ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Volume 11 , Número 3, 2016

QUANTIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS E DERIVA DE PULVERIZAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES PONTAS EM PULVERIZADOR COSTAL NO CAFEEIRO

Gustavo Rabelo Botrel Miranda[1], Marcos dos Reis Silva[2], Alberto Donizete Alves[3], Eugênio José Gonçalves[4]

(Recebido: 01 de julho de 2015; aceito: 03 de fevereiro de 2016)

RESUMO A eficiência da aplicação foliar de determinados produtos sobre o cafeeiro, depende, na maioria das vezes, da cobertura da superfície foliar com o produto aplicado em forma de pulverização. Neste estudo, objetivou-se quantificar o depósito do líquido aplicado sobre as folhas do cafeeiro e a deriva ocorrida, quando aplicado através de um pulverizador costal, munido de bicos cônicos com diferentes pontas de pulverização. O delineamento utilizado para ambos os experimentos foi o de blocos ao acaso (DBC), com cinco tratamentos: (JD-10 "chapinha" - UTC, J4-2, J5-2, J6-2 e JA-2), com quatro repetições e parcelas úteis com 6 plantas, sendo que, para a quantificação da deriva, utilizou-se esquema de parcelas subdivididas no espaço. A pulverização foi direcionada ao topo da planta do café em fase de formação (1 ano), localizada no município de Monte Santo de Minas/MG. Para avaliar quantitativamente os depósitos foi utilizada uma solução composta pelo corante alimentício azul brilhante (FD&C nº 1) a 0,15% (p/v). Em seguida, para verificar os depósitos de pulverização em folhas, coletaram-se 5 folhas do terço médio do cafeeiro para formar uma parcela e, para quantificação de deriva da pulverização foram colocadas placas de Petri distribuídas ao longo da parcela pulverizada nos seguintes pontos: a primeira placa no centro da planta, a segunda placa na projeção da barra do cafeeiro e a terceira placa a 0,40 m da projeção da barra do cafeeiro. Os resultados obtidos permitem concluir que a ponta J4-2 proporcionou maior acúmulo de depósitos de pulverização, em folhas de cafeeiro e menores perdas por deriva de pulverização, para as condições deste trabalho.

Termos para indexação: Eficiência de pontas de bicos cônicos, impacto ambiental, exoderiva, café.

EVALUATION THE DRIFT USING TIPS OF PULVERIZATION WITH BACKPACK MANUAL SPRAYER IN COFFEE TREE

ABSTRACT:*The efficiency of foliar application of certain products on the coffee depends on the majority of cases, the coverage of the leaf surface with the product applied in spray form. This study aimed to quantify the deposit of liquid applied on coffee leaves and stems occurred when applied using a backpack sprayer, equipped with conical nozzles with different spray nozzle. The experimental design was the randomized block design (DBC) in a split-plot for the evaluation of drift, with five treatments (JD-10 known as "flat iron"; J4-2; J5-2; J6-2 and JA-2) with four replicates in both designs. To quantitatively evaluate the spray coverage the drift, was prepared a solution composed of the tracer brilliant blue food coloring coloring (FD & C Nº. 1) 0,15% (p /v) and sprayed over the coffee tree. To assess the amount of drift was used Petri dishes, which were distributed in the following points: the first plaque in the center of the plant the second plaque in the projection of the coffee tree and the third plate of 0.40 m projection of the coffee bar. The results showed that the tips JD-10, J4-2 and JA-2 were the ones that showed the best results providing lower losses during spraying.*

Index terms: *Efficiency tapered nozzle tips, environmental impact, exo drift, coffee.*

1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro exerce uma importante função social em países produtores, no âmbito da geração de emprego e renda. No entanto, a redução histórica do preço do café ocorrida nos últimos anos tem deixado os pesquisadores, os produtores e o governo dos países produtores de café, como Brasil, Colômbia, Vietnã, dentre outros, preocupados com a situação. Por outro lado, ainda acontece um aprimoramento de equipamentos, técnicas de controle e aumento de registros de agrotóxicos para controle de pragas e doenças que acabam por gerar um aumento do custo do manejo com controle fitossanitário, nessa cultura. Este conjunto de fatos provoca a necessidade iminente de melhorar e otimizar o uso dos recursos disponíveis para esta cultura.

Segundo Juliatti, Nascimento e Rezende (2010), uma das formas mais utilizadas para

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Muzambinho/IFSULDEMINAS - Rua Atenas Bairro Chácara Primavera - 37.890-000 - Muzambinho/MG - grbmiranda@gmail.com
[2]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Muzambinho/IFSULDEMINAS - Monte Santo de Minas - Rua Minas Gerais, 609 - Jardim Brasil - 37.958-000 - Monte Santo de Minas/MG - marcos3123@terra.com.br
[3]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Muzambinho/IFSULDEMINAS - Rua Carajás, 547 Jd. Paineiras - 37.890-000 - Muzambinho/MG - albertoalves@milbr.net
[4]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais- Campus Muzambinho/IFSULDEMINAS - Rua Carajás, 532 Bairro Jardim Paineiras - 37.890-000 -Muzambinho/MG - eugenio.goncalves@muz.ifsuldeminas.edu.br

proteção das culturas contra pragas, doenças e plantas daninhas tem sido a aplicação de agrotóxicos, especialmente sob a forma de pulverização.

A pulverização na cafeicultura pode ser utilizada para diversas finalidades, como pulverização nutricional com micronutrientes à base de cobre, zinco e boro, ou uma pulverização com agrotóxicos para controle de pragas e doenças, sendo necessário que as gotas de pulverização atinjam, em quantidades ideais, os alvos onde são localizados os organismos ou lesões que devem ser controladas.

Embora os agrotóxicos desempenhem papel fundamental no sistema de produção agrícola têm sido motivo de preocupação de diversos segmentos da sociedade, devido ao potencial risco ambiental (BELO et al., 2012).

Di Oliveira, Ferreira e Román (2010) afirmam que, para ocorrer a eficiência no controle, deve-se considerar a cobertura necessária em função do mínimo de volume de calda possível. Desta forma, tende-se a reduzir a exposição do ambiente à pulverização do agrotóxico.

Para Gandolfo et al. (2013), a contaminação do meio ambiente é aspecto prioritário na agricultura moderna que exige uma otimização na utilização e distribuição dos agrotóxicos.

Segundo Belo et al. (2012), a deriva nas aplicações de agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura, tanto pelo lado econômico, como também pela exposição dos trabalhadores, devendo ainda considerar a contaminação ambiental.

Dada a importância das pulverizações, tanto na nutrição, como no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, torna-se muito importante utilizar melhor os recursos disponíveis para minimizar os problemas com a deriva e a contaminação do solo e água. Objetivou-se, no presente trabalho, verificar os depósitos de pulverização acumulados nas folhas de cafeeiro e as perdas por deriva, causada por pulverização de um pulverizador costal manual e equipado com diferentes pontas de pulverização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na propriedade Renascer, localizada no município de Monte Santo de Minas – MG, Latitude (S) 21°16’07” Longitude (W) 47°00’18” Altitude 780m (DATUM SAD 69), em lavoura de café da cultivar catuai 144, com espaçamento de 2,8m x 0,80m, plantada em janeiro de 2010, com um ano de idade.

Em ambos os experimentos, depósitos e deriva de pulverização, delinearam-se os experimentos em blocos ao acaso (DBC), com cinco tratamentos - tipos de pontas (JD-10 “chapinha” - UTC; J4-2; J5-2; J6-2; JA-2 (JACTO, 2011), sendo todas as pontas de primeiro uso, modelo cônico vazio) e quatro repetições, sendo o experimento de deriva montado em esquema de parcelas subdivididas no espaço. As parcelas de ambos os experimentos foram formadas por seis plantas pulverizadas na linha central ,considerando as duas plantas da extremidade (da linha pulverizada) e duas linhas laterais sem pulverizar como bordadura, totalizando vinte e quatro plantas por parcela, sendo as seis centrais úteis.

Usou-se o pulverizador costal manual, modelo PJH (Jacto), equipado com as pontas: J4-2; J5-2; J6-2; JA-2 e JD-10 - chapinha (testemunha), sendo todas as pontas de primeiro uso, pulverizados à uma velocidade de deslocamento de 3 km h^{-1} ,calculado pela fórmula V=180/T, onde:

V= velocidade do operador e,

T= tempo gasto para percorrer 50 metros.

Os tratamentos foram distribuídos de acordo com a Tabela 1. A vazão dos tratamentos foi calibrada pelo teste em branco, ou seja, utilizou-se da marcação de uma distância conhecida e verificou-se o volume de calda gasto para esta distância de acordo com a velocidade de trabalho ideal e particular para o operador, mantendo a frequência de movimento da alavanca do pulverizador costal constante. Acoplou-se na ponta da lança de pulverização um manômetro, para conhecer a pressão para cada tratamento.

Para se avaliar, quantitativamente, os resultados da pulverização foi preparada uma solução marcadora composta pelo corante alimentício azul brilhante (FD&C nº 1) a 0,15% (p/v) (PALLADINI; RAETANO; VELINI, 2005).

Procedimento experimental para avaliação da cobertura foliar em cafeeiro

A pulverização foi realizada no dia 28 de março de 2011, a uma altura de, aproximadamente, 25 cm do topo da planta e, posteriormente, foram coletadas 5 folhas por parcela do terço médio da planta (terceiro ou quarto par de folhas do ramo), acondicionadas em caixa de isopor e levadas ao laboratório de bromatologia e água do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Muzambinho – MG.

TABELA 1 - Identificação dos tratamentos e condições operacionais utilizadas na pulverização em cafeeiro de 1 ano de idade com pulverizador costal manual, acoplado à diferentes pontas de pulverização. Monte Santo de Minas/MG – Brasil. Ano Agrícola: 2010-2011.

Tratamentos	Pontas Cônicas	Volume de calda (L ha^{-1})	Volume por Parcela (L parcela^{-1})	Pressão (PSI)	Velocidade (km h^{-1})
T1 (testemunha)	JD-10 (chapinha)	93,29	0,012	60	3
T2	J4-2	168,51	0,226	40	3
T3	J5-2	217,62	0,292	40	3
T4	J6-2	258,91	0,347	30	3
T5	JÁ-2	119,41	0,16	50	3

A cada amostra de 5 folhas, adicionou-se 100 ml de água destilada mantendo-a por agitação por cerca de 30 segundos, para remoção do marcador. A solução resultante foi colocada em recipientes de vidro e após este procedimento, os depósitos foram quantificados por um espectrofotômetro da marca FEMTO, modelo 700S, pela leitura de absorbância, no comprimento de onda de 630 nm.

Posteriormente, mediu-se a área das folhas das amostras em cm² para calcular o volume líquido depositado nas folhas. Para se calcular a área foliar foram tomadas as medidas do comprimento e largura da folha, a partir da fórmula proposta por Silva, Leite e Ferreira (2008): K=C*L*0,663, onde:

K= Área foliar (cm²);

C= Comprimento da folha medida da base do pecíolo ao final da nervura principal, no limbo foliar (cm);

L= Largura da base mais larga da folha (cm);

0,663 = Constante de correção para o formato da folha.

O volume depositado nas folhas foi calculado pela equação: Ci * Vi= Cf * Vf, onde:

Ci = Concentração inicial da calda (1500 ppm);

Vi = Volume inicial a ser calculado;

Cf = Concentração final que corresponde à concentração encontrada na leitura do espectrofotômetro;

Vf = Volume utilizado para lavar as folhas.

Procedimento experimental para avaliação das perdas de pulverização, por deriva em placas de Petri

Para quantificar o depósito de pulverização perdido por deriva, utilizaram-se placas de Petri (9cm de diâmetro), em 3 posições (1. centro da planta, 2. projeção da copa, em 0,4m da projeção da copa) e foram pulverizados 5 tratamentos, sequencialmente com quatro repetições.

O espaçamento da lavoura é de 2,8m x 0,8m e as parcelas foram formadas por seis plantas pulverizadas na linha central, consideradas as duas plantas da extremidade (da linha pulverizada) e duas linhas laterais sem pulverizar como bordadura, totalizando vinte e quatro plantas por parcela, sendo as seis centrais úteis.

As parcelas foram formadas por seis plantas pulverizadas na linha central, com bordaduras sem pulverizar. Para a avaliação, duas placas de Petri foram posicionadas entre a 3ª e 4ª planta, de cada parcela.

Após a pulverização, as placas de Petri foram coletadas, identificadas, acondicionadas em isopor e levadas ao laboratório de bromatologia e água do IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho/MG.

A cada placa de Petri adicionou-se 20 ml de água destilada e utilizando um espectrofotômetro da marca FEMTO, modelo 700S, regulado no comprimento de onda de 630 nm para leitura de absorbância, calculou-se o volume retido na placa pela equação "Ci * Vi= Cf * Vf", em microlitros de calda, por centímetro quadrado (µL cm^{-2}), sendo:

Ci = Concentração inicial da calda (1500 ppm);

Vi = Volume inicial a ser calculado;

Cf = Concentração final que corresponde à concentração encontrada na leitura do espectrofotômetro;

Vf = Volume utilizado para lavar as placas.

Análises estatísticas

Os resultados de estimativa de perda por deriva (µL cm^{-2}) foram transformadas em arco seno $(x/100)^{0,5}$ e, ambos os resultados, volume de calda depositado na superfície foliar (µL cm^{-2}) e valores transformados da estimativa de perda por deriva (µL cm^{-2}) foram submetidos ao teste F, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, à 1% de probabilidade, para quantificação de depósitos em folhas de cafeeiro e, à 5% de probabilidade para estimativa de perda por deriva, em placas de Petri, realizado pelo software de análises estatísticas SISVAR 4.3 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

As condições climáticas durante a pulverização com uso de pulverizador costal manual, utilizando diferentes pontas de pulverização em cafeeiro estão apresentados na Tabela 2.

A quantificação do corante marcador possibilitou o estabelecimento da seguinte equação ($Y=0,066\ e^{1,033X}$), com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9815$, para o volume de calda amostrado, conforme Figura 1, onde:

X = leitura da densidade óptica (absorbância);

e = exponencial;

Y = concentração em ppm.

TABELA 2 - Dados climáticos, no momento da aplicação,para pulverização em cafeeiro de 1 ano de idade, com pulverizador costal manual, utilizando diferentes pontas de pulverização. Monte Santo de Minas/MG – Brasil. Ano Agrícola: 2010-2011.

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade Relativa do ar (%)	Velocidade máxima do vento (Km/h)
		Média	Max	Min		
28/03/2011	08:00	20,1	20,3	19,8	93	8
28/03/2011	09:00	21	21,7	20,2	89	8
28/03/2011	10:00	22,2	22,8	21,7	84	12,9
28/03/2011	11:00	23,5	23,9	22,8	82	20,9

Dados fornecidos pela COOXUPE- Núcleo Monte Santo de Minas – MG

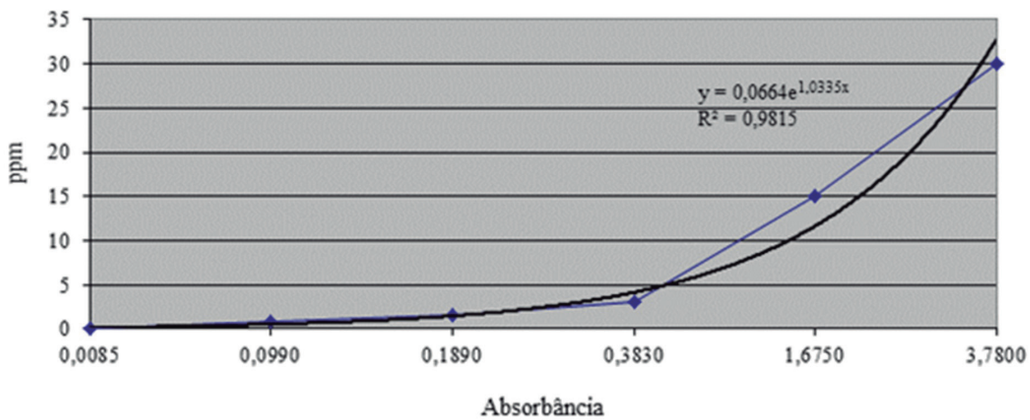

FIGURA 1 - Curva de leitura de absorbância para inferir a concentração (ppm de corante) das amostras de calda. Monte Santo de Minas/MG. Ano agrícola 2010/2011.

Cobertura foliar de cafeeiro

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios de depósito foliar proporcionados pelas diferentes pontas de pulverização, com pulverizador costal manual.

