOUZA et al., 2012; TARDIN; ASSUNÇÃO; SOARES, 1992; TRABAQUINI et al., 2011).

A larga utilização do satélite Landsat ocorre devido à sua qualidade espectral, resolução e, principalmente, facilidade de acesso. No entanto, a nova geração de satélites de alta resolução (como Quickbird, Ikonos, RapidEye, Geoeye-1) tem se mostrado útil e promissora na identificação e caracterização de áreas cafeeiras (COLTRI et al., 2011; MOREIRA et al., 2010; RAMIREZ; ZULLO JÚNIOR, 2010), pois além de possibilitarem um conhecimento mais detalhado do comportamento espectral de plantios de café, auxiliam na identificação de pequenas lavouras com diferentes características (MOREIRA et al., 2010). Trabalhos de Bausch, Halvorson e Cipra (2008), Coltri et al. (2011) e Marujo et al. (2013); apresentam a eficiência da utilização de satélites de alta resolução espacial, mas também ressaltam a importância de novas pesquisas na classificação dessas imagens.

Alguns trabalhos ressaltam que, na classificação do uso e ocupação do solo, os tradicionais algoritmos pixel a pixel, como o Maxver, possuem eficiência reduzida em imagens de alta resolução espacial, por causa da ocorrência do aspecto granulado nessas imagens (CAMPOS et al., 2013), e nesse caso, os métodos baseado em objetos ou regiões (como os algoritmos K - Nearest Neighbor – KNN- e support vector machine - SVM) tem sido indicados (DURO; FRANKLIN; DUBÉ, 2012; MARUJO et al., 2013; NOMA; KORTING; FONSECA, 2013), pois consideram não apenas a informação espectral, mas também a espacial e a de textura (CAMPOS et al., 2013). Pesquisas de classificação e caracterização de plantios de café em imagens de alta resolução, no entanto, ainda são escassas e há necessidade de aperfeiçoamento das técnicas a fim de obter resultados cada vez mais satisfatórios e com custos menores.

Diante do grande desafio que é a escolha do algoritmo para levantamento de dados e quantificação acurada da cultura cafeeira em imagens de alta resolução, objetivou-se, principalmente, no presente trabalho, realizar a comparação entre algoritmos classificadores supervisionados, utilizando análise de imagens orientada a objetos e análise de imagem pixel a pixel, na discriminação de áreas cafeeiras, em imagem Quickbird.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Sul do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil, no município de Campos Gerais (Figura 1a e 1b), uma das maiores regiões produtora de café do Brasil. Sua localização é determinada pelas coordenadas geográficas 21º7’30 Sul e 45º33’30” Oeste. Para realização do estudo, selecionou-se uma propriedade com produção de café (Figura 1c).

Utilizou-se imagem de alta resolução espacial do satélite Quickbird de 14 de março de 2012, contendo quatro bandas espectrais com 2,44 m e uma banda pancromática com 0,60 m de resolução espacial e 8 bits de resolução radiométrica. A metodologia utilizada no estudo é apresentada no fluxograma da Figura 2, e foi dividida em três grandes etapas: Fase I: elaboração do mapa de referência, Fase II: classificação das imagens e Fase III: análise estatística dos resultados.

Fase I: Após o recebimento da imagem foi realizado um mapa de referência do uso e ocupação do solo. Para tanto, foram realizadas visitas a campo para identificação dos diferentes tipos de usos de solo da área de estudo. A área experimental possui como uso e ocupação do solo corpos d’ água, pastagem, mata, solo exposto e café. Em seguida, as bandas da imagem Quickbird foram fusionadas (4 bandas – azul, verde, vermelha e infravermelha - com a banda pancromática) para melhor detalhamento, e a imagem foi classificada manualmente com todas as classes encontradas em campo. O passo seguinte foi o refinamento das classes, agrupando-as em duas: “café” e “outros usos”.

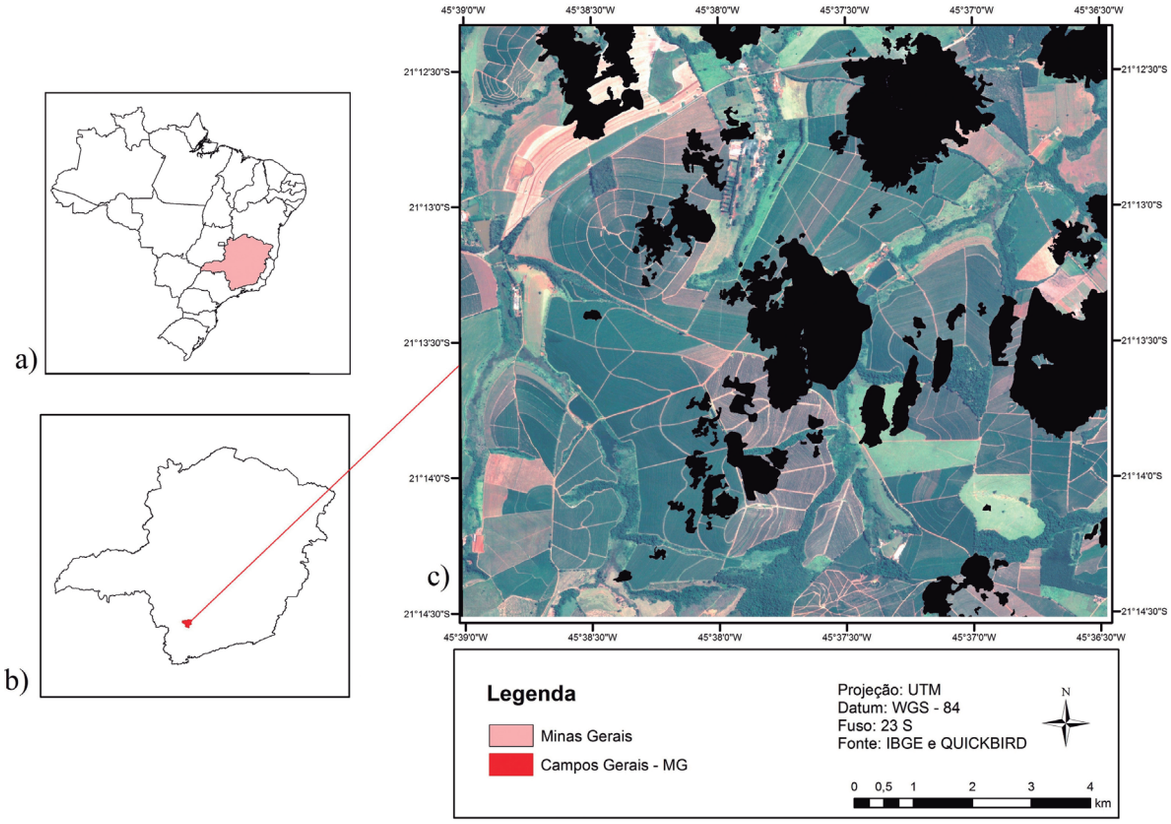


FIGURA 1 - Área de estudo: a) Localização de Minas Gerais; b) Localização de Campos Gerais; c) imagem RGB do satélite Quickbird do dia 14/03/2012.

Fase II: A segunda fase do trabalho consistiu no pré-processamento e classificação da imagem não fusionada, utilizando as bandas 4 - 3 - 2 - 1. Primeiro, houve a digitalização das nuvens e de suas sombras para que as mesmas fossem eliminadas da imagem de forma a não comprometer os resultados. A vetorização foi realizada eliminando todos os pixels contaminados. A correção atmosférica das imagens foi efetuada com o software SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite) (ZULLO JÚNIOR, 1994), segundo a metodologia descrita por Nascimento e Zullo Júnior (2010). Para tanto, utilizaram-se imagens MOD04, MOD05 e MOD07 do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) do satélite Terra, obtidas na mesma data da imagem Quickbird. Para discriminação de áreas cafeeiras houve a comparação dos dois métodos classificadores supervisionados: i) análise de imagem orientada a objeto, utilizando os algoritmos *k nearest neighbor* (KNN) e *support vector machine* (SVM) e, ii) classificação pixel a pixel, utilizando o algoritmo *maximum likelihood* (Maxver). Para a análise orientada a objeto, houve a necessidade de realizar, anterior à classificação, o processo de segmentação.