De acordo com os resultados (Tabela 3) ,verificou-se que os depósitos das pontas J4-2, J5-2 e J6-2 foram os que obtiveram maiores valores médios de depósito na folha, não observando diferença significativa entre eles; seguido pela ponta JA-2 e pela ponta JD-10, esta última com valor menor para quantidade de depósitos foliar como mostra a Figura 2.

A testemunha, JD-10 é a ponta mais usada, principalmente por pequenos produtores de cafeeiro, provavelmente pela facilidade de reposição e pelo seu baixo custo de aquisição. Em contrapartida a durabilidade de uso deste tipo de material é inferior aos demais materiais deste trabalho (Série J e JA) que são de cerâmica.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 3 e Figura 2), a ponta JD-10 foi menos eficiente em volume de depósitos retidos em folhas de cafeeiro comparado aos demais tratamentos. Este resultado pode ter sido influenciado pelo baixo volume de calda aliado à limitação do modelo da ponta JD-10 em proporcionar vazões maiores, pois, mesmo com uma pressão de 60 PSI não foi capaz de gerar um volume maior que 100 L ha^{-1} (Tabela 1).

TABELA 3 - Valores médios de depósitos de calda em folhas de cafeeiro (µL cm^{-2}) de 1 ano de idade com pulverizador costal manual, utilizando diferentes pontas de pulverização. Monte Santo de Minas/MG – Brasil. Ano Agrícola: 2010-2011.

Tratamentos	Pontas	Volume/Área foliar (µL cm^{-2})
T1	JD-10	0,050389 c
T2	J4-2	0,094728 a
T3	J5-2	0,124411 a
T4	J6-2	0,114217 a
T5	JÁ-2	0,081795 b
CV (%)	18,22	
P value $_{pontas}$	0,0004**	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott à 1% de probabilidade.

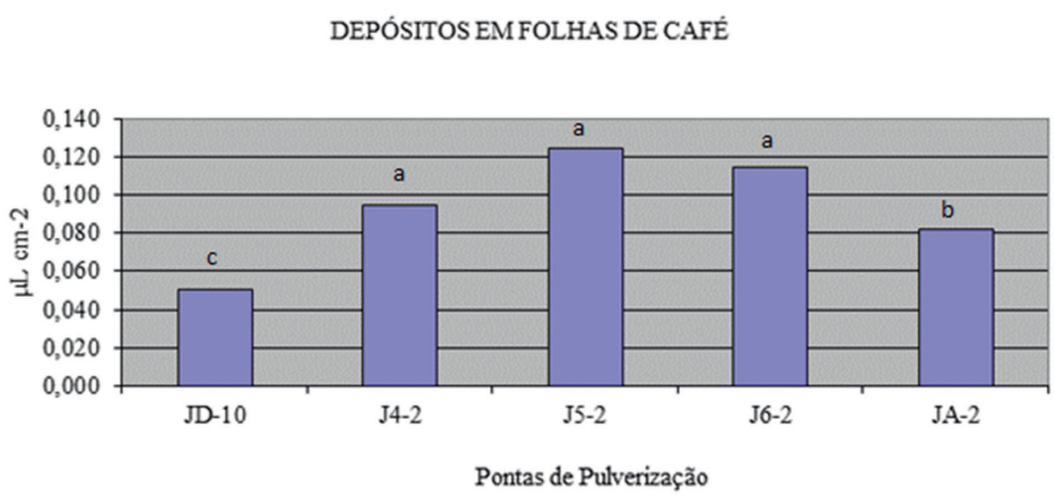

FIGURA 2 - Volume médio de calda depositado na superfície foliar (µL cm^{-2}) de cafeeiro de 1 ano de idade, com pulverizador costal manual, utilizando diferentes pontas de pulverização. Monte Santo de Minas/MG – Brasil. Ano Agrícola: 2010-2011.

Matuo (1990) afirmou que o volume de calda em pulverizações deve ser a consequência da pulverização e não o objetivo.

Miranda et al. (2012) observaram em trabalho com pulverizadores que é possível reduzir o volume de calda sem prejudicar a quantidade e distribuição de depósitos retidos no interior do cafeeiro.

A pulverização, para obter um bom padrão de cobertura foliar depende de uma boa escolha da ponta a ser utilizada, pois, esta determinará o tamanho da gota e, influirá diretamente na quantidade de depósitos retida e distribuída no alvo, pois, quanto menor e mais homogênea as gotas, maior a tendência de se ter uma boa quantidade de depósitos no alvo, aumentando a cobertura.

Ao contrário do que se esperava neste experimento, quando se aumenta a pressão de trabalho (Tabela 1), deve-se formar maior quantidade de depósitos, em folhas de cafeeiro. No entanto, as pontas que sofreram maiores pressões de trabalho não geraram resultados de maior quantidade de depósitos em folhas de cafeeiro. Isto pode ser atribuído aos diferentes modelos das pontas utilizadas que, provavelmente, algumas dificultam a formação de maiores volumes de pulverização, gerando menores depósitos em folhas de cafeeiro, mesmo com maiores pressões.

Para Souza, Velini e Palladini (2007), na avaliação da quantidade de uma pulverização, deve ser observada a deposição da quantidade de produto que atinge o alvo e a cobertura das folhas.

Estimativa de perda de pulverização por deriva

Os resultados obtidos para a estimativa de perda de pulverização por deriva, coletado em placas de Petri após a pulverização em cafeeiro de um ano de idade, estão apresentados na Tabela 4.

A deposição média das pontas JD-10 (testemunha), J4-2 e JA-2 foram as que tiveram valores médios de depósitos menores nas placas amostradas, indicando a menor perda, seja pelo vento ou pelo escorrimento (Tabela 4).

Foi realizado desdobramento dos tratamentos (pontas de pulverização) para cada posição de placas de Petri, ou seja, como as placas foram colocadas próximas ao colo da planta, na projeção da copa e a terceira no meio da rua, estas serviram para verificar endoderiva e exoderiva, conforme conceitos citados por Leite e Serra (2013). Ou seja, endoderiva, devido ao escorrimento (2 primeiras) e exoderiva, devido ao vento (última), respectivamente.

Na avaliação da possibilidade de escorrimento (endoderiva), na posição 1 no centro da planta, a testemunha (JD-10) juntamente com a J4-2 foram as pontas que obtiveram menores valores de depósito na placa de Petri, desta posição. Provavelmente, isto ocorreu devido à menor vazão proporcionada pelas pontas JD-10 e J4-2, aliada à menor pressão que a teoricamente ideal para a J4-2 (superior a 75 PSI) e, consequentemente, ocorre menores taxas de aplicação para a ponta J4-2. Fato que pode ter combinado a favor de maior retenção foliar e menor escorrimento, quando comparado com as demais pontas deste experimento. Para o depósito de pulverização na posição 2 (endoderiva), na projeção da copa, não foram observadas diferenças significativas para depósito de pulverização, entre os diferentes tipos de pontas.

Na avaliação de deriva de pulverização há distâncias maiores (posição 3) (exoderiva), localizadas a 0,40 m da projeção da barra do cafeeiro; não foi observada diferença significativa entre as pontas J4-2, J5-2, JA-2 e a testemunha (JD-10), que diferiram da ponta J6-2, que obteve maior valor em volume de calda depositado nesta placa. A ocorrência deste fato deve ser devido ao tipo de ponta de pulverização que exerce significativa influência na quantidade de deriva nas aplicações (OSIPE et al., 2010), já que o tamanho da gota está relacionado com o tamanho do orifício da ponta (TEEJET, 2011).

Para comprovar tal afirmação, as pontas J4-2 e JD-10 (testemunha) deveriam ter proporcionado maior acúmulo de depósitos na placa de posição 3 (exoderiva), devido aos orifícios destas pontas serem menores. Tal fato, ocorrido neste trabalho, diverge do que se é esperado em pulverizações, onde se diz que as gotas pequenas proporcionam maior deriva (exoderiva) (TEEJET, 2011).

O ocorrido neste trabalho pode ser devido ao fato de que, durante a realização do experimento, houve rajadas de vento (Tabela 1), o que pode ter influenciado no resultado. Ao observar as médias totais para cada ponta de pulverização, que mostra o total do desperdício causado pela deriva (endoderiva e exoderiva), verificou-se que as maiores médias foram das pontas J5-2 e J6-2. Este valor deve-se atribuir ao maior valor médio na primeira placa que indicou maior escorrimento (endoderiva), o qual aumentou o valor médio final destas pontas, frente às demais.

TABELA 4 - Valores dos volumes médios de calda depositada nas placas de Petri (µL cm^{-2}), após pulverização em cafeeiro de 1 ano de idade, com pulverizador costal manual, utilizando diferentes pontas de pulverização. Monte Santo de Minas/MG – Brasil. Ano Agrícola: 2010-2011.

		Volumes médios depositados de acordo com a posição da placa no solo (µL cm^{-2}).			
		Posição 1: Centro da planta	Posição 2: projeção da copa	Posição 3: 0,4m da projeção da copa	Média
Tipo de Pontas	JD-10	0,018946 a	0,017998 a	0,016674 a	0,017873 a
	J4-2	0,019601 a	0,032164 a	0,016022 a	0,022596 a
	J5-2	0,044163 b	0,027708 a	0,020763 a	0,030878 b
	J6-2	0,039940 b	0,027747 a	0,045937 b	0,037875 b
	JA-2	0,029224 b	0,018948 a	0,019289 a	0,022487 a
	Média	0,030375 A	0,024913 A	0,023737 A	
		CV% parcela pontas		22,45	
		CV% subparcela posição		18,62	
		P value $_{pontas}$		0,0136*	
		P value $_{pontas/posição\ 1}$		0,0141*	
		P value $_{pontas/posição\ 2}$		0,2534 ns	
		P value $_{pontas/posição\ 3}$		0,0021**	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.
Valores originais.
Resultados transformados em $(x/100)^{0,5}$

Cabe também mencionar que pontas do tipo cônico exigem maiores pressões de trabalho, quando comparados às pontas do tipo leque, fator que aumenta o esforço do operador e impede alcançar as pressões recomendadas.No entanto, este fato não inviabiliza pulverizações, com uso destes tipos de pontas em pulverizadores costais manuais dirigidos à folhagens das plantas, devido ao já conhecido resultado de eficiência das pulverizações em cafeeiro.

4 CONCLUSÕES

Pontas de pulverização dos modelos J4-2, J5-2 e J6-2 proporcionam maior quantidade de depósitos de pulverização em folhas de café, que as pontas JA-2 e JD-10.

As pontas com menor desperdício no ambiente são JD-10, J4-2 e JA-2.

As pontas que com menores perdas por escorrimento (endoderiva) são as pontas com vazões menores JD-10 e a J4-2.

A ponta J4-2 é a ponta que proporcionou maior quantidade de depósitos de pulverização em folhas de cafeeiro e menor quantidade de deriva de pulverização em placas de Petri.

5 REFERÊNCIAS

BELO, M. S. S. P. et al. Uso de agrotóxicos na produção de soja do Estado do Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. **Revista Brasileira Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 37, n. 125, p. 78-88, 2012.

DI OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. da C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 92-99, jan./fev. 2010.

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

GANDOLFO, M. A. et al. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 474-480, jul./set. 2013.

JACTO. **Bicos série J**. Disponível em: <http://www.jacto.com.br/portugues.html>. Acesso em: 17 jul. 2011.

JULIATTI, F. C.; NASCIMENTO, C.; REZENDE, A. A. Avaliação de diferentes pontas e volumes de pulverização na aplicação de fungicida na cultura do milho. ***Summa Phytopathologica***, Jaguariúna, v. 36, n. 3, p. 216-221, 2010.

LEITE, M. F.; SERRA, J. C. V. Avaliação dos impactos ambientais na aplicação dos agrotóxicos. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9, n. 3, p. 675-682, set./dez. 2013.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

MIRANDA, G. R. B. et al. Avaliação dos depósitos da pulverização em frutos de cafeeiro utilizando dois equipamentos associados a diferentes volumes de calda. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 15-20, abr. 2012.

OSIPE, R. et al. **Avaliação da deriva com diferentes pontas de pulverização avaliada em túnel.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Centro de Convenções: Ribeirão Preto, 2010. 1 CD-ROM.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, Sept./Oct. 2005.

SILVA, A. R. da; LEITE, M. T.; FERREIRA, M. C. Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 66-73, jul./set. 2008.

SOUZA, R. T.; VELINI, E. D.; PALLADINI, L. A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007.

TEEJET. **Causas e controle de deriva**. Disponível em: <http://www.teejet.com/portuguese/home/tech-support/nozzle-technical-information/drift-causes-and-control.aspx>. Acesso em: 16 jul. 2011.

PERFIL Y PREFERENCIA DE LOS CONSUMIDORES ECUATORIANOS POR ATRIBUTOS DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Wilmer S. Sepúlveda[1], Irinuska Ureta[2], Alexander Sepulveda-Sepúlveda[3]

(Recebido: 18 de agosto de 2015; aceito: 23 de fevereiro de 2016)

RESUMEN: Cada vez más los consumidores ejercen presión sobre las formas de producción, la seguridad y la procedencia de los productos agroalimentarios. Dentro de las formas de producción, los aspectos éticos, el impacto sobre el medio ambiente y el origen de los productos, están recibiendo un especial interés por parte de los consumidores en general. El sector del café no está ajeno a dicha tendencia. El siguiente estudio realizado en Ecuador, además de generar un perfil de los consumidores de café tostado y molido, tuvo como objetivo analizar el efecto que puede generar sobre las preferencias de los consumidores diferentes atributos de calidad ligados con la producción de café. Un experimento de elección en el cual participaron consumidores de Quito, Guayaquil, Manta y Portoviejo fue llevado a cabo. El experimento consistió en 16 tarjetas de simulación, que incluía cada una dos productos hipotéticos (A y B). Los atributos empleados para la construcción de los perfiles fueron: i) procedencia de alta montaña, ii) certificación de comercio justo, iii) etiquetado *Rainforest*, iv) producción orgánica, v) origen (Manabí, Loja y Colombia) y vi) precio. Los resultados sugieren que las certificaciones de comercio justo, *Rainforest* y orgánico, ejercen un efecto positivo y significativo sobre las utilidades de los consumidores. En el origen y la procedencia de alta montaña, no se hallaron efectos significativos sobre las utilidades. Por tanto, las certificaciones de calidad pueden ser una importante herramienta de diferenciación en la producción de café.

Términos de indexación: Producción sostenible, café orgánico, sellos de calidad, comercio justo.

PERFIL E PREFERÊNCIA DOS CONSUMIDORES EQUATORIANOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE CAFÉ

RESUMO: *Mais e mais consumidores exercem pressão sobre as formas de produção, segurança e origem dos produtos alimentares. Entre as formas de produção, a ética, o impacto sobre o meio ambiente e a origem dos produtos, estão recebendo interesse especial por parte dos consumidores. O setor de café também é influenciado por esta tendência. Esse estudo foi realizado no Equador. Além de gerar um perfil dos consumidores de café torrado e moído, objetivou-se, no presente estudo, analisar o efeito que podem ter os atributos de qualidade associados à produção de café, sobre as preferências dos consumidores. Uma experiência de escolha com a participação dos consumidores em Quito, Guayaquil, Manta e Portoviejo foi conduzida. A experiência consistiu de 16 cartões de simulação, cada um incluindo dois produtos hipotéticos (A e B). Os atributos utilizados na construção dos perfis foram: i) origem de alta montanha, ii) certificação de Comércio Justo, iii) rotulagem Rainforest, iv) produção biológica, v) origem (Manabi, Loja e Colômbia); e vi) preço. Os resultados sugerem que as certificações de comércio justo e orgânico Rainforest exercem um efeito positivo significativo sobre a avaliação dos consumidores. Na origem e proveniência de alta montanha, não foram encontrados efeitos significativos sobre os lucros. Portanto, a certificação de qualidade pode ser um importante instrumento de diferenciação na produção de café.*

Termos para indexação: *Produção suntetável, café orgânico, certificação de qualidade, comércio justo.*

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los notables cambios en las cadenas agroalimentarias, es el hecho de que los consumidores son más exigentes convirtiéndose en parte activa que las dinamiza (BESKE; LAND; SEURING, 2014). En la moderna cadena agro-alimentaria, los consumidores ocupan una posición relevante, ya que mientras son los usuarios finales de los productos, al mismo tiempo son la inspiración para la organización de la cadena dirigida hacia el mercado (BESKE; LAND; SEURING, 2014; VERBEKE, 2005). Esto implica que todos los agentes que hacen parte de la cadena dependen de los consumidores finales, ya que son ellos los que desembolsan el dinero que se reparten *upstream* entre todos los agentes que conforman la cadena agroalimentaria (OTTESEN, 2006).