O processo de segmentação por extração de características foi executado, utilizando o algoritmo w*atersheds by immersion* (CAMPOS et al., 2013; VINCENT; SOILLE, 1991), que utiliza as características espaciais, espectrais (brilho e cor) e texturais de uma região de interesse (AGUIRRE-GUTIÉRREZ; SEIJMONSBERGEN; DUIVENVOORDEN, 2012; BLASCHKE, 2010; YAN et al., 2006). Também foi utilizada a variável de razão de bandas para melhor discriminar as diferenças do comportamento espectral de alvos distintos (ARAÚJO; MELLO, 2010). Foram utilizadas as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, formando o NDVI (ROUSE et al., 1973), índice de vegetação por diferença normalizada.

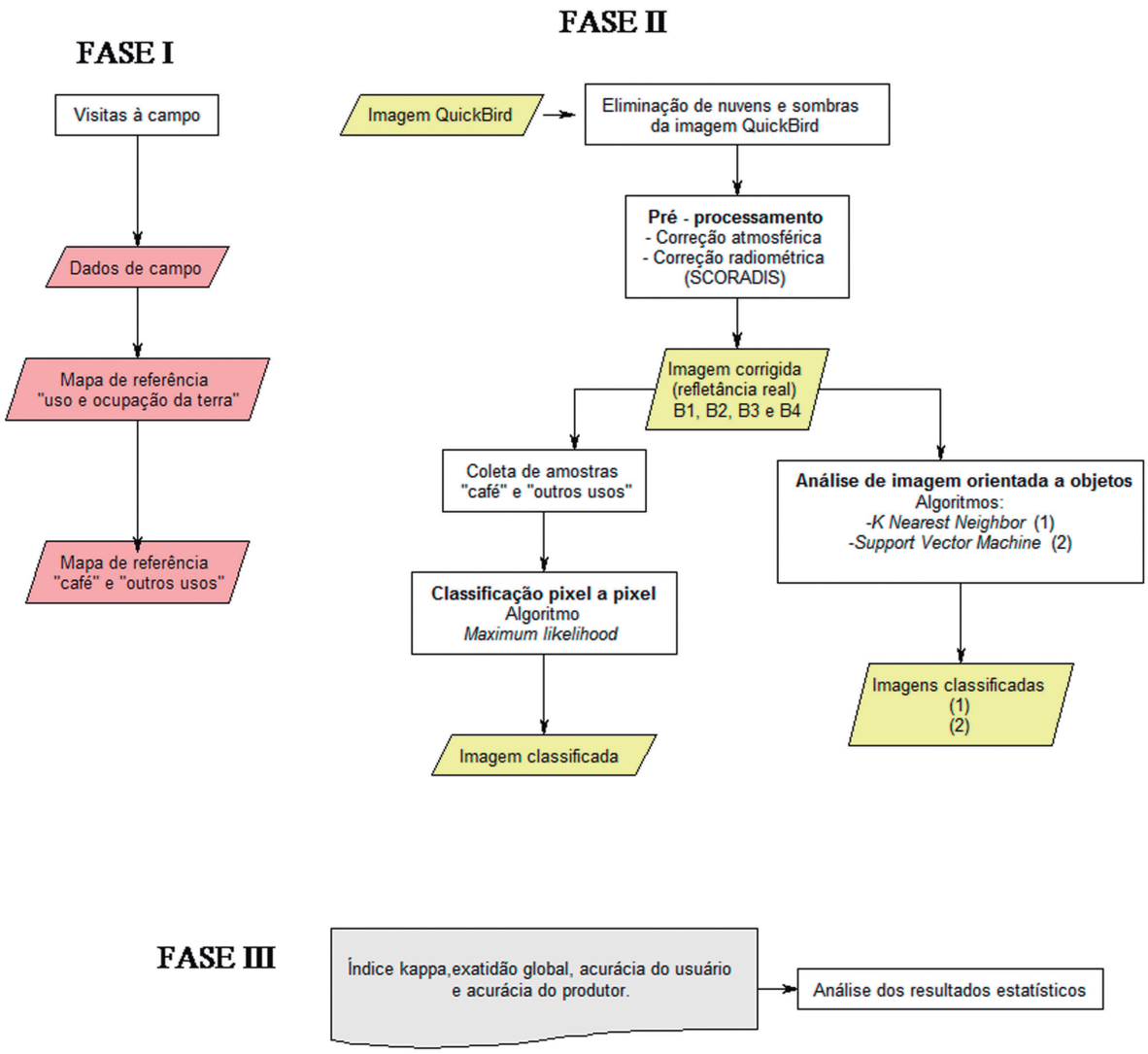


FIGURA 2 - Fluxograma da metodologia utilizada.

Após a segmentação, realizou-se a classificação com os algoritmos KNN e SVM. O algoritmo de classificação KNN, proposto por Fukunaga e Narendra (1975), é uma técnica empregada no reconhecimento de padrões, baseada na técnica do vizinho mais próximo (*nearest neighbor*- NN*),* que utiliza os 'k' vizinhos mais próximos do padrão de consulta, ao invés de apenas o vizinho mais próximo (XU et al., 2013). Já o algoritmo SVM, originalmente formulado por Vapnik em 1979, tem como objetivo a determinação do limite de decisão que produzam uma separação ótima entre as classes por meio da minimização dos erros (MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011).

Para a realização dessa etapa, foram coletadas amostras aleatórias de objetos das classes "café" e "outros usos". Nessas amostras, todos os parâmetros de atributos espaciais, de textura, e espectral foram considerados. O mesmo não ocorreu na classificação pixel a pixel Maxver, pois nesse procedimento apenas a informação espectral é considerada.

O algoritmo Maxver considera a ponderação das distâncias entre médias e valores das classes e o pixel, utilizando parâmetros estatísticos, isso é, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe (HUANG; DAVIS; TOWNSHEND, 2002). Para tanto foram coletadas amostras aleatórias, sendo considerados 400 pixels para áreas com "café" e 400 pixels para áreas com "outros usos".

Fase III: A terceira fase do trabalho consistiu na análise estatística das imagens classificadas com os dados oriundos do mapa de referência da fase I. A exatidão das classificações foi avaliada a partir da matriz de confusão, tendo como resultado as análises estatísticas do (i) índice kappa, (ii) exatidão global, (iii) acurácia do usuário e (iv) acurácia do produtor.

A exatidão global representa os resultados em porcentagem de acertos, e o mínimo aceito para mapas de uso do solo é de 85%, pois representa o limiar de confiabilidade proposto por Jensen (1996). O índice kappa, proposto por Landis e Koch (1977), considera toda a matriz de confusão no seu cálculo, os quais representam as discordâncias na classificação. Para conceituar os resultados obtidos pelo coeficiente Kappa, foram utilizados os intervalos definidos por Landis e Koch (1977). A acurácia do usuário refere-se aos erros de comissão, ou seja, a delimitação excessiva de determinada classe (FERREIRA; DANTAS; MORAIS, 2007) a partir da probabilidade que um pixel classificado na imagem tem de representar essa classe no campo. Por outro lado, a acurácia do produtor se refere aos erros de omissão, sendo a probabilidade de um pixel de referência ser corretamente classificado. Segundo Ferreira, Dantas e Morais (2007), a omissão se refere a uma imperfeita definição de determinada classe.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mapa de referência "café" e "outros usos"

O mapa de referência de campo pode ser visualizado na Figura 3. Foram identificados 578,73 ha (32,35%) da classe "café" e 1209,84 ha (67,64%) da classe "outros usos".

3.2 Análise de imagem orientada a objetos utilizando os algoritmos *k nearest neighbor* (KNN) e *support vector machine* (SVM)

Os resultados obtidos pela análise de imagem orientada a objeto, a partir dos algoritmos classificadores KNN e SVM podem ser visualizados na Figura 4a e 4b, respectivamente. A comparação dos dados obtidos nas classificações com os dados do mapa de referência são descritos na Tabela 1.

Nos valores resultantes da classificação KNN, o uso do solo "café" obteve 43,72% do total área mapeada, e a classe "outros usos" obteve 56,28%. Já nos valores do mapa de referência, a classe "café" apresentou 32,35% do total da área mapeada, e "outros usos" apresentaram 67,64%. Observa-se que a classe "café" foi superestimada nessa classificação e apresentou 203,31 hectares a mais que o mapa de referência. Assim como o algoritmo KNN, a classe "café" também foi superestimada na classificação SVM, e obteve cerca de 159,64 hectares a mais de área, em relação ao mapa de referência. A superestimativa na área de café classificada pelo SVM é um pouco inferior quando comparada à classificação do KNN.

Foi possível observar que a superestimativa do café ocorreu em ambos os classificadores, principalmente, porque houve confusão de café com alvos como mata e pastagem. Isso ocorreu porque pastagem, café e mata, possuem características semelhantes, e, portanto, respostas espectrais também muito próximas. A confusão com pastagem ocorreu devido à época de aquisição da imagem, que foi no final do período chuvoso. Nessa época do ano, tanto a classe café quanto o pasto apresentaram alto valor de biomassa verde, e consequente alto valor de NDVI, que é utilizado pelos dois algoritmos como um dos critérios na classificação. Com isso, as respostas espectrais também se tornaram parecidas, dificultando a discriminação das classes pelos algoritmos. Resultados semelhantes de proximidade do padrão espectral foram encontrados nos trabalhos de Andrade et al. (2013), Cordero-Sancho e Sanders (2005) e Moreira, Adami e Rudorff (2004).

Por outro lado, também foi possível observar que, em alguns casos, houve a não identificação da classe "café" pelo algoritmo KNN, sendo considerada "outros usos".Isso ocorreu devido à influência do solo exposto que ocorre em plantios novos de café, como é o caso de 23,43 ha do plantio da área de estudo. O solo exposto interferiu na resposta espectral do café, dificultando a classificação. Resultados semelhantes foram encontrados por Moreira et al. (2010).

As estatísticas indicaram um índice kappa de 0,67, para ambos os classificadores (KNN e SVM), o que configura a qualidade da classificação 'muito boa' e a exatidão global foi de 91,07% para o KNN e 90,65% para o SVM, consideradas "aceitável" segundo a qualidade de classificação de Jensen (1996). A matriz de confusão é apresentada na tabela 2. Verificou-se que o algoritmo KNN apresentou confusão da classe "outros usos" com "café" em 6,95% dos casos, e mapearam 93,05% da área corretamente. A classe "café" obteve 90,78% de conferência com os dados de referência.

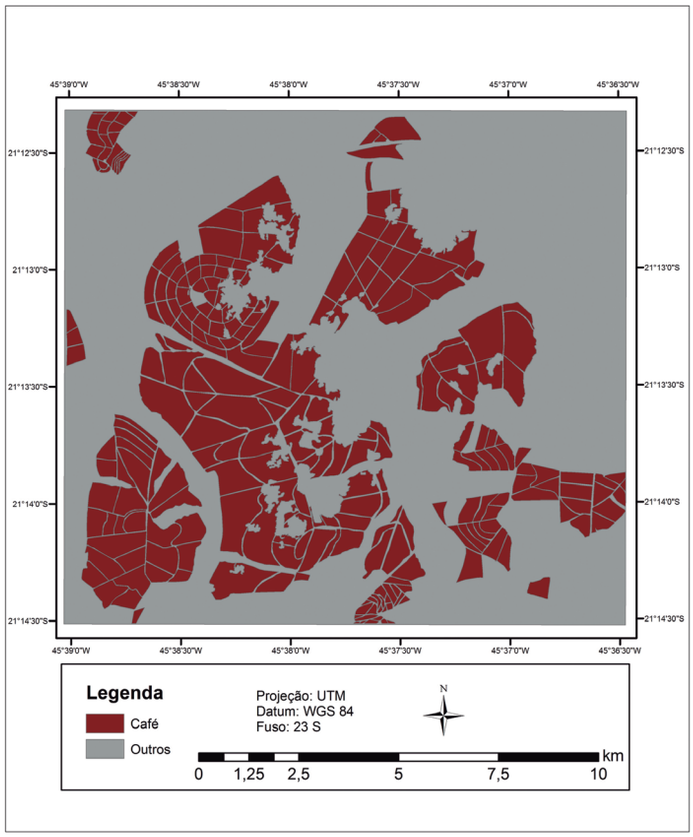


FIGURA 3 - Mapa de referência de café e outros usos.

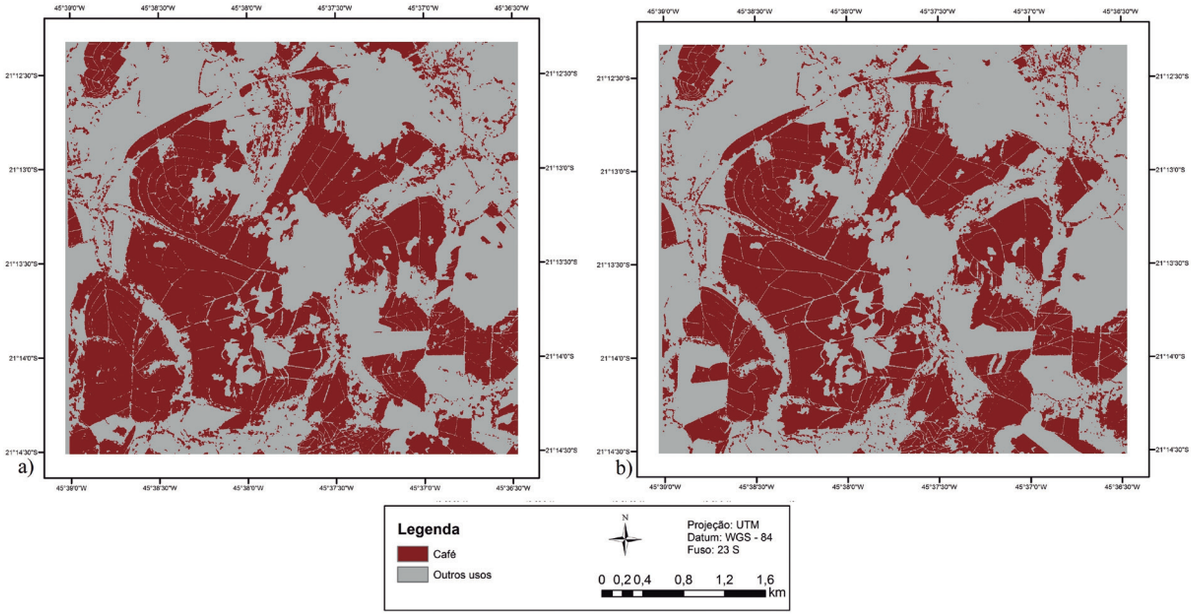


FIGURA 4 - Em a) Mapa da análise de imagem orientada a objetos utilizando o algoritmo KNN e em b) Mapa da análise de imagem orientada a objetos utilizando o algoritmo SVM.

TABELA 1- Quantificação das áreas com café e de outros usos no mapa de referência e nas classificações utilizando os algoritmos KNN e SVM

Classes	Mapa de Referência		Classificação KNN		Classificação SVM	
	ha	%	ha	%	ha	%
Café	578,73	32,35	782,04	43,72	738,37	41,28
Outros usos	1209,84	67,64	1006,53	56,28	1050,20	58,72
Total	1788,57	100,00	1788,57	100,00	1788,57	100,00

TABELA 2 - Matriz de Confusão (%) dos classificadores KNN e SVM.