Cada vez se está al frente de consumidores mucho más interesados por conocer las formas en que son producidos los alimentos y en donde la palabra calidad, se ha venido convirtiendo en un factor relevante en el proceso de decisión de compra (MELO; HOLLANDER, 2013). Es ampliamente aceptado que la cantidad de dinero que el consumidor está dispuesto a pagar por un producto, depende en gran parte de la calidad

[1,2]Universidad Técnica de Manabí - Escuela de Economía - Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas - Av. Urbina y Che Guevara - Portoviejo -Ecuador - webwilsep@gmail.com, miureta@utm.edu.ec
[3]Universidad Industrial de Santander - Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas - Carrea 27 con calle 9 - Bucaramanga – Colombia - fasepul@uis.edu.co

percibida de ese producto (OTTESEN, 2006). Por tanto, tener en cuenta los atributos de calidad que generan más valor (mayores utilidades) ante los consumidores se considera crucial, ya que puede permitir a los actores de la cadena centrar sus actividades de valor agregado en aquellos atributos que pueden generar mayor impacto ante el consumidor, optimizando así sus recursos (LOC et al., 2010; SEPÚLVEDA; MAZA; PARDOS, 2011).

En la agro-alimentación, existen diversos aspectos de la producción que cada vez son de mayor interés por parte de segmentos de consumidores y sobre los cuales están dispuestos a pagar un *Premium Price* por acceder a dichos productos (DOHERTY; SMITH; PARKE, 2015; GELLYNCK; VERBEKE; VERMEIRE, 2006). En la producción agraria, dentro de estas iniciativas sobresalen la producción en condiciones éticas y los sistemas de producción amigables con el medio ambiente (MELO; HOLLANDER, 2013; NARDONE et al., 2010). De acuerdo con Verbeke et al. (2005), todas estas iniciativas de adopción voluntaria por parte de los productores empleadas para resaltar la calidad ante los consumidores y clientes, son comúnmente conocidas como iniciativas de calidad superior. En el sector del café, existen diversas iniciativas que realzan la calidad ante los consumidores (MANCILLA; SANMIGUEL, 2011). Desde el punto de vista del producto y atendiendo a Caswell, Bredahl y Hooker (1998), dichas iniciativas de calidad podrían encuadrase en dos grandes divisiones: las centradas en los procesos de producción y las centradas en los atributos intrínsecos del café tostado. A nivel primario, en las primeras cabrían el origen, la agricultura amigable con el medio ambiente, agroforestería y el comercio justo.

De acuerdo con el Consejo Cafetero Nacional - COFENAC (2011), en el año 2010, existían en Ecuador 2597 hectáreas de café certificadas con sellos de calidad. El 43.4% de dichas áreas cultivadas certificadas, se concentran en la provincia de Manabí, ubicada en el sur-occidente de Ecuador. Esta provincia concentra las mayores hectáreas cultivadas (44,641 hectáreas = 45.7%) de café de Ecuador, cálculos a partir del Instituto Nacional de Estadística y Censos -INEC, 2005. Existe en la región una federación de productores artesanales de café, que agrupa a cinco asociaciones de agricultores que poseen sellos de calidad orgánico y de comercio justo.

A nivel global, existe literatura relativa a atributos de calidad en los cafés que generan mayor impacto sobre la disponibilidad a pagar de los consumidores; la gran mayoría centradas en el Norte Global (CRANFIELD et al., 2010; DE PELSMACKER; DRIESEN; RAYP, 2005; DOHERTY; SMITH; PARKE, 2015; DONNET; WEATHERSPOON; HOEHN, 2007; GALARRAGA; MARKANDYA, 2004; LOUREIRO; LOTADE, 2005; MAIETTA, 2005; TEUBER; HERRMANN, 2012). Algunos estudios reportados se han desarrollado en Latinoamérica (ARAGÓN-GUTIÉRREZ et al., 2013) y en Asia (YANG et al., 2012), existiendo información limitada sobre el mercado del comercio ético y amigable con el medio ambiente en el Sur Global (DOHERTY; SMITH; PARKE, 2015). Muchos de estos trabajos sugieren que los consumidores están dispuestos a pagar un sobreprecio por el café de comercio justo, cultivado bajo sombra (*Rainforest*), orgánico, de altura y originario de ciertos países.

En este sentido, además de identificar perfiles de consumidores, el objetivo de la presente investigación fue analizar las preferencias de los consumidores ecuatorianos por diferentes atributos de calidad asociados con la producción de café. El desarrollo del trabajo se basa en: i) las diversas iniciativas de diferenciación de la producción efectuadas por asociaciones de pequeños productores de café tostado y molido existentes en Manabí, ii) la literatura limitada al respecto y, iii) la creciente demanda de los consumidores por atributos ligados con la producción ética y amigable con el medio ambiente.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La información empleada en el presente estudio, proviene del desarrollo de un experimento de elección con consumidores en Ecuador. Los participantes en el experimento de elección fueron: personas que consumían café, con alguna responsabilidad en la compra de alimentos y pertenecían a hogares en donde se suele adquirir café tostado y molido para ser preparado en casa. Por tanto, de un total de inicial de 392 consumidores encuestados sobre hábitos de consumo de café ubicados en las ciudades de Guayaquil, Quito y el Área Metropolitana de Manta-Portoviejo (211 encuestas en Guayaquil, 144 en Quito, 39 en Manta-Portoviejo), tres de los centros urbanos más poblados del país, 67 fueron los que finalmente participaron en el experimento de elección por cumplir con los criterios de inclusión establecidos en el estudio.

El levantamiento de la información tuvo lugar en los meses de abril y mayo del año 2015. El muestreo empleado para la aplicación de las 392 encuestas iniciales sobre hábitos de consumo de café, fue de tipo aleatorio estratificado mediante afijación proporcional por tamaño de la población. Asignando a p y q valores intermedios (p=0.5 y q=0.5) y para un intervalo de confianza en los resultados del 95%, el máximo error que se pudo cometer en la aplicación de la encuesta sobre hábitos de consumo fue del 5.1%. Con la base en la información obtenida a partir de la encuesta inicial sobre hábitos de compra, previo al experimento de elección, se desarrollaron test de Chi-cuadrado con el fin de analizar la preferencia por tipo de café y las características sociodemográficas de la muestra.

Experimento de elección

La teoría de la utilidad aleatoria asume que la utilidad individual derivada de la selección de una alternativa, puede obtenerse a partir de la captura de los atributos de las alternativas de selección y de las características individuales de los responsables de la toma de decisiones (RUNGIE; COOTE; LOUVIERE, 2012). En el modelo logit condicional, las elecciones de los productos por parte de los individuos depende de los atributos y de los niveles de los atributos inmersos en la tarea de elección (CRABBE; VANDEBROEK, 2012). En línea con el objetivo propuesto, se decidió emplear el modelo logit condicional con el fin de analizar las utilidades que ante los consumidores, generan diversos atributos de calidad ligados con la producción de café.

En la agroalimentación, en los últimos años, los experimentos de elección han venido siendo usados para evaluar la importancia de diversos atributos en los procesos de decisión de compra de los consumidores (ABEBE et al., 2013; CAMARENA; SANJUAN, 2005; RESANO; SANJUÁN; ALBISU, 2012). Los experimentos de elección se basan en la maximización de la utilidad por parte de las personas. En marketing, básicamente se usan para estimar el efecto de los atributos sobre la "atractividad" de un producto bajo consideración (STREET; BURGESS; LOUVIERE, 2005).

El modelo parte del supuesto de que la utilidad (U) generada por los atributos (X) y los niveles de los atributos de una alternativa de elección (j), en una persona (i), dentro de un conjunto de alternativas de elección (J), posee dos componentes. Uno observable (V_{ij}) que contiene los factores considerados por el investigador y que es una combinación lineal ($B'X_{ij}$) de las variables explicativas (X_j), y otro componente (ε_{ij}), que se supone aleatorio y que refleja las particularidades de cada persona y los errores de observación; por tanto:

$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}$; donde $i \in J\,/J$ es un conjunto finito que contiene las k alternativas de elección factibles.

Una persona seleccionará la alternativa i respecto a cualquier otra alternativa k, si: $U_{ij} > U_{ik}; \forall\, j \neq k \forall\, j \neq k$

Básicamente, una persona elige entre dos o más productos mutuamente excluyentes, aquel que le proporcione una utilidad superior con relación a los demás disponibles en su marco de elección. Debido a que las utilidades incluyen un componente aleatorio, la probabilidad de que una persona i seleccione la alternativa (producto) j frente a la alternativa k, vendría dada por:

$$Prob_i(j \mid k) = Prob(U_{ij} > U_{ik}) = Prob(V_{ij} + \varepsilon_{ij} > V_{ik} + \varepsilon_{ik});\ \forall k \neq j$$

Relativo al componente aleatorio, comúnmente se asume que estos se distribuyen como una función de valor extremo, dando lugar al modelo logit condicional (MCFADEN; 2001):

$$Prob_{i,J}(j) = \frac{e^{B'X_{ij}}}{\sum_{k \in J} e^{B'X_{ik}}}$$

Debido a que en el modelo sólo intervienen variables explicativas relativas a atributos de los productos ligadas a alternativas, los parámetros B son comunes a los individuos y a las alternativas. La disposición a pagar por cada atributo diferente al precio, se obtiene a través de la división de la derivada parcial de la función de utilidad respecto a cada atributo de interés, entre la derivada parcial de la función de utilidad con respecto al atributo precio

El experimento de elección fue empleado con el fin de calcular las utilidades que generan ante los consumidores, atributos como la altura en que es producido el café, la producción bajo sombra, la producción ética, la producción orgánica, el origen y el precio. La altura (café de alta montaña) fue incluida en el estudio atendiendo a los resultados reportados por Bertrand et al. (2012) y Donnet, Weatherspoon y Hoehn (2007). La producción bajo la sombra de los árboles hace referencia al uso o no del sello de calidad Rainforest Alliance (2015). El sello *Rainforest* garantiza que el café es cultivado en fincas donde

los bosques, los ríos, los suelos y la vida silvestre son protegidos y los trabajadores son tratados en condiciones éticas (RAINFOREST ALLIANCE, 2015). La producción ética hace alusión al uso o no del sello de calidad de comercio justo "pequeños productores". Este sello de calidad, es una iniciativa creada en el año 2006 por la Coordinadora Latinoamericana y del Caribe de Pequeños Productores de Comercio Justo. Por su parte, dentro del sello de producción orgánica se empleó el de la USDA.

Los orígenes del café incluidos en el estudio fueron: Colombia, Loja, Manabí y origen no específico. El origen café de Colombia fue incluido, debido a su amplio reconocimiento a nivel global (CRANFIELD et al., 2010; TEUBER; HERRMANN, 2012). Por su parte, el origen Loja se incluyó en el estudio por ser uno de los orígenes de cafés suaves del Ecuador más reconocidos en el mercado local. Manabí fue incluido como nivel dentro del atributo origen, dado a que es la provincia cafetalera por excelencia del país. Estos cinco atributos, tipo de café (altura), producción bajo sombra, producción ética, producción orgánica y el origen, son considerados atributos de calidad ligados con la producción café. Los precios incluidos para la elaboración de perfiles de productos hipotéticos, obedecen a precios reales existentes en el mercado. En la tabla 1 se presentan los atributos y niveles de los atributos tenidos en cuenta en el estudio, así como las respectivas codificaciones incluidas en el modelo.

Con base en los atributos y los niveles de los atributos predefinidos (ver tabla 1), un experimento de elección completo debería incluir un total de 256 productos hipotéticos a ser evaluados por parte de los consumidores. Por tanto, con el fin de resumir el número de productos hipotéticos (perfiles) a ser presentados ante los consumidores, se llevó a cabo un diseño ortogonal empleando el software SPSS. Con el diseño ortogonal se obtuvieron 16 perfiles. Estos 16 perfiles calculados, correspondieron al primer producto hipotético (perfil A) de cada tarea de elección (*choiceset*). Para establecer los perfiles B en cada una de las 16 tareas de elección (*choiceset*), se empleó la estrategia 5 propuesta por Street, Burgess y Louviere (2005). Al final se diseñaron 16 tarjetas que incluía cada una dos perfiles de productos hipotéticos (opciones) A y B, para que el consumidor eligiese uno de ellos existiendo la posibilidad de no elegir ningún perfil. En la figura 1 se presenta un ejemplo de una tarjeta empleada (*choiceset*) en el experimento de elección.

TABLA 1 - Atributos y niveles de atributos incluidos en el modelo.

Atributo	Niveles
Tipo de café (tipo.cafe)	-1 = Café corriente 1 = Café de alta montaña
Producción bajo sombra (pro.sombra)	-1 = Sin sello *Rainforest* 1 = Con sello de *Rainforest*
Producción ética (pro.etica)	-1 = Sin sello de pequeños productores 1 = Con sello de pequeños productores
Producción orgánico (pro.organica)	-1 = Sin sello de producción orgánica 1 = Con sello de producción orgánica
Lugar de origen (origen)	0 = Colombia 1 = Manabí 2 = Loja 3 = No específico
Precio por libra de café (precio)	6.0 = USD $6.0 9.0 = USD $9.0 12.0 = USD $12.0 15.0 = USD $15.0

T9	Producto A	Producto B
Tipo de Café	Alta Montaña	Corriente
Sistema de Producción		Bajo Sombra, Preserva la Biodiversidad
Producción ética		Pequeños Productores
Sistema de Producción	Orgánico	
Lugar de Origen	Manabí	Loja
Precio por libra de café ($ USD)	$12/ Libra	$15/ Libra

No Compraría ni el Producto A ni el Producto B

FIGURA 1 - Ejemplo de tarjeta empleada en el experimento de elección: tarjeta 9.

Una vez recolectada la información, esta fue procesada empleando el software estadístico especializado SMRT. Finalmente, el modelo quedaría especificado como sigue:

$$Prob_{i,J}(j) = \frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{k \in J} e^{V_{ik}}}$$

$$Prob_i(A) = \frac{e^{V_{iA}}}{e^{V_{iA}} + e^{V_{iB}}}$$

$$Prob_i(B) = \frac{e^{V_{iB}}}{e^{V_{iA}} + e^{V_{iB}}}$$

Donde;

$Vi_{(A,B)}$ = α + β1*tipo.cafe + β2*pro.sombra + β3*pro.organica + β4*origen.Colombia + β5*origen.Manabi + B6*origen.Loja + B7*precio

Es importante resaltar que al igual que en Gracia, López y Virué (2011), el valor de α captura el efecto dado por la opción "ninguno de los dos", es decir; captura el efecto generado por los niveles de atributos no incluidos en cada *choiceset;* en donde la constante viene definida por: 0 = Seleccionó el perfil A ó el perfil B y 1 = No seleccionó ninguno de los dos perfiles expuestos (en cada *choiceset*). Para analizar el ajuste del modelo se empleó el test de Chi-cuadrado que incluyó 9 grados de libertad y el índice RLH (*root likelihood*). El test de Chi-cuadrado compara el *Log-likelihood* de las estimaciones y el *Log-likelihood* del modelo cuando todos los efectos equivalen a cero. Por su parte, el RLH es una medida del ajuste del modelo, en donde un valor cercano a 1 indica un buen ajuste. Con el ánimo de analizar la significatividad de los parámetros estimados, se tuvo en cuenta el t-ratio de cada uno de los parámetros asociados a los niveles de cada atributo.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil sociodemográfico de la muestra y de los consumidores de café tostado y molido

De la aplicación inicial de la encuesta sobre hábitos de consumo se obtuvo, que el 68.1% de los ecuatorianos entrevistados consumen café. Asimismo, en los hogares de los consumidores de café que fueron encuestados, se suele adquirir más el café soluble (69.1%) que el café tostado y molido (30.9%). Aunque en Ecuador existe una clara inclinación hacia el café soluble (EUROMONITOR, 2015), el presente estudio abarcó el análisis de las preferencias de los consumidores por diversos atributos de calidad ligados con la producción de café tostado y molido. Esto debido a la posibilidad que representa para los pequeños agricultores del Ecuador, a través de la calidad superior, generar mayor valor agregado en un producto tradicional.

Como se mencionó en la parte metodológica, de los 392 consumidores encuestados sobre hábitos de consumo de café, el 17.1% correspondiente a 67 entrevistados participaron en el experimento de

elección al cumplir con los criterios de inclusión establecidos en el estudio. En la tabla 2 se presenta información sobre las características de la muestra inicial y de los participantes en el experimento de elección.

En el experimento de elección respecto a la muestra total, se observa una clara mayor participación de hombres, personas con niveles de estudios superiores, edades entre los 21 y 45 años y mayores niveles de ingresos. Se encontró relación de dependencia significativa entre el género (test de Chi-cuadrado, *P*=0.009) y los rangos de ingresos (test de Chi-cuadrado, P=0.000) con la preferencia hacia los dos tipos café: i) soluble y ii) tostado y molido. Las mujeres en comparación con los hombres tienden a preferir más el café soluble mientras que los segundos, prefieren en mayor medida el café tostado y molido (SEPÚLVEDA, 2015). Por su parte, las personas con mayores niveles de renta tienden a preferir el café tostado y molido mientras que los de menores niveles de renta prefieren más el café soluble. De acuerdo con Euromonitor (2015), el café tostado y molido en Ecuador, es más consumido por personas con niveles de renta alta. Esto podría deberse a los precios relativamente altos que posee el café tostado y molido si se compara con los del café soluble.

Experimento de elección

En la tabla 3 se presentan los resultados del experimento de elección. Los signos de los efectos indican la dirección en que se afectan las utilidades de los consumidores a medida que la variable independiente asociada al efecto aumenta. El valor correspondiente a los t-ratio, indica que los parámetros estimados en el modelo para los tres sellos de calidad y el precio, son estadísticamente diferentes de cero y por tanto ejercen un efecto significativo sobre las utilidades de los consumidores. Sin embargo, los parámetros estimados en las variables tipo de café y origen, no son estadísticamente significativos.

TABLA 2 - Características sociodemográficas de la muestra.

Características	Muestra	
	Global (%) (n=392)	Experimento de elección (%) (n=67)
Género		
Hombre	48.7	61.2
Mujer	51.3	38.8
Nivel de estudio		
Básico/primaria	15.6	4.5
Bachillerato/técnico	63.5	64.2
Tecnólogo	5.1	6.0
Profesional	15.8	25.4
Rango de edad		
Igual o menor a 20 años	16.3	14.9
Entre 21 y 30 años	48.5	50.7
Entre 31 y 45 años	18.6	23.9
Entre 46 y 60 años	12.8	9.0
Más de 60 años	3.8	1.5
Nivel de ingresos		
Menos de USD $750/mes	65.1	37.1
Entre USD $751/mes y USD $1.500/mes	27.8	45.2
Entre USD $1.501/mes y USD $2.500/mes	4.1	6.5
Más de USD $2.500/mes	3.0	11.3

TABLA 3 - Resultados del experimento de elección.

Atributo	Efecto (*odds ratio*)	Sd Error	t-Ratio	DAP (USD $)
Tipo de café (tipo.cafe)	-0.044 (0.91)	0.035	-1.248	-0.80
Producción bajo sombra (pro.sombra)	0.092 (1.21)	0.034	2.726	1.67
Producción ética (pro.etica)	0.132 (1.31)	0.034	3.919	2.40
Producción orgánica (por.organica)	0.349 (1.99)	0.034	10.237	6.35
Origen				
Colombia (origen.Colombia)	-0.118 (0.79)	0.073	-1.618	-2.15
Manabí (origen.Manabi)	0.119 (1.26)	0.075	1.591	2.16
Loja (origen.Loja)	0.099 (1.22)	0.076	1.300	1.80
No específico *(base)*				
Precio	-0.055 (0.89)	0.013	-4.264	
Constante	-3.307	0.238	-13.899	

Nota: Medidas de ajuste del modelo. RLH = 0.500. Chi-cuadrado = 867.660, grados de libertad = 9, P=0.000.

En las variables pro.sombra, pro.etica y pro.organica, los parámetros estimados poseen signos positivos. Por tanto, los resultados indican que si el café tostado y molido posee los sellos *Rainforest*, comercio justo (pequeños productores) u orgánico, aumenta la probabilidad de que este sea adquirido frente al que no los posea, debido a que se afectan de manera positiva las utilidades de los consumidores. El *odd ratio* indica, que es 1.21 veces más probable de que una persona adquiera un café con sello Rainforest frente a que no posea dicho sello de calidad. En el caso del sello de comercio justo, el *odd ratio* es de 1.31. Por otro lado, es 1.91 veces más probable que un consumidor prefiera café tostado y molido con sello orgánico respecto a que no posea dicho sello de calidad. En este sentido, atributos de calidad superior en el café ligados con los sistemas producción, ejercen un efecto positivo y significativo en las preferencias de los consumidores. Cranfield et al. (2010), en un estudio llevado a cabo en Canadá, Galarraga y Markandya (2004) en el Reino Unido, De Pelsmacker, Driesen y Rayp (2005) en Bélgica, Loureiro y Lotade (2005) en Estados Unidos y Maietta (2005) en Italia, reportaron que las etiquetas de calidad de comercio justo, *Rainforest* y orgánico, ejercen un efecto significativo sobre la probabilidad de compra por parte de los consumidores. Con relación al origen, que el café tostado y molido sea originario de Manabí frente a los demás empleados en el estudio, tiene el mayor efecto positivo sobre las utilidades generadas en los consumidores, aumentado así la probabilidad de compra. En este sentido, con el fin de resaltar la calidad ante los consumidores, podría ser interesante para los productores, explorar el mercado nacional del café tostado y molido vía certificación de los sistemas de producción.

El signo negativo del parámetro estimado en la variable precio, indica que un aumento en el precio del producto lleva consigo un efecto negativo sobre las utilidades, lo que conduce a una reducción de la probabilidad de que el producto sea seleccionado. El *odd ratio* en dicha variable sugiere, que a medida que se incrementa el precio del café en un dólar (USD), es 0.89 menos probable de que el producto sea adquirido. Por otro lado, el valor negativo de la constante, indica que una persona obtiene mayor utilidad si selecciona la opción A o B frente a la posibilidad de no seleccionar ninguna de las dos.

Relativo a la disponibilidad a pagar (DAP), los resultados sugieren que la disponibilidad promedio máxima a pagar por el café tostado y molido con sello *Rainforest* es de USD $1.67 más que el café sin dicho sello de calidad. Asimismo, los consumidores estarían dispuestos a pagar en promedio hasta USD $2.40 más por un café tostado y molido con sello de comercio justo pequeños productores frente a uno que no posea este sello de calidad. El café con sello orgánico es el que posee la mayor DAP máxima promedio, siendo de USD $6.35 más frente al café sin sello orgánico. Por tanto, los consumidores en promedio estarían dispuesto a pagar un mayor sobreprecio por el café con sello orgánico, seguido

en orden de importancia por el de producción ética y finalmente por el *Rainforest.* De acuerdo con Cranfield et al. (2010) y Maietta (2005), los consumidores muestran una mayor preferencia por el café de comercio justo que el orgánico. Loureiro y Lotade (2005), encontraron que las mayores disponibilidades a pagar un sobreprecio por parte de los consumidores en orden de importancia se dan en el sello de comercio justo, seguido por la certificación *Rainforest* y finalmente la agricultura orgánica. Por tanto, en el norte global parece existir una mayor preferencia por el café de comercio justo (DOHERTY; SMITH; PARKE, 2015). Sin embargo, en el café con atributos éticos, el consumidor busca beneficios personales directos; por tanto, estos también centran su atención en la calidad intrínseca del producto (ARAGÓN-GUTIÉRREZ et al., 2013). En Ecuador, la mayor preferencia se genera en la certificación orgánica. Esto podría deberse a que en el país, existen fuertes campañas que incentivan el consumo de productos naturales lo que podría haber elevado la preferencia de los consumidores por la agricultura orgánica. Sin embargo, en países vecinos como Colombia, con condiciones similares de desarrollo a las existentes en Ecuador, Sepúlveda et al. (2015) encontraron, que los consumidores prefieren la certificación de comercio justo por encima de la orgánica siguiendo la tendencia global.

Aunque no es un parámetro significativo, se encontró, que si el café es de alta montaña frente al corriente (no de alta montaña), ejerce un efecto negativo sobre las utilidades de los consumidores. Bertrand et al. (2012) reportaron, que en climas más fríos, tienden a desarrollarse compuestos volátiles asociados con características organolépticas deseables en los granos de café. La altitud (mayor a los 1600 m.s.n.m.) es un aspecto que influye de manera positiva en la disponibilidad a pagar por el café a nivel de producción (DONNET; WEATHERSPOON; HOEHN, 2007). Por tanto, esta aparente contradicción en la valoración de la altura por parte de los consumidores ecuatorianos, podría deberse a la escasa cultura alrededor del café existente en el país (EUROMONITOR, 2015). En el atributo origen, aunque este no ejerce un efecto significativo sobre las utilidades de los consumidores, los resultados refuerzan la idea de la tradicionalidad del café producido en la provincia de Manabí. Si bien es cierto que en algunos estudios (CRANFIELD et al., 2010), el café originario de Colombia ha mostrado un efecto significativo y positivo en la probabilidad de compra por parte de los consumidores, en el caso de Ecuador, el efecto negativo podría deberse al etnocentrismo de los consumidores por preferir de primera mano lo regional.

4 CONCLUSIONES

La presente investigación se centró en analizar las preferencias de los consumidores ecuatorianos por diversos atributos de calidad ligados con la producción de café. El estudio que se basó en la aplicación de un experimento de elección, tuvo en cuenta atributos de calidad en el café tostado y molido como la producción en alta montaña, la producción bajo sombra (*Rainforest*), el sello de calidad de comercio justo: pequeños productores, la producción orgánica y el origen del producto.

Se encontró que los sellos de calidad *Rainforest*, pequeños productores y producción orgánica tenidos en cuenta en el estudio, ejercen un efecto significativo sobre las utilidades de los consumidores. En orden de importancia, existe en Ecuador una mayor preferencia por la certificación orgánica, seguida por la de pequeños productores y finalmente la de *Rainforest*. El café "de alta montaña", aunque no ejerce un efecto significativo sobre las preferencias de los consumidores, está asociado de manera negativa con las preferencias de los consumidores. Dentro de los orígenes, frente al café de Colombia, los consumidores tienden a preferir los cafés de origen nacional. El origen Manabí, la provincia mayor productora de café del Ecuador, es la que posee la mayor preferencia por parte de los consumidores. Sin embargo, no se encontró que el origen ejerza un efecto significativo sobre las utilidades de los consumidores.

Aunque se partió de una muestra considerable de consumidores (392), una de las limitaciones de este estudio, es el bajo número de personas que hicieron parte del experimento de elección. Esto debido a que se desconocían los hábitos de consumo de café en Ecuador. Por tanto, para ampliar los resultados, futuros estudios deberían ser realizados con un número más elevado de participantes. Dadas las mayores preferencias en Ecuador por el café soluble, sería interesante realizar investigaciones sobre dicho café incluyendo atributos de calidad superior. Asimismo, debido al creciente interés por incluir en el modelo logit condicional variables relativas a las características individuales de los participantes en los experimentos de elección,

futuras investigaciones deberían centrarse en el desarrollo de modelos logit mixtos (CRABBE; VANDEBROEK, 2012). Esto permitiría el desarrollo mucho más elaborado de perfiles de consumidores y la respectiva relación con atributos relevantes en la formación de preferencias.

5 AGRADECIMIENTOS

El manuscrito es resultado del proyecto de investigación "Análisis de Atributos de Calidad Superior Ligados con la Producción de Café Tostado y Molido, Cacao, Frutas Tropicales y Hortalizas Producidos por Pequeños Agricultores de la Provincia de Manabí" financiado por el Proyecto Prometeo de la SENESCYT a Wilmer S. Sepúlveda. Los autores agradecen a Eco. Mayra Mera y Eco. Cindy Alcívar, por su apoyo en la recolección de la información. Asimismo, se agradece a la Dirección de Fomento Productivo del Gobierno Provincial de Manabí por su apoyo en la realización del proyecto mencionado.

6 REFERENCIAS

ABEBE, G. et al. Contract farming configuration: smallholders' preferences for contract design attributes. **Food Policy**, Amsterdam, v. 4, p. 14-24, 2013.

ARAGÓN-GUTIÉRREZ, C. et al. Evaluación del valor percibido en el consumo de café con atributos éticos. **Agrociencia**, Texcoco, v. 47, n. 2, p. 195-207, 2013.

BERTRAND, B. et al. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. **Food Chemestry**, Reading, v. 135, n. 4, p. 2575-2583, 2012.

BESKE, P.; LAND, A.; SEURING, S. Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: a critical analysis of the literature. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 152, p. 131-143, 2014.

CAMARENA, D.; SANJUAN, A. Heterogeneidad de preferencias y experimentos de elección: aplicación de un logit con parámetros aleatorios a la demanda de nueces. **Economía Agraria y Recursos Naturales**, Madrid, v. 3, n. 8, p. 105-119, 2005.

CASWELL, J.; BREDAHL, M.; HOOKER, N. How quality management metasystems are affecting the food industry. **Review of Agricultural Economics**, Oxford, v. 20, p. 547-557, 1998.

CONSEJO CAFETALERO NACIONAL. **Informe técnico 2010**. Portoviejo, 2011.

CRABBE, M.; VANDEBROEK, M. Improving the efficiency of individualized designs for the mixed logit choice model by including covariates. **Computational Statistics and Data Analysis**, Amsterdam, v. 56, p. 2059-2072, 2012.

CRANFIELD, J. et al. An assessment of consumer preference for fair trade coffee in Toronto and Vancouver. **Agribusiness**, Weinheim, v. 26, n. 2, p. 307-325, 2010.

DE PELSMACKER, P.; DRIESEN, L.; RAYP, G. Do consumers care about ethics?: willingness to pay for fair-trade coffee. **The Journal of Consumer Affairs**, Ithaca, v. 39, n. 2, p. 363-385, 2005.

DOHERTY, B.; SMITH, A.; PARKE, S. Fair Trade market creation and marketing in the Global South. **Geoforum**, Amsterdam, 2016. In press.

DONNET, M. L.; WEATHERSPOON, D. D.; HOEHN, J. P. What adds value in specialty coffee?: managerial implications from hedonic price analysis of Central and South American E-Auctions. **International Food and Agribusiness Management Review**, Wayzata, v. 10, n. 3, p. 1-18, 2007.

EUROMONITOR. **Coffee in Ecuador**. Disponible: <http://www.euromonitor.com/>. Acceso: 10 jun. 2015.

GALARRAGA, I.; MARKANDYA, A. Economic techniques to estimate the demand for sustainable products: a case study for fair trade and organic coffee in the United Kingdom. **Economía Agraria y Recursos Naturales**, Madrid, v. 4, n. 7, p. 109-134, 2004.

GELLYNCK, X.; VERBEKE, W.; VERMEIRE, B. Pathways to increase consumer trust in meat as a safe and wholesome food. **Meat Science**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 161-171, 2006.

GRACIA, A.; LÓPEZ, B.; VIRUÉ, S. Disposición a pagar por zumos naturales: aplicación de un experimento de elección. **ITEA**, Zaragoza, v. 107, n. 1, p. 21-32, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSO. **Procesador de estadísticas agropecuarias del Ecuador - ESPAC**. Disponible: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/ procesador-de-estadisticas-agropecuarias-3/>. Acceso: 10 jul. 2015.

LOC, V. T. T. et al. High and low value fish chains in the Mekong Delta: challenges for livelihoods and governance. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 12, n. 6, p. 889-908, 2010.

LOUREIRO, M. L.; LOTADE, J. Do fair trade and eco-labels in coffee wake up the consumer conscience. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 53, p. 129-138, 2005.

MAIETTA, O. W. The hedonic price of fair trade coffee for the Italian consumer. In: MATTAS, K.; TSAKIRIDOU, E. (Ed.). **Food quality products in the advent of the 21st century:** production, demand and public policy. Chania: CIHEAM, 2005. p. 45-55. (Cahiers Options Méditerranéennes, 64).

MANCILLA, N. O.; SANMIGUEL, E. M. **De los cafés especiales**. Socorro: Universidad Libre Seccional Socorro, 2011.

MCFADDEN, D. Decisiones económicas. **Revista Asturiana de Economía**, Oviedo, v. 21, p. 261-303, 2001.

MELO, C. J.; HOLLANDER, G. M. Unsustainable development: alternative food networks and the Ecuadorian Federation of Cocoa Producers, 1995-2010. **Journal of Rural Studies**, Aberystwyth, v. 32, p. 251-263, 2013.

NARDONE, A. et al. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 130, p. 57-69, 2010.

OTTESEN, G. Do upstream actors in the food chain know end-users' quality perceptions?: findings from the Norwegian salmon farming industry. **Supply Chain Management: An International Journal**, Bingley, v. 11, n. 5, p. 456-463, 2006.

RAINFOREST ALLIANCE. **Agricultura sostenible**. Disponible: <http://www.rainforest-alliance.org>. Acceso: 10 jul. 2015.