Dados da Classificação	Dados de referência KNN			Dados de referência SVM		
	Café	Outros usos	Total	Café	Outros usos	Total
Café	90,78	6,95	80,02	89,47	1,29	78,15
Outros usos	9,22	93,05	19,98	10,53	98,71	21,85
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Por outro lado, o algoritmo SVM apresentou confusão de "outros usos" com a classe "café" em apenas 1,29% e "café" como "outros usos" em 10,53% de toda área classificada, ou seja, a classe "café" apresentou maior confusão com "outros usos" do que "outros usos" com "café".

A Tabela 3 apresenta os dados da acurácia do usuário e do produtor dos algoritmos da classificação orientada a objeto. Para o algoritmo KNN, é possível observar que 59,78% da classe "outros usos" e 98,89% da classe "café" representaram a mesma categoria do campo. A acurácia do produtor indicou que as classes "outros usos" e "café" tiveram respectivamente 93,05 e 90,78% de acerto com os dados de referência. O algoritmo SVM apresentou resultados semelhantes ao KNN, sendo um pouco superior para o café na acurácia do usuário e um pouco inferior na acurácia do produtor. Para outros usos, 98,71% da área apresentaram a mesma categoria em campo. Resultados semelhantes, em café, foram encontrados por Faria et al. (2012) utilizando o satélite SPOT, que apresenta uma alta resolução espacial.

O algoritmo KNN vem sendo difundido nos últimos anos para uso e ocupação do solo devido á sua simplicidade e seu desempenho (CAMPOS et al., 2013), e vem sendo utilizado tanto em imagens de média resolução (BUDRESKI et al., 2007; CAMPOS et al., 2013; FERNANDES; NUNES; SILVA, 2012) ,quanto em alta resolução (YU et al., 2006), obtendo valores razoáveis de classificação, mas descrevendo com acurácia a dinâmica do uso e ocupação do solo (BUDRESKI et al., 2007; CAMPOS et al., 2013). Nesse caso, observou-se que, embora as classificações tenham apresentado valores muito próximos, o KNN apresentou resultados ligeiramente superiores.

O algoritmo SVM é um classificador binário padrão, portanto sua habilidade é conhecida por ser eficiente em classificar duas classes (MOUNTRAKIS; IM; OGOLE, 2011). Embora o índice Kappa da classificação SVM tenha sido igual ao da classificação KNN, e a exatidão global um pouco inferior, foi possível observar índices altos e significativos de acurácia (tanto do produtor quanto do usuário), indicando essa habilidade binária de classificação. Resultados semelhantes foram encontrados por Noma, Korting e Fonseca (2013), que utilizaram algoritmos classificadores na identificação de apenas duas classes: agricultura e não-agricultura. Na classificação de áreas de café, o algoritmo SVM também foi utilizado por Bispo (2013), em imagens do sensor MODIS. O autor obteve 45,75% de acurácia do usuário e 39,19% de acurácia do produtor para a classe café, 65% de exatidão global e 0,32 de índice kappa, considerada razoável. Na classificação do presente trabalho, os índices estatísticos foram superiores quando comparados aos de Bispo (2013) e isso se deve tanto ao fato da classificação ter sido precedida de segmentação, quanto à resolução espacial do Quickbird, que é maior quando comparada à do satélite MODIS. Assim, os resultados sugerem que a resolução espacial mais refinada, associada à técnica de segmentação, aparenta ser um fator preponderante na obtenção de mapeamentos mais acurados de café. Mesmo com a superestimativa de áreas de café por ambos os algoritmos, as técnicas se apresentaram promissoras, onde Marujo et al. (2013) recomenda o uso da classificação orientada a objeto, utilizando imagens de alta resolução espacial em cultivos cafeeiros.

TABELA 3 - Acurácia do usuário e acurácia do produtor dos classificadores KNN e SVM.

	KNN		SVM	
Classe	Acurácia do Usuário	Acurácia do Produtor	Acurácia do Usuário	Acurácia do Produtor
Café	98,89 %	90,78 %	99,79 %	89,47 %
Outros usos	59,78 %	93,05 %	58 %	98,71 %

3.2 Classificação pixel a pixel utilizando o algoritmo *Maximum likelihood* (Maxver)

A Figura 5 apresenta o mapa resultado da classificação utilizando o algoritmo Maxver, e na Tabela 4 se encontra descrita a quantificação do mapa de referência e da classificação utilizando o algoritmo Maxver.

Assim como os demais algoritmos, é possível observar que a classificação Maxver também apresentou uma superestimativa da classe "café", com relação ao dado de referência. A classificação identificou 50,04% de café na área de estudo enquanto o mapa de referência identificou 32,35%, totalizando 316,17 ha a mais de café. Esse valor foi superior quando comparados aos algoritmos KNN e SVM. A Tabela 5 apresenta os resultados da matriz de confusão e os valores de acurácia do usuário e acurácia do produtor, respectivamente.

Na análise da matriz de confusão, observou-se que a classe "café" foi classificada como "outros usos" em 5,09% e, "outros usos" foram classificados como "café" em 7,43%. Em comparação com as matrizes de confusão dos algoritmos da classificação orientada a objeto, os resultados obtidos pelo classificador Maxver foram melhores. O classificador Maxver obteve 94,91% de conferência entre os dados de referência e os dados classificados para a classe café, enquanto os algoritmos KNN e SVM obtiveram 90,78% e 89,47%, respectivamente. Esses resultados sugerem que, para a cultura do café, nessa época do ano, as informações referentes ao pixel parecem ser mais importantes do que a somatória das demais informações utilizadas pelos algoritmos KNN e SVM.

Analisando-se a acurácia do usuário (Tabela 5) é observado que 98,86% da classe café representaram a mesma categoria em campo. Na acurácia do produtor, a probabilidade da classe "café" ter sido classificada de acordo com os dados de referência foi de 94,91%. Os resultados encontrados na classificação Maxver são superiores quando comparados aos trabalhos de Machado et al. (2010), Marujo et al. (2013) e Tardin, Assunção e Soares (1992), que classificaram café com satélites de média resolução espacial. Foi possível constatar, também, que a acurácia da classificação melhorou no trabalho de Martínez-Verduzco, Galeana-Pizaña e Cruz-Bello (2011), que classificaram café utilizando o satélite SPOT (que tem uma resolução espacial mais refinada). Assim, verifica-se que a resolução espacial parece ter um peso significativo no mapeamento e classificação do café.

Os principais resultados obtidos a partir dos classificadores são sumarizados na Tabela 6 ,onde observa-se que a classificação por Maximum likelihood apresenta resultados superiores quando comparados aos demais. Aparentemente, os atributos espectrais considerados na classificação pixel a pixel parecem ser determinantes em imagens de alta resolução para classificação do café. Resultados semelhantes foram encontrados por Duro, Franklin e Dubé (2012), que comparam o resultado das classificações pixel a pixel com orientada a objetos em uma área agrícola, e constataram que as classificações pixel a pixel, utilizando menos classes de uso, produzem resultados semelhantes à classificações orientadas a objetos.

Com base nas análises de imagem orientada a objetos e na classificação pixel a pixel, resultantes da utilização da imagem de alta resolução espacial QUICKBIRD, foi constatado que é possível obter resultados satisfatórios na discriminação da classe 'café' de 'outros usos', utilizando os métodos aqui propostos. Ressalta-se que a classificação pixel a pixel, utilizando o algoritmo Maximum likelihood, além de ser menos trabalhosa e mais rápida com relação à análise de imagem orientada a objeto, produziu resultados superiores, sugerindo que, para a classificação da cultura do café em imagens de alta resolução, considerar apenas as informações espectrais é uma boa técnica. Além disso, verificou-se que todas as classificações superestimaram a área da classe café, confundindo com os usos como mata e pastagem.

A utilização da imagem de alta resolução espacial teve importância significativa na obtenção de resultados superiores, em comparação com trabalhos que utilizaram imagens de resolução espacial inferior.