RESANO, H.; SANJUÁN, A. I.; ALBISU, L. M. Consumers' response to the EU quality policy allowing for heterogeneous preferences. **Food Policy**, Amsterdam, v. 37, p. 355-365, 2012.

RUNGIE, C. M.; COOTE, L. V.; LOUVIERE, J. J. Latent variables in discrete choice experiments. **The Journal of Choice Modelling**, Leeds, v. 5, p. 145-156, 2012.

SEPÚLVEDA, W. S. **Análisis de atributos de calidad superior ligados con la producción de café, cacao, maracuyá y plátano de la provincia de Manabí:** reporte de proyecto de investigación. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí, 2015.

SEPÚLVEDA, W. S. et al. Consumers' willingness to pay for special coffees in Colombia. En: INTERNATIONAL CONGRESS ON COCOA COFFEE AND TEA, 3., 2015, Aveiro. **Anales…** Aveiro: COCOTEA, 2015. 1 CD-ROM.

SEPULVEDA, W. S.; MAZA, M. T.; PARDOS, L. Aspects of quality related to the consumption and production of lamb meat. Consumers versus producers. **Meat Science**, Amsterdam, v. 87, p. 366-372, 2011.

STREET, D. J.; BURGESS, L.; LOUVIERE, J. Quick and easy choice sets: constructing optimal and nearly optimal stated choice experiments. **International Journal of Research in Marketing**, Amsterdam, v. 22, p. 459-470, 2005.

TEUBER, R.; HERRMANN, R. Towards a differentiated modeling of origin effects in hedonic analysis: an application to auction prices of specialty coffee. **Food Policy**, Amsterdam, v. 37, p. 732-740, 2012.

VERBEKE, W. Agriculture and the food industry in the information age. **European Review of Agricultural Economics**, Oxford, v. 32, n. 3, p. 347-368, 2005.

VERBEKE, W. et al. Consumer versus producer expectations and motivations related to "superior" quality meat: qualitative research findings. **Journal of Food Products Marketing**, Abingdon, v. 11, n. 3, p. 27-41, 2005.

YANG, S. H. et al. Consumer willingness to pay for fair trade coffee: a chinese case study. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, Cambridge, v. 44, n. 1, p. 21-34, 2012.

INDUTORES DE RESISTÊNCIA NO CONTROLE DA CERCOSPORIOSE DO CAFEEIRO: ANÁLISE DE GENES RELACIONADOS À DEFESA

Sandra Eliza Guimarães[1], Mário Lúcio Vilela Resende[2], Deila Magna dos Santos[3], Ana Cristina Andrade Monteiro[4], Victor Augusto Maia Vasconcelos[5], Manoel Batista da Silva Júnior[6]

(Recebido: 27 de agosto de 2015 ; aceito: 20 de janeiro de 2016)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito de indutores de resistência, formulações à base de extratos vegetais e fungicida na proteção de mudas de cafeeiro no controle de *Cercospora coffeicola*. Além disso, objetivou-se selecionar os tratamentos alternativos que se destacaram no controle da cercosporiose e estudar seu efeito como indutor de resistência, por meio da análise da expressão de genes de defesa. Os tratamentos aplicados foram: Greenforce CuCa, Greenforce KP e ET64-DT, que são formulações à base de extratos vegetais (estão sob sigilo de patente - PI 0603575-2), fertilizante mineral, acibenzolar-S-metil (ASM), e como controle, o fungicida epoxiconazol + piraclostrobina. Foram realizadas avaliações semanais de incidência da cercosporiose para cálculo da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da doença. Após análise deste experimento, foram escolhidos os dois melhores tratamentos alternativos para avaliar o potencial de indução de resistência dos mesmos. Para isso, foi instalado um segundo experimento para analisar a expressão de genes que são traduzidos nas enzimas lipoxigenase, catalase, glutationa peroxidase e quitinase. A aplicação do fungicida epoxiconazol + piraclostrobina resultou em controle mais efetivo da incidência da doença, diferindo dos demais tratamentos testados. Os produtos Greenforce CuCa e ASM, na dose 0,05 $g.L^{-1}$, proporcionaram redução de 38 e 35%, respectivamente, da AACPI da cercosporiose, diferindo dos demais tratamentos. Na análise da expressão gênica da resposta aos indutores, observou-se que a maior expressão dos genes que codificam as enzimas lipoxigenase, catalase, glutationa peroxidase e quitinase ocorreu às 24 horas, após aplicação do ASM, e às 48 horas para o Greenforce CuCa, havendo diferença de um tratamento para o outro nestes períodos. Plantas que foram pulverizadas com Greenforce CuCa apresentaram, também, maior expressão do gene da lipoxigenase às 72 horas após a aplicação deste produto, diferindo do ASM. Com este trabalho, foi possível verificar que os produtos Greenforce CuCa e ASM controlam a cercosporiose por meio da indução de genes de defesa em cafeeiro

Termos para indexação: Indução de resistência, espécies reativas de oxigênio, PR- proteína, oxidação de lipídeos.

RESISTANCE INDUCTORS IN CONTROL OF COFFEE CERCOSPORIOSE: ANALYSIS OF GENES RELATED TO DEFENSE

ABSTRACT:*The objective of this study was to evaluate the effect of resistance inducers, plant extract-based formulations and fungicide over the protection of coffee seedlings in controlling Cercospora coffeicola. In addition, the objective was to select alternative treatments that highlight in control of Cercospora leaf spot and study its effect as resistance inducer through the defense gene expression analysis. The treatments applied were: Greenforce CuCa, Greenforce KP, ET64-DT, which are plant extracts-based formulations (are under patent secrecy - PI 0603575-2), mineral fertilizer, acibenzolar-S-methyl (ASM) and, as control, the epoxiconazole + pyraclostrobin fungicide. We conducted weekly evaluations of incidence of cercosporiose to calculate the area under the curve of disease incidence progress (AUCDIP). After analysis of this experiment, the two best alternative treatments to evaluate the resistance-inducing potential of them were chosen. For this, a second experiment was carried out in order to analyze the expression of genes that are translated into the lipoxygenase, catalase, glutathione peroxidase and chitinase enzymes. The application of epoxiconazole + pyraclostrobin fungicide resulted in more effective control of the incidence of the disease, differing from the other treatments tested. The Greenforce Cuca and ASM, 0.05 g.L-1, products resulted in a reduction of AUCDIP of cercosporiose by 38 and 35%, respectively, differing from the other treatments. In the analysis of gene response expression to induce, it was observed that the highest expression of the genes encoding the lipoxygenase, catalase, glutathione peroxidase and chitinase enzymes occurred at 24 hours after application of ASM and 48 hours for Greenforce Cuca, no difference from one treatment to the other in these periods. Plants were sprayed with Greenforce Cuca showed a higher expression of the lipoxygenase gene at 72 hours after application of this product, differed from the ASM. With this work, we found that Greenforce Cuca and ASM products control Cercospora leaf spot through the induction of defense genes in coffee.*

Index terms: *Resistance induction, oxygen reactive species, PR-protein, lipid oxidation.*

[1,2,3,4,5,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG
sandra_ufla@yahoo.com.br, mlucio@dfp.ufla.br, deilamagna@hotmail.com, monteiroaca@yahoo.com.br, victoraugusto_m@hotmail.com, dfp@dfp. ufla.br

1 INTRODUÇÃO

A cercosporiose, também conhecida como mancha circular, mancha parda ou olho de pombo, é uma doença bastante antiga nos cafezais das Américas e, no Brasil, sua ocorrência data de 1887 (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997). O agente causal dessa doença é o fungo Cercospora coffeicola Berk & Cook, que é considerada uma das principais doenças do cafeeiro (ROMERO et al., 2010). Espécies do gênero Cercospora produzem a toxina cercosporina, que é ativada na presença de alta intensidade luminosa (DAUB; HERRERO; CHUNG, 2005). Essa toxina resulta em necrose da célula vegetal, que é o sintoma típico da doença (DAUB; CHUN, 2007).

O controle da doença deve-se iniciar com cuidados desde a formação das mudas, evitando condições favoráveis à doença por meio de práticas culturais, utilizando-se de substratos com nutrientes balanceados, controle da irrigação e do excesso de insolação nas mudas.Entretanto, a principal medida de controle é a utilização de fungicidas de contato ou sistêmicos, tanto em aplicação via solo como foliar (PATRICIO; BRAGHINI, 2011). Porém, devido aos prejuízos causados pela utilização indiscriminada de fungicidas, recentemente pesquisadores vêm buscando medidas de controle alternativo, como a utilização de indutores de resistência, fertilizantes foliares e formulações à base de extratos vegetais, que possuem eliciadores que induzem resistência nas plantas.

Estudos elucidam a utilização de extratos à base de subprodutos da cadeia do cafeeiro, no controle da cercosporiose em cafeeiro. Pereira et al. (2008) constataram que extratos à base de cascas de café reduziram o número de lesões da cercosporiose do cafeeiro. Já Costa et al. (2014), verificaram o controle desta doença em condições de campo, aumento do enfolhamento e produtividade com a utilização de formulações à base de subprodutos da lavoura cafeeira.

A análise da expressão gênica é de fundamental importâcia para o estudo das vias metabólicas e de sinalização, as quais sustentam processos celulares e de desenvolvimento. Embora vários métodos tenham sido utilizados para quantificar a expressão gênica, a reação em cadeia polimerase quantitativo em tempo real (qRT-PCR) é considerada o padrão pela sua sensibilidade, especificidade, dinâmica e capacidade de produção elevada (UDVARDI; CZECHOWSKI; SCHEIBLE, 2008). Assim, a análise de perfis de expressão de genes, em resposta à infecção e ao tratamento com moléculas de sinalização, fornece uma base para identificar as características comuns e/ou antagonistas entre vias de defesa (Schenk et al., 2000).

Os vegetais respondem à estresse biótico e abiótico de várias maneiras; entre elas formando uma explosão oxidativa, que resulta em um aumento das espécies reativas de oxigênio (EROs), antes mesmo que apareçam os sintomas na planta (PITZSCHKE; FORZANI; HIRT, 2006). Estes processos oxidativos têm papel crucial nos estágios iniciais da indução de respostas de defesa, por meio da expressão de genes de defesa e respostas adaptativas (GECHEV et al., 2006).

Todas as EROs são extremamente reativas e citotóxicas, o OH e o O2 produzidos são tão reativos que suas produções devem ser minimizadas rapidamente. O H2O2, quando em alta concentração na célula inibe a fixação de carbono, uma vez que muitas enzimas do ciclo de Calvin são extremamente sensíveis ao H2O2 (HU et al., 2009). Essas moléculas causam peroxidação lipídica, desnaturação protéica e mutação no DNA, podendo levar à disfunções metabólicas irreparáveis e até morte celular (LUKASIK; GOLAWSKA; WÓJCICKA, 2012). A inativação efetiva das EROs exige a ação de uma série de enzimas trabalhando em sincronia. Os mecanismos de destruição das EROs envolvem as enzimas antioxidantes e pró-oxidantes, tais como: superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), dehidroascorbato redutase (DHAR), monodehidroascorbato redutase (MDHAR), glutationa redutase (GR), glutationa peroxidase (GPX) (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002), além dos antioxidantes não enzimáticos.

Diante da necessidade de buscar medidas alternativas de controle da cercosporiose do cafeeiro, objetivou-se, neste trabalho,avaliar indutores de resistência, formulação à base de extratos vegetais e fungicida na proteção de mudas de cafeeiro contra *C. coffeicola*. Para elucidar a ação das formulações utilizadas, os tratamentos alternativos mais promissores foram selecionados para a análise da expressão de genes que codificam enzimas de defesa da planta, por meio da técnica de PCR em tempo real.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo das mudas de cafeeiro

As sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L. Cv. Mundo Novo, seleção 376/4), utilizadas por apresentarem susceptibilidade à cercosporiose, foram adquiridas na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), Centro Tecnológico do Sul de Minas, Lavras, MG, semeadas em bandejas de plástico contendo areia lavada e, na fase de "orelha de onça", foram transplantadas para sacos de polietileno de 2,0 kg, contendo substrato composto por terra, areia e esterco bovino (2:1:1, v/v/v).

As mudas foram mantidas em casa de vegetação durante todo o período experimental, irrigadas e adubadas periodicamente, conforme recomendação de Guimarães et al. (1999).

2.1 Obtenção do inóculo e inoculação de *Cercospora coffeicola*

Para obtenção de esporos de *C. coffeicola,* utilizou-se metodologia proposta por Souza et al. (2011), com algumas adaptações. Oito discos de micélio de C. coffeicola, cultivadas em meio V8, foram macerados e, posteriormente, depositados em 20 mL de meio V8 líquido (100 mL de suco V8 em 900 mL de água destilada), em erlenmeyer de 125 mL, colocados sob agitação contínua (110 rpm). Após quatro dias, o conteúdo de cada erlenmeyer foi vertido em placas de Petri de 9 cm de diâmetro, contendo meio ágar-água (2%). Estas placas foram mantidas abertas, em BOD a 25 °C, sob luz contínua. Após secagem do meio (3-4 dias) foram adicionados 10 mL de água destilada esterilizada, para a remoção dos conídios formados.

A inoculação foi realizada apenas para o experimento de avaliação de produtos alternativos no controle da cercosporiose. Foi realizada pulverização foliar da suspensão de conídios de *C. coffeicola* (concentração 2 x 104 conídios por mL). Após a inoculação, as plantas foram mantidas em câmara úmida por 24 horas.

2.2 Obtenção de formulações e produtos comerciais

As formulações à base de extratos vegetais testadas neste trabalho foram: Greenforce CuCa, Greenforce KP e ET64-DT (estão sob sigilo de patente PI 0603575-2), cedidos pela Agrofitness Tecnologia Agrícola (empresa incubada na Universidade Federal de Lavras). Também foi utilizado o fertilizante mineral, Fulland®, adquirido da Empresa Satis Ltda. Como padrão de indução de resistência, foi escolhido o acibenzolar-S-metil (ASM), Bion®, adquirido da Syngenta Proteção de Cultivos Ltda e, como padrão de controle convencional foi utilizado o fungicida epoxiconazol + piraclostrobina, Opera®, adquirido da Basf SA.

2.3 Produtos alternativos na proteção de mudas de cafeeiro contra a cercosporiose

Para o experimento de avaliação do controle da cercosporiose, foram utilizados os tratamentos descritos na Tabela 1. As doses dos produtos foram utilizadas seguindo as recomendações dos fabricantes, exceto para o ASM, em que as doses utilizadas foram sugeridas de acordo com estudos anteriores, com testes de dose e subdoses para mudas. As mudas de cafeeiro, com quatro pares de folhas, foram pulverizadas com os tratamentos até o ponto de escorrimento, quinzenalmente, totalizando 3 aplicações. Sete dias após a primeira aplicação do produto foi realizada a inoculação com *C. coffeicola*, conforme metodologia descrita anteriormente.

Foram realizadas cinco avaliações semanais da incidência da doença, quantificadas pelo número de folhas com sintomas da cercosporiose, em relação ao total avaliado. A partir desses dados, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da doença em cada tratamento, segundo a fórmula de Shaner e Finney (1977).

2.4 Estudo de expressão gênica

Para o experimento de análise da expressão gênica, da resposta das plantas aos agentes indutores de resistência, foram utilizadas mudas de cafeeiro produzidas conforme descrito no item 2.1, cultivadas em condições controladas, em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia da UFLA, e transferidas para câmara de crescimento vegetal do tipo Fitotron, com 4 pares de folhas totalmente expandidas, aclimatadas, por uma semana, sob as seguintes condições: temperatura média de 25°C, umidade relativa de 70% e luminosidade de 12 horas claro/escuro. A partir dos resultados do experimento anterior, foram selecionados os tratamentos Greenforce CuCa e ASM na dose 0,05gL^{-1} ,para a realização do experimento de expressão gênica, além da testemunha pulverizada com água. Os tratamentos foram aplicados em uma única dose, conforme Tabela 1, até o ponto de escorrimento nas folhas.

TABELA 1 - Tratamentos e doses utilizados na proteção de mudas de cafeeiro contra a cercosporiose, em casa de vegetação.