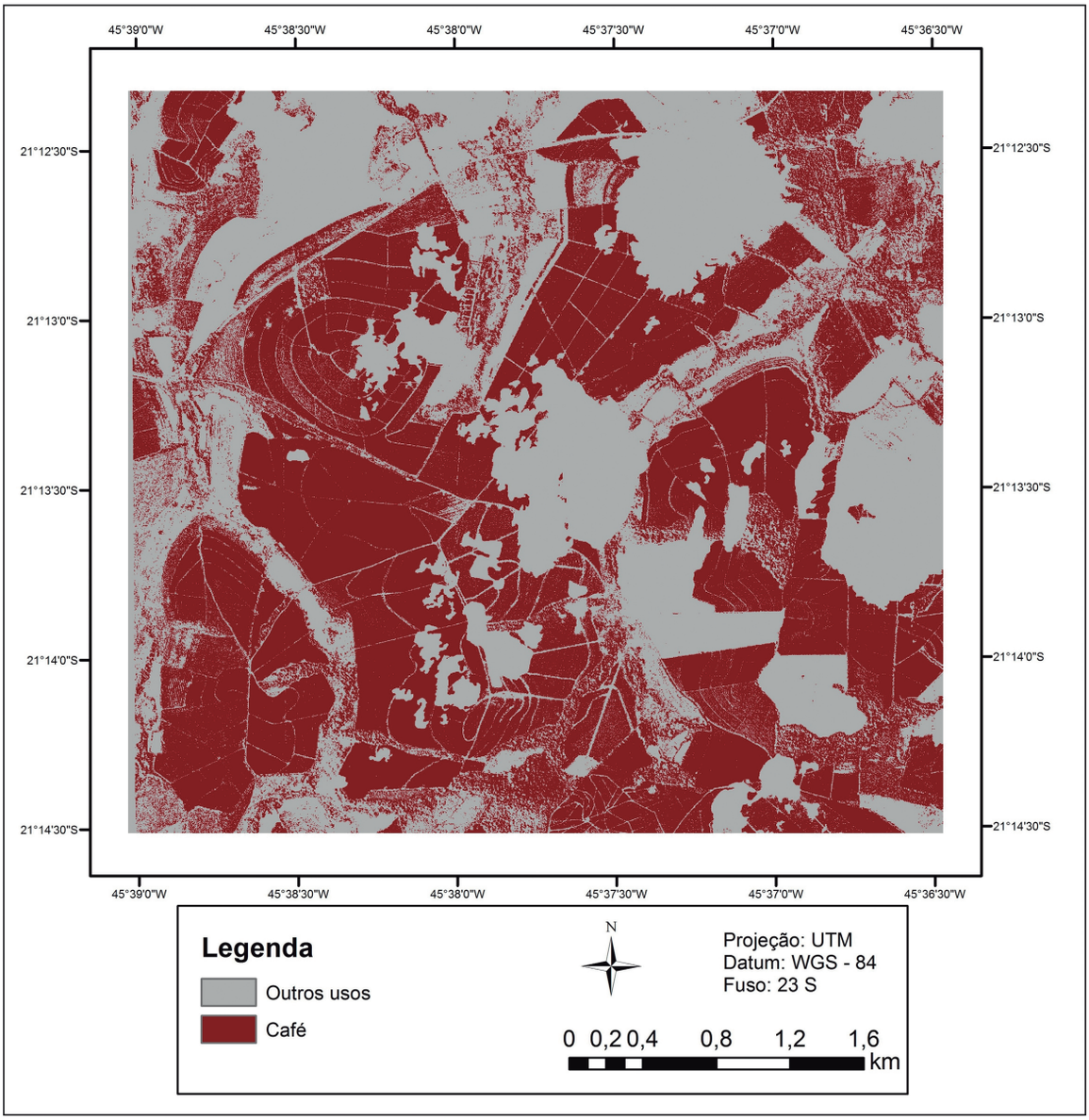


FIGURA 5 - Mapa classificação pixel a pixel utilizando o algoritmo Maxver.

TABELA 4 - Quantificação do mapa de referência e da classificação pelo algoritmo Maxver.

Classes	Mapa de referência		Classificação Maxver	
	ha	%	Ha	%
Café	578,73	32,35	894,9	50,04
Outros usos	1209,84	67,64	893,6	49,96
Total	1788,57	100	1788,57	100

TABELA 5 - Matriz de confusão (%) e acurácia do usuário e do Produtor para a classificação por Maxver.

Matriz de Confusão				Acurácia	
Dados da Classificação	Dados de referência		Total	Usuário	Produtor
Classes	Café	Outros usos			
Café	94,91%	7,43 %	83,68	98,86 %	94,91 %
Outros usos	5,09 %	92,57 %	16,32	72,83 %	92,57 %
Total	100,00 %	100,00 %	100,00		

TABELA 6 - Valores de índice kappa e exatidão global para cada método de classificação analisado.

Classificações	Kappa	Exatidão Global
K Nearest Neighbor (KNN)	0,67	91,07%
Support vector machine (SVM)	0,67	90,65%
Maximum likelihood (Maxver)	0,78	94,61%

4 CONCLUSÕES

O uso do algoritmo classificador Maxver apresentou maior potencial para discriminação de áreas cafeeiras em imagem de alta resolução espacial. Recomenda-se o uso desse algoritmo de análise de imagem pixel a pixel, quando forem considerados dois tipos de uso da terra, café e não café.

5 REFERÊNCIAS

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J.; SEIJMONSBERGEN, A. C.; DUIVENVOORDEN, J. F. Optimizing land cover classification accuracy for change detection, a combined pixel-based and object-based approach in a mountainous area in Mexico. **Applied Geography**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 29-37, 2012.

ANDRADE, L. N. de et al. Aplicação de redes neurais artificiais na classificação de áreas cafeeiras em Machado, MG. **Coffee Science,** Lavras, v. 8, n. 1, p. 78-90, mar. 2013.

ARAUJO, T. P.; MELLO, F. M. Processamento de imagens digitais: razão entre bandas. **Geociências,** São Paulo, v. 1, p. 121-131, 2010.

BAUSCH, W. C.; HALVORSON, A. D.; CIPRA, J. Quickbird satellite and ground-based multispectral data correlations with agronomic parameters of irrigated maize grown in small plots. **Biosystems Engineering**, New York, v. 101, n. 1, p. 306-315, 2008.

BERNARDES, T. et al. Diagnóstico físico-ambiental da cafeicultura no estado de Minas Gerais, Brasil. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 139-151, ago. 2012.

BISPO, R. C. **Utilização de dados do sensor modis no monitoramento e mapeamento da cultura de café.** 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 2-16, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informe estatístico do café, julho de 2013.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/vegetal/Estatistica/Caf%C3%A9/Informe%20Caf%25E9%20-%20Julho-2013.xls>. Acesso em: 7 set. 2013.

BUDRESKI, K. A. et al. Comparison of segment and pixel-based non-parametric land cover classification in the Brazilian Amazon using multitemporal landsat TM/ETM imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,** Bethesda, v. 73, n. 7, p. 813-827, July 2007.

CAMPOS, A. R. et al. Classificação orientada à objeto para mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Rio Acima, MG: por crescimento de regiões e por extração de objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 8035-8042.

COLTRI, P. P. et al. Classificação de áreas de café em Minas Gerais por meio do novo algoritmo QMAS em imagem espectral Geoeye-1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 539-546.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da safra agrícola cafeeira 2013, segunda estimativa, maio/2013**. Brasília, 2013. 20 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_05_14_09_35_12_boletim_cafe_maio_2013.pdf>. Acesso em: 8 set. 2013.

CORDERO-SANCHO, S.; SADER, S. A. Spectral analysis and classification accuracy of coffee crops using Landsat and a topographic-environmental model. **International Journal of Remote Sensing,** Orono, v. 28, n. 7, p. 1577-1593, Apr. 2007.

DURO, D. C.; FRANKLIN, S. E.; DUBÉ, M. G. A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. **Remote Sensing of Environment,** Ottawa, v. 118, n. 1, p. 259-272, Jan. 2012.

FARIA, F. A. et al. Automatic fusion of region-based classifiers for coffee crop recognition. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SOCIETY, 30., 2010, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: IGARSS, 2012. p. 1-4.