Tratamento	Produto	Dose (L^{-1})
1	ASM	0,05 g
2	ASM	0,1 g
3	Fertilizante mineral	5 mL
4	Greenforce CuCa*	1,53 mL
5	Greenforce KP*	15 mL
6	ET64 – DT*	15 mL
7	Epoxiconazol + piraclostrobina	1,5 mL
8	Testemunha inoculada	---

*Formulações à base de extratos vegetais que estão sob sigilo de patente PI 0603575-2

As coletas das folhas foram realizadas após a aplicação dos produtos nos tempos: 0, 24, 48 e 72 horas após a aplicação (haa). Foram coletados 2 pares de folhas superiores totalmente expandidas, em cada tempo de coleta, envolvidas em papel alumínio, identificadas, imediatamente mergulhadas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer, a -80 °C, até o momento das extrações do RNA total.

O material vegetal foi macerado em nitrogênio líquido e, aproximadamente, 30 mg de cada amostra macerada foi utilizada para a extração de RNA total, a qual foi realizada utilizando o kit SV Total RNA Isolation System (Promega®), seguindo o protocolo do fabricante para tecidos de plantas.

As amostras que apresentaram alto grau de integridade e pureza, verificadas através de uma PCR convencional, foram usadas para a síntese de cDNA, em que se utilizou o kit 'Super Script® III First-Strand Synthesis Super Mix' (Invitrogen), seguindo protocolo sugerido pelo fabricante. As amostras (cDNA) foram armazenadas a -20°C até o uso.

Primers específicos de genes de sinalização e defesa na interação cafeeiro-patógeno foram desenhados com o auxílio do software Integrated DNA Technologies (IDT) (http://www.idtdna.com/site) e sintetizados pela Sigma Aldrich (Tabela 2). Os genes utilizados neste estudo foram selecionados a partir de estudos em café arábica e , após resultados positivos para não formação de dímeros, a eficiência de anelamento foi verificada através de PCR convencional. Os genes GAPDH e RPL7 foram utilizados como constitutivos, por serem estáveis e constituintes normais das células, foram selecionados a partir dos estudos de Barsalobres-Cavallari et al. (2009), além de também se apresentarem eficientes nos testes descritos acima.

A análise da expressão gênica por qRT-PCR foi realizada em sistema de detecção de sequências ABI PRISM 7500 Real-Time PCR (Applied Biosystems), usando SYBR Green®.

Para cada reação, as amostras que continham o cDNA foram diluídas 10 vezes, adicionando-se 0,4 µL de cada par primer e 5,0 µL de Power SYBR® Green PCR Master Mix (Applied Biosystems TM). A reação foi completada com 3,6 µL de água livre de nuclease (nuclease-freewater) (AmbionTM), para um volume final de 10,0 µL, por amostra. As amostras foram processadas em tréplicas e as condições térmicas da reação foram 2 minutos a 50°C, 10 minutos a 95°C, seguidos por 40 ciclos de 15 segundos a 95°C e 1 minuto a 60°C, finalizando com 15 segundos a 95°C. Os dados gerados foram armazenados e analisados no programa 7500 Fast Software (Versão 2.1).

Os resultados foram normalizados, usando CTs (ciclo Threshold) obtidos para controles endógenos, presentes na mesma reação. O CT foi determinado pelo número de ciclos nos quais a fluorescência gerada dentro de uma reação cruza a linha Threshold. O método usado foi o CT comparativo.

A normalização foi realizada utilizando-se a equação ΔCT = CT (gene alvo) - CT (controle endógeno). A calibração foi determinada pela fórmula $\Delta\Delta C_T = \Delta C_T$ (amostra) - ΔC_T (calibrador). O calibrador é uma amostra usada como base para resultados de expressão comparativa, neste caso sendo o calibrador a testemunha, em cada tempo de coleta. A quantificação relativa foi obtida pela fórmula $2^{-\Delta\Delta C_T}$ (LIVAK; SCHMITTGEN, 2001).

TABELA 2 - Sequências dos primers utilizados para a análise de qRT-PCR.

Genes	Sequência dos *primers* (5'-3')	Tamanho do fragmento	Nº acesso
Catalase (CAT) MN-SSH2-H06	F: CAGGCACATGGATGGATCTGGTG R: TGGCTATGATTTGCTCCACCAACC	153	DQ124022[a]
Glutationaperoxidase (GPX) HT-SSH2-F10	F: GCGTGTCGAAGCAATTCTCGATTCT R: GTGGCCATCGTACGATCTGACC	172	DQ123923[a]
Lipoxigenase (LPX) HT-SSH1-C08	F: CGGCGACTAATCCCTAATGAAA R: GTCTAACCACGGCCAAGTATT	136	DQ123948[a]
Quitinase (CHI)	F: GGAAGAAGTGGCAGCCTA R: GCAGGGTCAGGATAGGA	169	DQ124034[b]
GAPDH	F: TTGAAGGGCGGTGCAAA R: AACATGGGTGCATCCTTGCT	59	SGN-U347734[b]
Rpl7	F: GACCTTGCCCATGAGATCCTGAC R: CCAGCATCGCCTCCTTCAACATAG	136	SGN-U351477[b]

Legenda: [a]Número de acesso de acordo com o GenBank; [b]Número de acesso de acordo com SOL Genomics Network; F: sequência do *primer forward*; R: sequência do *primer reverse*.

2.5 Delineamento experimental

O experimento de avaliação do controle da cercosporiose em mudas de cafeeiro foi instalado em delineamento de blocos casualizados (DBC), com 8 tratamentos, três blocos (repetições) e a parcela experimental constituída por seis plantas. As mudas selecionadas continham quatro pares de folhas totalmente expandidas, sendo que foram selecionadas para avaliação apenas os dois pares de folhas superiores totalmente expandidos. O experimento foi repetido duas vezes e os dados da AACPI de cada experimento foram submetidos, individualmente, à análise de variância e, posteriormente, comparados conforme proposto por Pimentel-Gomes (2009), para verificar a possibilidade de análise conjunta dos dados. Como as condições para análise conjunta foram atendidas, os dados combinados foram avaliados quanto às pressuposições da análise de variância (p = 0,05). A comparação de médias, quando significativas pelo teste F, foi realizada pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sisvar v. 4.3 (FERREIRA, 2000).

No experimento de expressão gênica, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 3 repetições, 3 plantas por parcela e 3 tratamentos, analisados em 4 tempos (0, 24, 48 e 72 horas após aplicação -haa), as folhas referentes às 3 plantas da parcela foram misturadas, formando um *pool,* totalizando 36 amostras a serem analisadas. As análises dos efeitos das interações tratamento e tempo foram feitas através do teste de Tukey, 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar v.4.3 (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da AACPI, observou-se que o fungicida epoxiconazol + piraclostrobina proporcionou um controle da doença mais efetivo, quando comparado aos demais tratamentos testados (Figura 1). A aplicação do Greenforce CuCa e do ASM na dose 0,05 $g.L^{-1}$, também resultou em redução na severidade da doença, diferindo dos demais tratamentos, que diferiram da testemunha inoculada. O fungicida epoxiconazol + piraclostrobina proporcionou controle de 77%, seguido do Greenforce CuCa com 38% e ASM, na dose 0,05 g/L, com 35% (Figura 1).

Os resultados para o experimento de expressão gênica da resposta aos indutores Greenforce CuCa e ASM, ao longo de 0, 24, 48 e 72 horas após os tratamentos, estão apresentados na Figura 2.

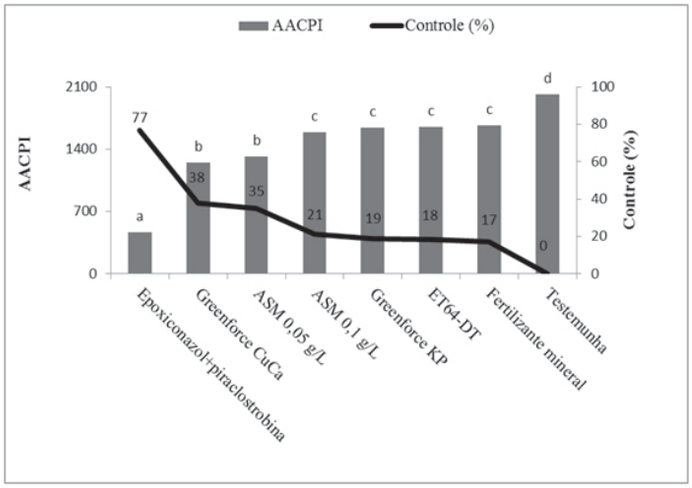

FIGURA 1 - Efeito dos tratamentos sobre a cercosporiose em mudas de cafeeiro. Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da doença. Controle da cercosporiose em porcentagem após os tratamentos com produtos químicos e extratos vegetais. Barras com mesma letra não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

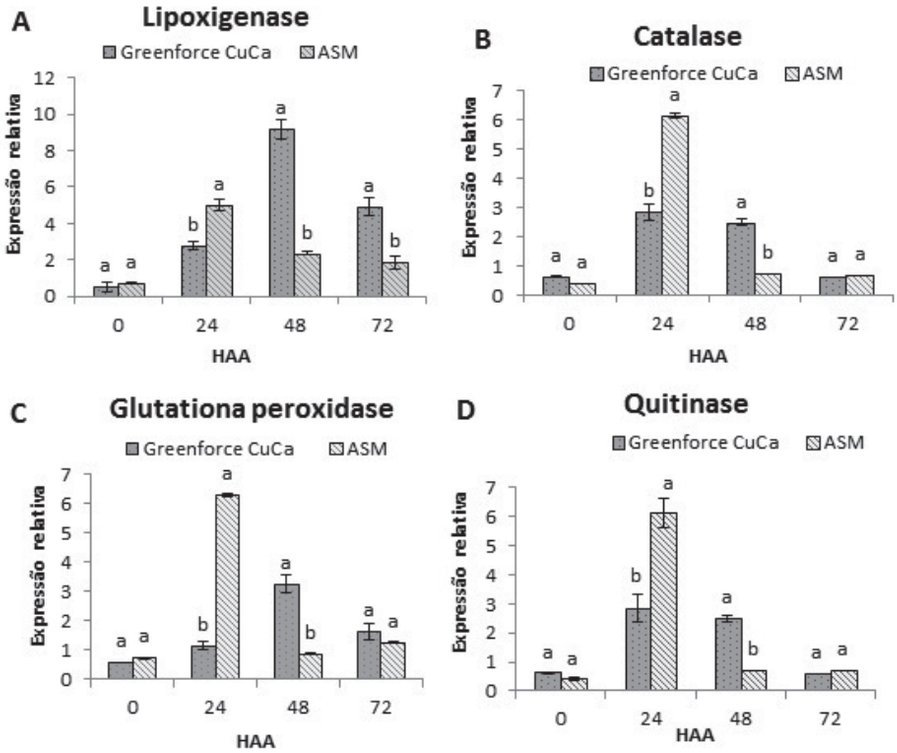

FIGURA 2 - Efeito dos tratamentos Greenforce CuCa e ASM em mudas de cafeeiro. Expressão relativa dos genes que codificam para as enzimas lipoxigenase (A), catalase (B), glutationa peroxidase (C), quitinase (D), nos tempos 0, 24, 48 e 72 horas, após aplicação dos tratamentos. Os genes GAPDH e o RPL7 foram usados como controle endógeno. Barras de erros representam o erro padrão da média de três repetições. As letras nas barras de erros representam a análise dos efeitos de cada produto aplicados ao longo do tempo, conforme Tukey, a 5% de probabilidade.

No período de 0 hora após os tratamentos, não houve diferença entre o Greenforce CuCa e ASM, em nenhum dos genes estudados. Observou-se que a maior expressão dos genes que codificam as enzimas lipoxigenase, catalase, glutationa peroxidase e quitinase ocorreu às 24 horas após aplicação do ASM e às 48 horas para o Greenforce CuCa, havendo diferença de um tratamento para o outro nestes períodos. Plantas que foram pulverizadas com Greenforce CuCa apresentaram, também, maior expressão do gene da lipoxigenase às 72 horas após a aplicação deste produto, diferindo do ASM. Nos demais genes estudados, não houve diferença entre os tratamentos às 72 horas após a sua aplicação.

A utilização de indutores de resistência atua de maneira efetiva no controle da cercosporiose do cafeeiro. Estudos comprovam que, tanto em campo, quanto em casa de vegetação, o uso de produtos à base de extratos provenientes da cadeia produtiva do café e o indutor ASM são efetivos agentes de controle contra doenças do café (COSTA et al., 2014).

No trabalho de Patrício et al. (2007), foi observada uma diminuição dos sintomas da cercosporiose em 55% com aplicação do ASM, na dose 0,025g L^{-1} enquanto que, no presente trabalho, o mesmo produto proporcionou redução dos sintomas em torno de 36%, na dose de 0,05 g L^{-1}.

Com relação às duas concentrações do ASM testadas neste trabalho, observou-se que a menor concentração (0,05g L^{-1}) proporcionou maior controle da cercosporiose. Patrício et al. (2007) avaliaram o efeito do ASM, nas concentrações 25, 50 e 100 µg mL^{-1}, na proteção de cafeeiros 'Catuaí' e 'Obatã' contra o fungo *C. coffeicola;* eles verificaram um menor controle para a maior dose, correspondendo, respectivamente, à uma proteção de 47, 74 e 25%, nas aplicações em intervalo de 96 horas entre tratamento e inoculação do patógeno. Segundo Barguil et al. (2005), a falta de resposta ao aumento da dosagem é um indicativo da indução de resistência em plantas.

Em relação aos extratos à base de subprodutos da cadeia produtiva do café, observou-se neste trabalho que o Greenforce CuCa proporcionou uma significativa redução dos sintomas da doença, com valores equiparados ao controle químico padrão e ao indutor comercial ASM, dado não evidenciado para o outro extrato ET-64 DT. Este efeito pode ser atribuído a alguns dos componentes do Greenforce CuCa: cobre e cálcio, que supre a planta nestes elementos e pode intervir no desenvolvimento da cercosporiose, uma vez que esta doença tem relação com o estado nutricional da planta (POZZA et al., 2000).

Em seus estudos, Costa et al. (2014) verificaram que formulação à base de subprodutos das indústrias de café controla a cercosporiose em condições de campo, além de promover uma redução da desfolha e aumento de produtividade, o que comprova a atuação destes produtos em mudas e em plantas adultas, corroborando com este estudo em que os níveis de controle foram semelhantes.

Em estudos de mecanismos moleculares envolvidos na indução de resistência de plantas contra patógenos, observa-se expressão de diferentes genes de defesa, que estão associados com a indução de resistência em plantas (GANESH et al., 2006). Semelhantemente, observou-se, neste trabalho, que os produtos ASM e Greenforce CuCa induzem à expressão de genes de defesa em cafeeiro.

Os dados apresentados comprovam que o Greenforce CuCa proporcionou uma resposta rápida com a expressão do gene que codifica, para a enzima lipoxigenase. Os tecidos vegetais, quando danificados mecanicamente ou por patógenos, sofrem degradação de lipídios, cujos produtos iniciais são os hidroperóxidos resultantes da ação das lipoxigenases (BUCHANNAN; GRISSEM; JONES, 2006). A lipoxigenase é uma enzima-chave para a formação do ácido jasmônico que, a partir do ácido α-linolênico, leva à formação do ácido jasmônico, um importante hormônio que sinaliza para respostas a patógenos necrotróficos (PIETERSE et al., 2014).

O mecanismo antioxidante é importante para as plantas, uma vez que expor as plantas a estresses bióticos e abióticos pode aumentar a produção das espécies reativas de oxigênio. Este sistema enzimático de defesa antioxidante tem limitado a propagação dos processos oxidativos, permitindo que as células mantenham a sua viabilidade contra a penetração de fungos em tecidos vegetais (DJEBALI et al., 2011); que seria fundamental para o controle da cercosporiose, uma vez que esta inicia sua penetração cerca de 36 horas após o contato com os tecidos (SOUZA et al., 2011), indicando que quanto mais rápida for a defesa das plantas induzida pelos agentes indutores, maior será o sucesso de controle desta doença.

Com relação ao gene que codifica a enzima catalase, o produto ASM promoveu maior expressão às 24 horas após sua aplicação. Esta enzima está envolvida na decomposição das espécies reativas de oxigênio que são também uma das respostas de

defesa associada à SAR (MHAMDI et al., 2010). Com relação ao produto Greenforce CuCa, sua maior expressão para catalase foi verificada 24 e 48 horas, após a aplicação.

Catalases são enzimas indispensáveis para desintoxificação das células das plantas em condições de estresse, uma vez que elas são responsáveis pela dismutação direta de H_2O_2 em H_2O e O_2, removendo este peróxido gerado nos peroxissomos por oxidases envolvidas na oxidação de ácidos graxos, fotorrespiração e catabolismo de purinas (GILL; TUTEJA, 2010).