FERNANDES, R. F.; NUNES, G. M.; SILVA, T. S. F. Classificação orientada a objetos aplicada na caracterização da cobertura da terra no Araguiaia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1251-1260, set. 2012.

FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A.; MORAIS, A. R. de. Exatidão na classificação de fragmentos de matas em imagem do satélite Cbers-CCD, no município de Lavras, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 887-894.

FUKUNAGA, K.; NARENDRA, P. M. A branch and bound algorithms for computing k-nearest neighbors. **IEEE Transactions on Computers**, New York, v. 24, n. 7, p. 750-753, 1975.

HUANG, C.; DAVIS, L. S.; TOWNSHEND, J. R. G. An assessment of support vector machines for land cover classification. **International Journal of Remote Sensing**, Maryland, v. 23, n. 4, p. 725-749, 2002.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1996. 51 p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

MACHADO, M. L. et al. Mapeamento de áreas cafeeiras (*Coffea arabica* L.) da Zona da Mata mineira usando sensoriamento remoto. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 113-122, maio 2010.

MARTÍNEZ-VERDUZCO, G. C.; GALEANA-PIZAÑA, J. M.; CRUZ-BELLO, G. M. Coupling community mapping and supervised classification to discriminate Shade coffee from Natural vegetation. **Applied Geography**, Oxford, v. 34, p. 1-9, 2012.

MARUJO, R. F. B. et al. Classificação orientada à objetos aplicada à cultivos cafeeiros em Três Pontas, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1338-1345.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 223-231, mar. 2004.

MOREIRA, M. A. et al. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1123-1135, dez. 2010.

MOREIRA, M. A. et al. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 27-37, dez. 2007.

MOUNTRAKIS, G.; IM, J.; OGOLE, C. Support vector machines in remote sensing: a review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, New York, v. 66, n. 3, p. 247-259, Dec. 2010.

MOURA, L. C. et al. Levantamento e mapeamento espaço: temporal dos cafezais no município mineiro de Machado. **Caminhos de Geografia,** Uberlândia, v. 10, n. 31, p. 124-134, set. 2009.

NASCIMENTO, C. R.; ZULLO JÚNIOR, J. Impacto da correção atmosférica de imagens AVHRR/NOAA-17 no cálculo do índice de vegetação NDVI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** Recife, v. 5, n. 2, p. 256-264, fev. 2010.

NOMA, A.; KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G. Integração de dados orbitais de sensoriamento remoto para estimar áreas da floresta Ombrófila densa do Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 2250-2257.

ORTEGA-HUERTA, M. A. et al. Mapping coffee plantations with Landsat imagery: an example from El Salvador. **International Journal of Remote Sensing,** La Libertad, v. 33, n. 1, p. 220-242, Jan. 2012.

RAMIREZ, G. M.; ZULLO JÚNIOR, J. Estimativa de parâmetros biofísicos de plantios de café a partir de imagens orbitais de alta resolução espacial. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 468-479, jun. 2010.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings…** Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SILVA, F. M.; ALVES, M. C. **Cafeicultura de precisão**. Lavras: UFLA, 2013. 227 p.

SOUZA, V. C. O. et al. Espacialização e dinâmica da cafeicultura mineira entre 1990 e 2008, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 122-134, maio/ago. 2012.

TARDIN, A. T.; ASSUNÇÃO, G. V.; SOARES, J. V. Análise preliminar de imagens TM visando a discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1355-1361, set. 1992.

TRABAQUINI, K. et al. Caracterização de lavouras cafeeiras, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no município de Umuarama, PR. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 35, n. 1, p. 35-44, fev. 2011.

VIEIRA, T. G. C. et al. Geothecnologies in the assessment of land use changes in coffee regions of the state of Minas Gerais in Brasil. **Coffee Science,** Lavras, v. 2, n. 2, p. 142-149, Dec. 2007.

VINCENT, L.; SOILLE, P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Paris, v. 13, n. 6, p. 583-598, June 1991.

XU, Y. et al. Coarse to fine K nearest neighbor classifier. **Pattern Recognition Letters,** North-Holland, v. 34, p. 980-986, Feb. 2013.

YAN, G. et al. Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches-a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 27, n. 18, p. 4039-4055, Mar. 2006.

YU, Q. et al. Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,** Berkeley, v. 72, n. 7, p. 799-811, July 2006.

ZULLO JÚNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações.** 1994. 204 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

ZULLO JÚNIOR, J. et al. Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. **Climatic Change**, Wageningen, v. 109, p. 535-548, 2011.

NOTA PRÉVIA

PRIMEIRO RELATO DO *COFFEE RINGSPOT VIRUS* (CORSV) NO OESTE DA BAHIA

João Eduardo Melo de Almeida[1], Antonia dos Reis Figueira[2]

(Recebido: 19 de julho de 2013; aceito: 9 de abril de 2014)

RESUMO: A mancha-anular do cafeeiro, cujo agente etiológico é o *Coffee ringspot virus* (CoRSV), é uma doença que vem causando danos em lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Os danos vão desde a desfolha acentuada, queda precoce de frutos e perda da qualidade. Neste trabalho foi realizado um estudo visando identificar a mancha-anular em fazendas de café no Oeste da Bahia, Brasil. Nos Municípios de Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, situados no Oeste da Bahia, Brasil, foram observadas incidências de até 45,6% de plantas de café com sintomas de mancha-anular. Inoculação mecânica do material infectado em plantas indicadoras de vírus, *Chenopodium quinoa*, *Amaranthus deflexus* e *Chenopodium ambrosioides*, induziram sintomas típicos, confirmando a infecção pelo *Coffee ringspot virus* (CoRSV). Esse é o primeiro relato do CoRSV no Oeste da Bahia, indicando que esse vírus, provavelmente, está presente em todas as lavouras cafeeiras da região, estabelecidas em locais com temperaturas mais elevadas, pois são consideradas ideais para a multiplicação viral.

Termos para Indexação: Rhabdovirus, *Brevipalpus phoenicis*, ácaro, café, vírus.

FIRST RECORD OF *COFFEE RINGSPOT VIRUS* (CORSV) IN WESTERN BAHIA

ABSTRACT: The coffee ringspot, whose etiologic agent is the Coffee ringspot virus (CoRSV), is a disease that has been causing damage in defoliation in coffee plantations in the states of Minas Gerais and São Paulo. The damage ranging from the defoliation accentuated, premature fall of fruits and loss of quality. This work was carried out a study to identify the stain-override in coffee farms in Western Bahia, Brazil. In Luís Eduardo Magalhães and São Desiderio counties, located in Western Bahia - Brazil, were observed incidences up to 45,6% of coffee plants with ringspot symptoms.
Mechanical inoculation of infected material in indicator plants for viruses, Chenopodium ambrosioides, Amaranthus deflexus and Chenopodium quinoa induced typical symptoms confirming the infection by Coffee ringspot virus (CoRSV). This is the first record of CoRSV in Western Bahia, indicating that this virus probably is present in all coffee plantations of the region, established in places with higher temperatures, since this is a factor considered ideal for viral multiplication.

Indexing terms: Rhabdovirus, *Brevipalpus phoenicis*, mite, *coffee, virus*.

Apesar do Brasil ser o maior produtor de café do mundo, nem sempre a qualidade dos grãos é satisfatória, pois diversos fatores como condições ambientais, manejo nutricional e a ocorrência de pragas e doenças bacterianas e fúngicas podem contribuir para a sua depreciação (BATISTA et al., 2003; SILVA et al., 2005; SILVA; FARNEZI; ANDRADE, 2013).

Outro patógeno que, além de ocasionar perdas, tem sido associado à depreciação da qualidade da bebida do café é o *Coffee ringspot virus* (BOARI et al., 2006; REIS; CHAGAS, 2001), transmitido pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis* Geijskes, 1939 (Acari:Tenuipalpidae). Os sintomas foliares de infecção pelo CoRSV se caracterizam por manchas cloróticas, com halo verde escuro, muitas vezes circulares, podendo ser confundidos com a ferrugem causada pela *Hemileia vastatrix*, ou manchas alongadas, ao redor das nervuras, aparecendo frequentemente na nervura central, na base da folha, e se desenvolvendo em direção ao pecíolo, um pouco antes da queda da folha. Folhas de cafeeiro com ferrugem sempre apresentam sinal de esporulação do fungo, e nas folhas com sintomas da mancha-anular esse sinal não é percebido (BOARI, 2011).