Com relação à glutationa peroxidase, sua maior expressão ocorreu com o indutor ASM, após 24 horas de aplicação e com Greenforce CuCa, após 48 horas. Esta enzima atua nos mecanismos antioxidantes eliminando as espécies reativas de oxigênio. A glutationa é um marcador da saúde celular e sua queda é indicativa de lesão oxidante (NAVROT et al., 2006).

A enzima quitinase apresentou maior expressão com aplicação do ASM, às 24 haa e com aplicação do Greenforce CuCa às 48 haa. Em estudos de expressão gênica relacionando o indutor ASM, observa-se que, para a quitinase, este agente induz uma resposta rápida, logo nas primeiras horas após a aplicação. Porém, para o Greenforce CuCa, a quitinase teve uma expressão mais prolongada. Extratos vegetais apresentam atividade eliciadora em plantas, e são capazes de aumentar a atividade de enzimas relacionadas à defesa induzida como a quitinase (CAVALCANTI; RESENDE, 2005).

Os dados apresentados neste trabalho, juntamente com as pesquisas que estão sendo feitas, evidenciam que a cercosporiose em mudas pode ser controlada com agente de indução de resistência, incluindo os produtos à base de extratos vegetais, tornado uma ferramenta importante no manejo de doenças de forma segura e menos tóxica ao ambiente. Além disso, é possível inferir que o uso de eliciadores abióticos, como o Greenforce CuCa e ASM, é capaz de ativar os mecanismos de defesa da planta através da expressão de genes que são traduzidos em enzimas do sistema antioxidante, que protege a célula dos danos causados pelo patógeno.

4 CONCLUSÕES

Dentre os produtos alternativos de controle, o Greenforce CuCa e o ASM foram efetivos no controle da cercosporiose do cafeeiro, comparados ao fungicida padrão.

Greenforce CuCa e ASM induzem, de forma diferente, a expressão de genes que codificam para enzimas relacionadas à resistência, sendo que o produto ASM proporciona maior expressão dos genes que codificam lipoxigenase, catalase, glutationa peroxidase e quitinase às 24 haa, enquanto que Greenforce CuCa promove uma maior expressão deste genes às 48 haa.

5 REFERÊNCIAS

ALSCHER, R. G.; ERTURK , N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, May 2002.

BARGUIL, B. M. et al. Effect of extracts from citric biomass, rusted coffee leaves and coffee berry husks on *Phoma costaricencis* of coffee plants. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 535-537, set./out. 2005.

BARSALOBRES-CAVALLARI, C. F. et al. Identification of suitable internal control genes for expression studies in Coffea arabica under different experimental conditions. **BMC Molecular Biology**, London, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2009.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2006. 1341 p.

CAVALCANTI, L. S.; RESENDE, M. L. V. Efeito da época de aplicação e dosagem do acibenzolar-S-metil na indução de resistência à murcha-de-Verticillium em cacaueiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 67-71, jan./fev. 2005.

COSTA, B. H. G. et al. Suppression of rust and brown eye spot diseases on coffee by phosphites and By-products of coffee and citrus industries. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 162, n. 10, p. 635-642, Oct. 2014.

DAUB, M. E.; CHUNG, K. R. **Cercosporin:** a photoactivated toxin in plant disease. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 2007. Disponível em: <http://www.apsnet.org/online/feature/Cercosporin/>. Acesso em: 27 out. 2014.

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. R. Photoactived perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **FEMS Microbiology Letters**, Birmingham, v. 252, n. 2, p. 197-206, Nov. 2005.

DJÉBALI, N. et al. Hydrogen peroxide scavenging mechanisms are components of *Medicago truncatula* partial resistance to *Aphanomyces euteiches*. **European Journal Plant Pathology**, Dordrecht, v. 131, n. 4, p. 559-571, July 2011.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.

GANESH, D. et al. Monitoring of the early molecular resistance responses of coffee (*Coffea arabica* L.) to the rust fungus (*Hemileia vastatrix*) using real-time quantitative RT-PCR. **Plant Science**, Shannon, v. 170, n. 6, p. 1045-1051, Jan. 2006.

GECHEV, T. S. et al. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. Bioessays,_Weinheim, v. 28, n. 11, p. 1091-1101, 2006.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Bali, v. 48, n. 12, p. 909-930, Dec. 2010.

GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia, doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. Viçosa, MG: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p. 184-200.

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

HU, Z. H. et al. Effects of feeding *Closteraana choreta* on hydrogen peroxide accumulation and activities of peroxidase, catalase, and ascorbate peroxidase in *Populus simonii* x *P. pyramidalis* "Opera 8277" leaves. **Acta Physiologica Plantarum**, Amsterdam, v. 31, n. 5, p. 995-1002, 2009.

LIVAK, K. J.; SCHMITTGEN, T. D. Analysis of relative gene expression data using realtime quantitative PCR and the 2-ΔΔC T. **Methods**, Minnesota, v. 25, n. 4, p. 402-408, Dec. 2001.

LUKASIK, I.; GOLAWSKA, S.; WÓJCICKA, A. Effect of cereal aphid infestation on ascorbate content and ascorbate peroxidase activity in triticale. **Polish Journal of Environmental Studies**, Oxford, v. 21, n. 6, p. 1937-1941, June 2012.

MHAMDI, A. et al. Cytosolic NADP-dependent isocitrate dehydrogenase contributes to redox homeostasis and the regulation of pathogen responses in Arabidopsis leaves. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 33, n. 7, p. 1112-1123, July 2010.

NAVROT, N. et al. Identification of a new family of plant proteins loosely related to glutaredoxins with four CxxCmotives. **Photosyntesys Research**, Hague, v. 89, n. 2/3, p. 71-79, Sept. 2006.

PATRICIO, F. R. A.; BRAGHINI, M. T. Efeito de fungicidas triazóis sobre o controle da cercosporiose em mudas de cafeeiro. Arquivo Instituto Biológico, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 241-249, abr./jun. 2011.

PATRÍCIO, F. R. A. et al. Effectiveness of acibenzolar-S-methyl, fungicides and antibiotics for the control of brown eye spot, bacterial blight, brown leaf spot and coffee rust in coffee. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 152, n. 1, p. 29-39, Sept. 2007.

PEREIRA, R. B. et al. Extrato de casca de café, óleo essencial de tomilho e acibenzolar-S-metil no manejo da cercosporiose-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 10, p. 1287-1296, out. 2008.

PIETERSE, C. M. J. et al. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 52, p. 347-375, Aug. 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PITZSCHKE, A.; FORZANI, C.; HIRT, H. Reactive oxygen species signaling in plant. **Antioxidants and Redox Signaling**, New Rochelle, v. 8, n. 9/10, p. 1756-1764, Oct. 2006.

POZZA, A. A. A. et al. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 26, n. 1, p. 29-33, Jan. 2000.

ROMERO, G. et al. Partial resistance to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in coffee (*Coffea Arabica* L.): genetic analysis and molecular characterization of putative candidate genes. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 25, n. 4, p. 685-697, Apr. 2010.

SCHENK, P. M. et al. Coordinated plant defense responses in *Arabidopsis* revealed by microarray analysis. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 97, n. 21, p. 11655-11660, Oct. 2000.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 70, p. 1183-1186, 1977.

SOUZA, A. G. C. et al. Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 159, n. 1, p. 6-11, Jan. 2011.

UDVARDI, M. K.; CZECHOWSKI, T.; SCHEIBLE, W. Eleven golden rules of quantitative RT-PCR. **Plant Cell**, Rockville, v. 20, n. 7, p. 1736-1737, July 2008.

IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA NAS RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E ESPECTRAIS DO CAFEEIRO CONSORCIADO COM ESPÉCIES MADEIREIRAS

Helbert Rezende de Oliveira Silveira[1], Meline de Oliveira Santos[2], Vânia Aparecida Silva[3], Regis Pereira Venturin[4], Margarete Marin Lordelo Volpato[5], Mayara Fontes Dantas[6], Gladyston Rodrigues Carvalho[7], Tesfahun Alemu Setotaw[8], Filipe Chaves Moreira[9], João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa[10], Mário Lúcio Vilela de Resende[11]

(Recebido: 25 de setembro de 2015; aceito: 25 de janeiro de 2016)

RESUMO: Objetivou-se, nesse estudo, avaliar o efeito do déficit hídrico nas respostas espectrais e ecofisiológicas de cafeeiros consorciados com madeireiras. A cultivar Catuaí Vermelho 99 foi plantada em monocultivo e consorciada com as arbóreas mogno-africano, teca e acrocarpo, distribuídas em dois espaçamentos (9 x 13,6 e 18 x 13,6 m), na linha dos cafeeiros. As avaliações de crescimento das arbóreas e do cafeeiro foram realizadas aos 25 meses após o plantio. As avaliações espectrais e ecofisiológicas nos cafeeiros foram realizadas em quatro épocas (junho, agosto, setembro e dezembro de 2014). O acrocarpo apresentou maior altura, diâmetro de copa e caule. Não houve diferenças entre o crescimento dos cafeeiros consorciados e monocultivo. As diferenças de potencial hídrico, índices espectrais e ecofisiológicas foram mais evidentes nas fases de início (agosto) e de recuperação (dezembro) de deficiência hídrica. Em agosto, cafeeiros em monocultivo apresentaram maior potencial hídrico que cafeeiros consorciados e foram discriminados por apresentarem escores positivos e maiores valores dos índices espectrais NDVI, WBI, ARI1, CRI1, SIPI e FRI. Já em dezembro, maiores valores de potencial hídrico foram encontrados no monocultivo, plantio consorciado com teca em ambos os espaçamentos e acrocarpo no maior espaçamento. Contudo, nessa época, destacou-se cafeeiro consorciado com teca no maior espaçamento, que apresentou escores positivos e valores mais elevados de eficiência do uso da água, eficiência fotoquímica potencial do PSII e índices ARI1, CRI1 e FRI. O consórcio com teca no maior espaçamento apresenta impacto positivo sobre respostas espectrais e ecofisiológicas do cafeeiro, após o período sob deficiência hídrica.

Termos para a indexação: *Coffea arabica*, *Khaya ivorensi, Tectona grandis, Acrocarpus fraxinifolius.*

IMPACTS OF WATER DEFICIT IN ECOPHYSIOLOGICAL AND SPECTRAL RESPONSES OF COFFEE INTERCROPPED WITH WOODY SPECIES

ABSTRACT: *The aim of this study was to evaluate the effect of water stress in spectral and ecophysiological responses of coffee trees intercropped with woody species under water deficit. The "Catuaí Vermelho 99" was planted in monoculture and associated with the tree mahogany, teak and acrocarpo distributed in two spacings (9 x 13.6 and 18 x 13.6 m) line of coffee. Evaluations of growth of tree and coffee were performed 25 months after planting. The spectral and ecophysiological evaluations in coffee were held in four moments (June, August, September and December 2014). The acrocarpo presented greater height, crown and stem diameter. There were no differences between the growth of intercropping and monoculture coffee. The differences in water potential, spectral indices and ecophysiological were more evident in the early stages (August) and drought recovery (December). In August, the coffee monoculture showed higher Ψpd than intercropped coffee and was dicriminated by having positive scores and higher values of spectral indices NDVI, WBI, ARI1, CRI1, SIPI and FRI. On the other hand, in December, the largest Ψpd values were found in monoculture, intercropping with teak in both spacing and acrocarpo in greater spacing. However, this time, the highlight was the intercropping coffee with teak in wider spacing, which showed positive scores and higher values of US, potential photochemical efficiency of PSII and indexes (ARI1, CRI1 and FRI). The intercropping with teak in greater spacing has a positive impact on the spectral and ecophysiological coffee's responses after the drought.*

Index terms: *Coffea arabica, Khaya ivorensi, Tectona grandis, Acrocarpus fraxinifolius.*

1 INTRODUÇÃO

No sul de Minas Gerais, variações no clima caracterizadas por episódios de seca ou distribuição irregular de chuvas têm sido observadas com frequência na região, principalmente nos últimos anos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014; MARTINS et al., 2015). Tais condições associadas com extremos de temperatura causam estresse, o que resulta em perda de folhas,

[1,2,3,4,5,6,7]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG/URESM - Campus UFLA - Cx. P. 176 - 37.200-000 Lavras - MG - helbert_rezende@yahoo.com.br, melineoli@hotmail.com, vania.silva@epamig.ufla.br, regis@epamig.br, margarete@epamig.ufla.br, mayarafdantas@gmail.com, carvalho@epamig.ufla.br
[8, 9]Universidade Federal de Lavras/UFLA, Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - setotaw2006@gmail.com, filipemoreira@necafufla.com.br
[10]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - jp.barbosa@dbi.ufla.br
[11]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP -Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG mlucio@dfp.ufla.br

seca de ponteiros, escaldadura, diminuição da fotossíntese, entre outros. Esses sintomas já foram constatados em algumas lavouras do sul de Minas e culminaram em uma redução da safra 2014, ano que apresentou um clima mais atípico (CONAB, 2014). Essa escassez e irregularidade das chuvas no ano de 2014 comprometeram, inclusive, a safra de 2015 (CONAB, 2015).

Diante dessas adversidades, a arborização pode ser uma estratégia para melhorar as condições microclimáticas do cafezal, pois além do efeito direto na redução da radiação, altera o microclima e o balanço hídrico da lavoura como efeitos indiretos da disponibilidade de água no solo e na atmosfera (GOMES et al., 2008; SILES; HARMAND; VAAST, 2010). O sombreamento protege o cafeeiro contra temperaturas extremas, reduz a bienalidade de produção, a incidência de seca dos ponteiros, minimiza a ocorrência da escaldadura e de desfolha e melhora a qualidade do café (MANCUSO; SORATTO; PERDONÁ, 2010; RICCI; COSTA; OLIVEIRA, 2011).

Diversas plantas têm sido estudadas como alternativas para o cultivo consorciado com café no Brasil, como o ingazeiro [Inga sessilis (Vell.) Mart.], a leucena [Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit.], o cedro australiano [Toona ciliata var. australis (F. Muell.) Bahadur] (GUIMARÃES et al., 2014), a seringueira [Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.] (NASCIMENTO et al., 2006), a teca (Tectona grandis L.f.) (MACEDO et al., 2004), a macadâmia (Macadamia integrifolia Maiden & Betche) (PERDONÁ et al., 2012; PEZZOPANE et al., 2010), a eritrina (Erythrina verna Vell.) (RICCI; COSTA; OLIVEIRA, 2011), a bananeira (Musa spp.) (Pezzopane et al., 2007; RICCI; COSTA; OLIVEIRA, 2011), o coqueiro-anão (Cocos nucifera L.) (PEZZOPANE et al., 2011), entre outras.

Por outro lado, a intensidade de sombreamento, o tipo de copa da árvore e o uso de material genético apropriado têm se mostrado como fatores limitantes para o sucesso dos sistemas de cultivo consorciados com cafeeiros (BALIZA et al., 2012a, 2012b; CAVATTE et al., 2012; PEZZOPANE et al., 2010). Siles, Harmand e Vaast (2010) observaram que as árvores podem competir com o cafeeiro por recursos como a radiação, nutrientes do solo e água, quando estão em alta densidade de plantio e/ou em épocas com deficiência hídrica. Outro fator a ser considerado no cultivo consorciado que, entretanto, vem sendo negligenciado nos estudos, se refere ao período em que o sistema se encontra em formação, em pleno crescimento, antes do sombreamento se tornar efetivo. Nesse contexto, não há estudos que relacionem o cultivo consorciado com as alterações fisiológicas e espectrais em cafeeiros, em fase de formação.

Objetivou-se,no presente estudo, avaliar o efeito do déficit hídrico nas respostas espectrais e ecofisiológicas de cafeeiros consorciados com espécies madeireiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em novembro de 2012, em uma propriedade localizada no município de Santo Antônio do Amparo-MG, região produtora de café do sul de Minas, cujas coordenadas são 20° 54’ 58,1” S e 44° 51’ 13,7” W. A região apresenta altitude de 1089 m, temperatura média de 19,8 °C e precipitação 1670 mm/ano. Já as condições climáticas para a região, no ano de 2014, ano em que foram realizadas as avaliações, foram apresentadas na Figura 1. Os dados foram obtidos por meio de uma estação meteorológica, instalada próxima ao local do experimento.

O experimento foi conduzido em esquema de delineamento em blocos casualizados (DBC), contendo sete tratamentos, com quatro parcelas de seis plantas, onde foram avaliadas duas plantas em cada, que estavam localizadas a 1,95 m à esquerda e à direita da espécie arbórea. Os tratamentos foram constituídos pelos sistemas de cultivo: cafeeiros em monocultivo; cafeeiros consorciados com mogno-africano (Khaya ivorensis A. Chev.) no espaçamento de 9 x 13,6 m; cafeeiros consorciados com mogno-africano no espaçamento de 18 x 13,6 m; cafeeiros consorciados teca (Tectona grandis L.f.) no espaçamento de 9 x 13,6 m; cafeeiros consorciados com teca no espaçamento de 18 x 13,6 m; cafeeiros consorciados com acrocarpo (Acrocarpus fraxinifolius Arn.) no espaçamento de 9 x 13,6 m e cafeeiros consorciados com acrocarpo no espaçamento de 18 x 13,6 m.