Segundo Boari (2011), a mancha anular já foi encontrada além do Brasil, na Costa Rica e possivelmente nas Filipinas. No Brasil, pesquisas comprovam que a doença já foi relatada nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná. A partir de 1995, essa doença começou a aparecer em altas incidências, principalmente, nas regiões de Cerrado (FIGUEIRA, 2008; REIS et al., 2008). Essa mudança no comportamento da mancha-anular poderia estar relacionada tanto a uma alteração no equilíbrio ecológico, favorecendo o aumento da população do ácaro vetor, *B. phoenicis*, quanto a uma possível adaptabilidade do CoRSV, possibilitada por uma mutação favorável em seu genoma. Entretanto, mesmo conhecendo-se a etiologia viral da mancha-anular do cafeeiro no

[1]Quadra 605 Sul - Alameda 16 - Lote 27 - QI 08 - Plano Diretor Sul - 77016-456 - Palmas -TO - joaomeloalmeida@gmail.com
[2]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatopatologia/DFP - Cx. P. 3037 37.2000-000 Lavras - MG antonia@dfp.ufla.br

Brasil, frequentemente os seus sintomas têm sido atribuídos aos efeitos da infestação da planta pelo ácaro vetor, *B. phoenicis*, ou confundidos com os causados por outras doenças fúngicas, de modo que essa doença tem passado despercebida no campo e a sua real distribuição e ocorrência nos campos brasileiros de produção de café não são bem conhecidas. Neste trabalho, foi feito o primeiro relato da ocorrência da mancha-anular em lavouras de café, situadas na região Oeste do estado da Bahia.

No mês de dezembro de 2012, foram inspecionadas três lavouras comerciais de café (*Coffea arabica* L.) no Oeste da Bahia, sendo duas delas no município de Luís Eduardo Magalhães: a) na Fazenda Joá, com 900 ha, foram analisados três talhões (02, 03 e 04), com cerca de 100 ha cada, da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, com 2 a 5 m de distância entre eles. Os cafeeiros dos talhões 02 e 04 foram recepados em 2009 e 2008 respectivamente, e os do talhão 03 não foram recepados. Na safra de 2011/2012, a adubação nas lavouras 02 e 04 foram de 200 kg de N, 50 kg de P e 180 kg de K. No talhão 03, a adubação foi de 500 kg de N, 200 kg de P e 400 kg de K; b) na Fazenda Agronol, com 1.300 há foram analisados dois talhões (09 e 17), com 50 ha cada, cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, distantes 1.000 m entre si. Os cafeeiros do talhão 09 foram recepados em 2008 e os do 17, em 2010. Na safra de 2011/2012, a adubação nos talhões 09 e 17 foi de 200 kg de N, 60 kg de P e 180 kg de K.

A terceira lavoura, localizada no município de São Desidério, foi a Fazenda do Grupo Uemura, com 100 ha, onde foram avaliados três talhões: talhão 01 e 02, com 25 ha cada, plantados com cafeeiros da cultivar Sachimor e Catuaí Vermelho IAC 144, respectivamente, recepados em 2008 e talhão 03 com 25 ha, plantado com cafeeiros da cultivar Icatu, não recepados. A adubação em 2011-2012 foi de 400 kg de N, 200 kg de P e 450 kg de K, nos três talhões.

A avaliação da incidência da mancha-anular nas lavouras foi feita por caminhamento em zigue-zague, selecionando-se 300 plantas, e fazendo-se o registro da presença ou ausência de sintomas. Amostras de folhas infectadas foram coletadas e diagnosticadas no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, por inoculação mecânica nas plantas indicadoras de vírus *Chenopodium ambrosioides* L., *Chenopodium quinoa* wild. e *Amaranthus deflexus* L., da família Amaranthaceae.

Durante a inspeção visual, características da mancha-anular do cafeeiro como manchas cloróticas, com halos esverdeados, às vezes com necrose no centro, principalmente nas folhas mais velhas, desenvolvidas no ano anterior (Figura 1 A, D, E e F), foram observadas em todas as lavouras, com exceção da Fazenda Agronol, onde a mancha-anular não foi encontrada. Nas folhas mais velhas, caídas no solo, a intensidade dos sintomas foi bem mais acentuada, sendo a expressão dos halos esverdeados bem mais intensos (Figura 1 E e F). Além da presença de sintomas nas folhas, foi observada, em todo o talhão 03, uma intensa desfolha de dentro para fora das plantas, ficando as plantas com o centro da copa oco e um baixo pegamento de frutos (Figura 1 B). Os sintomas observados nos frutos foram pequenas manchas verde-claras, deprimidas, porém em menor quantidade, quando comparadas com as das folhas. Observou-se ainda que os sintomas foram prevalentes na parte da planta voltada para o sol. Provavelmente, os sintomas mais acentuados nesses locais se devem à maior facilidade de multiplicação do CoRSV e também pelas maiores populações do ácaro *B. phoenicis*.

Nos ramos de algumas plantas na Fazenda Joá foi observada a presença de manchas elípticas, sempre acompanhadas de necrose (Figura 1 C e G). Boari et al. (2001) relataram a presença de partículas de CoRSV em manchas de ramos de cafeeiros infectados, observadas por meio de microscopia eletrônica de transmissão. Na Fazenda Joá foram identificadas plantas com sintomas nos talhões 03 e 04, com incidências de 45,6% e 6,6%, respectivamente. No talhão 02, a mancha-anular não foi detectada. Na Fazenda Uemura, a mancha-anular foi detectada apenas no talhão 03, com uma incidência de 8%.

Os sintomas observados nas plantas indicadoras, inoculadas com o extrato das folhas de café com mancha-anular, podem ser vistos na Figura 2. A presença de lesões locais cloróticas mais infecção sistêmica em *C. quinoa* (Figura 2 A) e de lesões locais necróticas nas plantas de *A. deflexus* e de *C. ambrosioides* (Figura 2 B, C e D), confirmaram que a mancha-anular, observada nas plantas de café, realmente estava associada à infecção pelo CoRSV.

Apesar da doença mancha-anular do cafeeiro já ter sido relatada em Minas Gerais e São Paulo, esse é o primeiro relato da sua ocorrência no Oeste da Bahia. Isso demonstra que o CoRSV tem grande facilidade de disseminação pelo seu vetor, e pode estar presente em todas as lavouras produtoras, onde a temperatura é adequada à multiplicação viral.

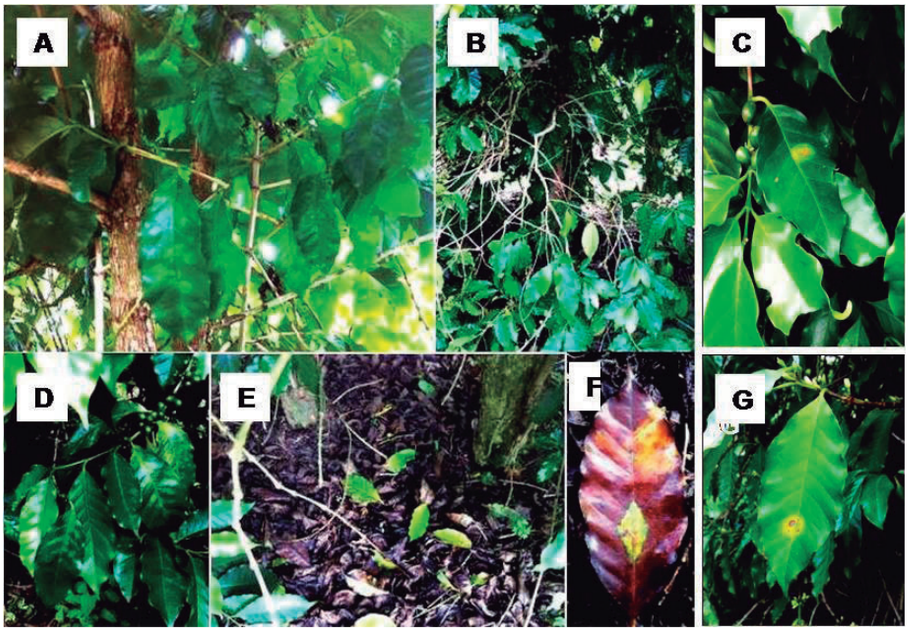


FIGURA 1 - Plantas de café (Coffea arabica), de lavoura situada na Fazenda Joá, Luís Eduardo Magalhães – BA. A: Planta com alta incidência de folhas mostrando sintomas da mancha-anular do cafeeiro, causada pelo CoRSV; B: Planta mostrando desfolha intensa causada pela virose (planta oca). C e G: Folhas com lesões com necrose; D: Sintomas do CoRSV nas folhas crescidas no ano anterior; E: Solo sob a planta de café mostrando traços de desfolha intensa, com folhas secas e recém-caídas com sintomas; F: Detalhe da folha com sintoma da virose.

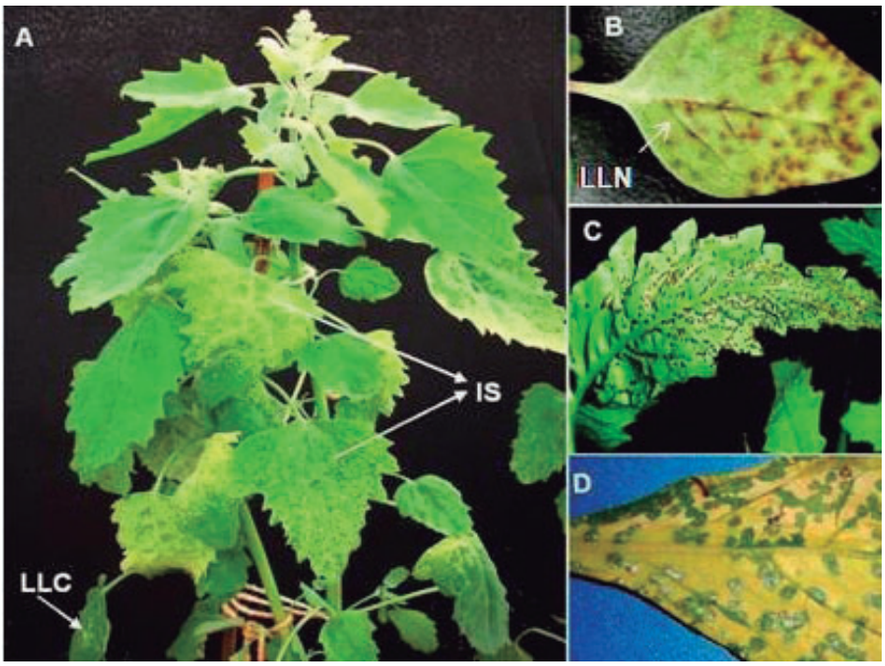


FIGURA 2 - Sintomas apresentados pelas plantas indicadoras inoculadas com o extrato de folhas de café com mancha-anular, coletadas no Oeste da Bahia. A: plantas de Chenopodium quinoa com lesões locais cloróticas (LLC) e infecção sistêmica (IS); B: folha de Amaranthus deflexus com lesões locais necróticas (LLN); C e D: folhas de Chenopodium ambrosioides mostrando LLN no início do ciclo (C) e manchas circulares verdes, brilhantes, no final do ciclo e início da senescência (D).

Experimentos em condições de temperatura controlada têm demonstrado que temperaturas mais elevadas, em torno de 28ºC, favorecem a multiplicação e infecção sistêmica de plantas de *C. quinoa,* pelo CoRSV. Da mesma forma, a multiplicação desse vírus em cafeeiros também deve ser favorecida por temperaturas mais altas, pois em todas as inspeções realizadas em regiões mais frias do estado de Minas Gerais, como Poços de Caldas, a mancha-anular foi encontrada em uma menor intensidade, quando comparado com as regiões do cerrado mineiro e a alta mogiana paulista (FIGUEIRA, 2008).

Outro fato observado nas fazendas Joá e Uemura foi que a doença não estava presente nos cafeeiros de todos os talhões inspecionados. Na Fazenda Joá, os talhões 02 e 04 eram muito próximos, da mesma idade, mesma cultivar, mesmo espaçamento e adubação no último ano agrícola de 2011/2012. Entretanto, a incidência nos cafeeiros do talhão 04 foi de 6,6 % enquanto que foi nula nos do talhão 02. A única diferença entre os dois talhões foi a época da recepa das plantas de café, uma vez que as do talhão 04 foram recepadas em 2008 e as do talhão 02, que estavam livres da doença, foram recepadas em 2009. Possivelmente, com a eliminação das folhas infectadas dos cafeeiros do talhão 02 em 2009, o inóculo deve ter sido reduzido.

Em citros (*Citrus* spp.), a prática de poda é recomendada como medida de controle da leprose, visando à redução do inóculo (ANDRADE et al., 2013), já que não se trata de um vírus sistêmico. Assim sendo, provavelmente, o manejo de poda no cafeeiro também poderia auxiliar no controle da mancha-anular, reduzindo o inóculo presente. Almeida et al. (2012) verificaram que o progresso da mancha-anular do cafeeiro é dependente não apenas da população do ácaro vetor, mas também da quantidade de inóculo presente nas lavouras.

O aparecimento da mancha-anular no Oeste da Bahia, que é bem distante das lavouras localizadas no Sudeste do País, onde o CoRSV tem sido normalmente encontrado em altas incidências, ressalta a importância de se tratar essa doença com a atenção que ela merece, investindo no desenvolvimento de medidas preventivas de controle, como por exemplo a utilização de acaricidas com diferentes princípios ativos, o manejo da nutrição e poda.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, coordenado pela Embrapa Café, ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo apoio.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. E. M. et al. Análise temporal e controle da mancha-anular e do ácaro vetor do *Coffee ringspot virus*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, p. 913-919, 2012.

ANDRADE, D. J. et al. The influence of citrus rootstocks on the relationship between the mite *Brevipalpus phoenicis* and citrus leprosis disease. **Pest Management Science**, New York, v. 69, p. 81-87, 2013.

BATISTA, L. R. et al. Toxigenic fungi associated with processed (green) coffee beans (*Coffea arabica* L.). **International Journal Food Microbiology**, Amsterdam, v. 85, p. 293-300, 2003.

BOARI, A. J. **Mancha anular do cafeeiro (*Coffee ringspot virus* - CoRSV)**. Belém: EMBRAPA Amazônica Oriental, 2011. 43 p.

BOARI, A. J. et al. Coffee ringspot virus (CoRSV): influence on the beverage quality and yield of coffee beans. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32, p. 192-194, 2006.

FIGUEIRA, A. R. A mancha anelar do cafeeiro causada pelo *Coffee ringspot vírus* (CoRSV) em Minas Gerais. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Manejo fitossanitário da cultura do cafeeiro**. Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2008. p. 127-139.

REIS, P. R.; CHAGAS, S. J. R. Relationship between the false spider mite and the ringspot virus attack with coffee quality indicators. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, p. 72-76, 2001.

REIS, P. R. et al. Manejo de ácaros em cafeeiro. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Manejo fitossanitário da cultura do cafeeiro**. Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2008. p. 173-184.

SILVA, E. A. et al. The influence of water management and environmental conditions on the chemical composition and beverage quality of coffee beans. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campinas, v. 17, p. 229-238, 2005.

SILVA, E. B.; FARNEZI, M. M. M.; ANDRADE, N. DRIS norms and critical nutrients: ranges for coffee beverage quality in high Jequitinhonha Valley, Brazil. **EJBS**, Peshawar, v. 6, p. 39-44, 2013.

ISSN 1809-6875