As três espécies madeireiras foram implantadas entre as plantas na linha dos cafeeiros, na mesma época que a lavoura de *Coffea arabica* cultivar Catuaí 99 (3,40 m x 0,65 m). No espaçamento das entrelinhas foram fixadas três linhas de cafeeiros intercalados às espécies de sombra, num total de 13,6 m, entre as linhas arborizadas. A área experimental recebeu adubações e tratos fitossanitários, de acordo com as recomendações para cada cultura.

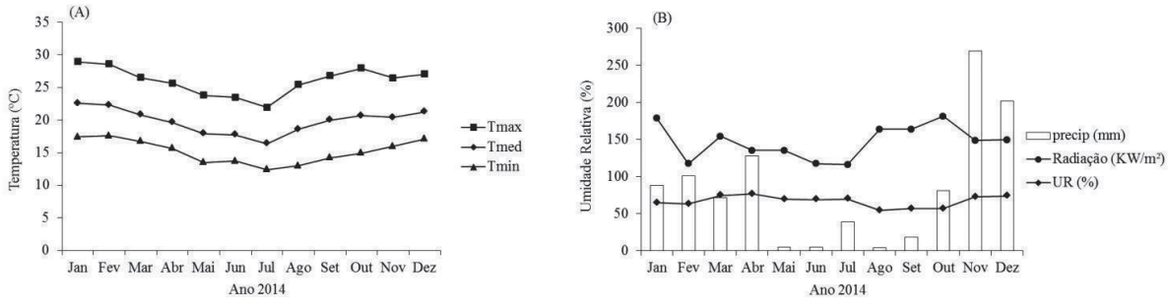

FIGURA 1 - Condições climáticas da região de Santo Antônio do Amparo, no ano de 2014. (A) temperaturas máxima, média e mínima. (B) Umidade relativa, precipitação e radiação.

As avaliações de crescimento foram realizadas aos 25 meses após o plantio e mediu-se, tanto dos cafeeiros, quanto das espécies arbóreas, os diâmetros do caule (cm) e da copa (m) e a altura (m). As avaliações ecofisiológicas e espectrais foram realizadas apenas nos cafeeiros, nos meses de junho, agosto, setembro (época com baixa precipitação e ocorrência de deficiência hídrica) e dezembro (época com alta precipitação e disponibilidade hídrica). As medições de potencial hídrico, espectro de reflectância foliar, trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila foram realizadas no mesmo dia, em cada época.

Valores referentes ao potencial hídrico das plantas foram obtidos com auxílio de uma câmara de pressão, tipo Scholander (PMS Instruments-Plant Moisture- Modelo 1000), antes do amanhecer (Ψpd - MPa).

Avaliou-se o espectro de reflectância foliar com o auxílio de um mini- espectrômetro foliar CI-710 (CID Bioscience, Camas, WA), que irradia sobre a amostra de folha a luz de um LED azul e de uma lâmpada incandescente, fornecendo saída na faixa do visível ao infravermelho (intervalo 400-1000 nm). Com os valores obtidos, inferiram-se os índices descritos abaixo pelas equações, onde R é o comprimento de onda eletromagnética utilizada:

1) Índice de reflectância fotoquímica - Photochemical reflectance index - PRI (R531 - R570)/(R531 + R570) (GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).

2) Índice de reflectância de senescência - Plant senescence reflectance index - PSRI (R680 - R500) / R750 (MERZLYAK et al., 1999).

3) Índice de vegetação por diferença normalizada - Normalized difference vegetation index - NDVI (R800 - R680) / (R800 + R680) (ROUSE et al., 1974).

4) Índice de banda de água - Water band index - WBI (R900 / R970) (PEÑUELAS et al., 1997).

5) Índice de reflectância de antocianinas - Anthocyanin reflectance index - ARI1 (1/R550) - (1/R700) (GITELSON; MERZLYAK; CHIVKUNOVA, 2001).

6) Índice de reflectância de carotenoides - Carotenoid Reflectance Index - CRI1 (1/R510) - (1/R550) (GITELSON et al., 2002).

7) Índice de pigmentos independente de componentes estruturais - Structure-insensitive pigment index - SIPI (R800 - R445) / (R800 + R680) (PEÑUELAS; BARET; FILELLA, 1995).

8) Índice de reflectância de flavonoides - Flavonol reflectance index - FRI (1/R410 - 1/R460) * R800 (MERZLYAK et al., 2005).

A avaliação de trocas gasosas foi realizada utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA). O equipamento foi calibrado antes de ser utilizado, conforme as normas de calibração descritas no manual (LI-COR BIOSCIENCES, 2012). As medições foram realizadas em folhas completamente expandidas, no 3º ou 4º pares de folhas. As características avaliadas foram: taxa fotossintética líquida (A - µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$), condutância estomática (gs - mol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) e transpiração (E - mmol$H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). A eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi obtida pela relação A/E. Todas as avaliações foram realizadas entre 9 e 11 horas (horário solar), com utilização de fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em câmara fechada fixada em 1500 µmol de fótons m^{-2} s^{-1} (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA). A taxa de assimilação de CO_2 na câmara foi medida com a concentração ambiente de CO_2.

No mesmo horário em que foram feitas as análises de trocas gasosas determinou-se, com o auxílio de um fluorômetro portátil MINI-PAM (Walz Inc.) a eficiência fotoquímica efetiva do PSII (ϕPSII) (PSII), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (qN), o coeficiente de extinção não fotoquímico (NPQ) e a taxa relativa de transporte de elétrons (ETR). O valor de eficiência fotoquímica potencial do PSII (F0/Fm) foi determinado no período noturno, entre 19:00 e 20:00 horas.

Os valores das análises de crescimento em altura, diâmetro do caule e copa e potencial hídrico foram submetidos à análise de variância, no programa estatístico SISVAR 4.3 (FERREIRA, 2011). Os valores médios foram comparados, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

As demais variáveis fisiológicas, em cada época de avaliação, foram analisadas através de Análise de Componentes Principais (ACP), pelo programa R (R CORE TEAM, 2014), utilizando o pacote FactoMineR (HUSSON et al., 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 25 meses após o plantio, observou-se que as espécies arbóreas apresentaram diferenças quanto ao crescimento com destaque para plantas de acrocarpo que apresentaram maior altura, diâmetro de copa e de caule (Tabela 1). De acordo com Venturin et al. (2014), as plantas de acrocarpo apresentam um crescimento rápido e grande potencial para estabelecimento na região. Para o cafeeiro não foram observadas diferenças significativas para nenhum parâmetro de crescimento, ou seja, o seu desenvolvimento vegetativo não foi alterado pelo cultivo das arbóreas na mesma linha, uma vez que não diferiu significativamente do monocultivo. Pezzopane et al. (2007) também observaram que não houve diferença entre os padrões sazonais de crescimento entre o cafeeiro consorciado com banana 'prata anã' e o cultivo a pleno sol.

Nas análises de potencial hídrico (Ψpd), em junho, os cafeeiros estavam com altos valores e não houve diferenças entre os diferentes tipos de consórcio e o monocultivo (Figura 2). No mês de agosto, já foi possível observar diferentes valores de Ψpd, sendo que maiores valores foram encontrados em cafeeiros sob monocultivo, seguido pelo consorciado com mogno-africano, no espaçamento menos adensado (18x13,6 m), o que indica que, em fase inicial de deficiência hídrica, as espécies arbóreas alteram o Ψpd de plantas de café. A redução no potencial hídrico, no mês de agosto, pode ser um reflexo direto das condições climáticas, que vinha de um acumulado de quatro meses com baixos índices de precipitação, levando a uma redução da disponibilidade de água no solo.

No mês de setembro, os valores de potencial hídrico caracterizaram valores de déficits hídricos considerados moderados, e já não houve diferença entre os cafeeiros cultivados nos diferentes sistemas de cultivo (Figura 2). Isso resultou da baixa precipitação ocorrida na época, somada a um aumento na temperatura e insolação, o que afetou o cafeeiro independentemente do sistema de cultivo a que estava submetido.

Considerando o mês de dezembro, observou-se uma tendência de recuperação do potencial hídrico dos cafeeiros, em que maiores valores foram encontrados no monocultivo, plantio consorciado com teca em ambos os espaçamentos e acrocarpo, no maior espaçamento. Essa recuperação do potencial hídrico observada pode ter sido devido ao aumento no volume de precipitação nos meses de novembro e dezembro, associado a uma leve redução na insolação. Contudo, nos cafeeiros consorciados com mogno-africano e acrocarpo, os potenciais hídricos ainda foram menores do que os cafeeiros em monocultivo e os cultivados consorciados com teca.

O fato do menor potencial hídrico ter sido encontrado em cafeeiros consorciados com acrocarpo no menor espaçamento, pode estar relacionado ao fato de que plantas dessa espécie arbórea, nessa condição, apresentaram o maior crescimento em altura, e consequentemente um provável maior desenvolvimento de raízes. Um maior volume radicular pode gerar uma grande competitividade pela água disponível no solo, levando a uma queda do potencial hídrico dos cafeeiros cultivados em seu entorno. Além disso, uma vez que o cafeeiro e as arbóreas estavam em fase de formação, o sistema radicular de ambos ainda ocupam a mesma profundidade, o que pode contribuir também para concorrência por água livre no solo. Segundo Siles, Harmand e Vaast (2010), quando o sistema consorciado já está estabelecido, com as plantas atingindo seu crescimento ideal, há uma complementariedade na distribuição entre as raízes do cafeeiro, que são mais superficiais, e das arbóreas consorciadas, que são mais profundas, resultando em uma baixa competitividade por água e nutrientes do solo, aumentando a eficiência em termos de exploração do solo.

TABELA 1 - Análise de crescimento em diâmetro do caule (cm), altura (m) e diâmetro da copa (m) de espécies arbóreas plantadas em dois espaçamentos entre cafeeiros e de cafeeiros. MoE1= mogno-africano (9 x 13,6 m); MoE2= mogno-africano (18 x 13,6 m); TeE1= teca (9 x 13,6 m); TeE2= teca (18 x 13,6 m); AcE1= acrocarpo (9 x 13,6 m); AcE2= acrocarpo (18 x 13,6 m); Mono= cafeeiro em monocultivo.

	Tratamentos						
Espécies arbóreas	MoE1	MoE2	TeE1	TeE2	AcE1	AcE2	
Diâmetro do caule	4,32b	2,35d	3,51c	3,64c	9,44a	9,24a	
Altura	1,69d	1,58d	2,53c	2,72c	8,19a	7,40b	
Diâmetro da copa	1,33b	1,17b	1,18b	1,25b	1,78a	2,02a	
Cafeeiros	MoE1	MoE2	TeE1	TeE2	AcE1	AcE2	Mono
Diâmetro do caule	2,1a	1,8a	1,9a	1,8a	1,8a	2,0a	2,1a
Altura	0,9a	0,8a	0,9a	0,9a	0,9a	1,0a	0,9a
Diâmetro da copa	1,1a	0,9a	1,0a	1,0a	1,0a	1,1a	1,0a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não apresentaram diferenças significativas entre si, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

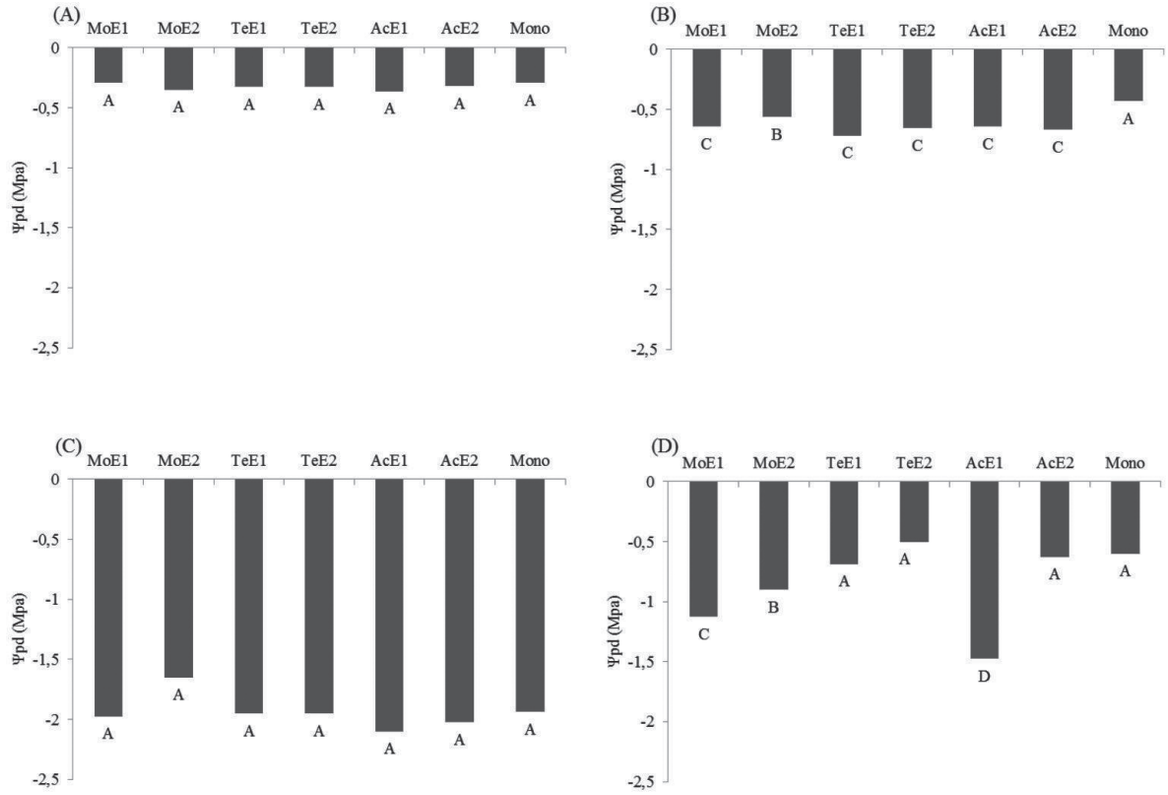

FIGURA 2 - Potencial hídrico antemanhã (Ψ_{pd}) de cafeeiros consorciados com arbóreas, plantadas em dois espaçamentos, acrescido de uma testemunha a pleno sol, nos meses de junho (A), agosto (B), setembro (C) e dezembro (D). MoE1= mogno-africano (9 x 13,6 m); MoE2= mogno-africano (18 x 13,6 m); TeE1= teca (9 x 13,6 m); TeE2= teca (18 x 13,6 m); AcE1= acrocarpo (9 x 13,6 m); AcE2= acrocarpo (18 x 13,6 m); Mono= cafeeiro em monocultivo.

Nas análises de componentes principais verificou-se que, no mês de junho, as duas primeiras componentes principais explicaram 58,32% da variabilidade das respostas (Figura 3A e 3B). As variáveis de maior peso no primeiro vetor, que explica 36,27% da variabilidade total, foram, em ordem decrescente, os índices de reflectância NDVI, ARI1, CRI1 e SIPI e, por valor negativo, a eficiência fotoquímica efetiva do PSII e a taxa relativa de transporte de elétrons (ETR).

A dissimilaridade entre os cafeeiros cultivados em diferentes sistemas de cultivo foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais, em que os cafeeiros em monocultivo apresentaram maiores valores dos índices NDVI, ARI1, CRI1 e SIPI. Maiores valores de índices de reflectância relacionados a pigmentos, como NDVI, ARI1, CRI1, FRI e SIPI, podem estar ligados ao fato de que cafeeiros em monocultivo estão sujeitos a uma maior exposição à radiação solar, quando comparados aos cultivos consorciados que já apresentam algum sombreamento pelas arbóreas. Uma maior exposição à radiação UV ou visível pode levar a um acúmulo de antocianinas, carotenoides e flavonoides (GITELSON et al., 2002; GITELSON; MERZLYAK; CHIVKUNOVA, 2001; MERZLYAK et al., 2005), consequentemente aumentando esses índices.

Por outro lado, o segundo vetor (Componente Principal 2 – CP2) explica 22,05% da variabilidade dos dados. Os valores mais altos (positivos) foram obtidos com as variáveis relacionadas às trocas gasosas como fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E). Os valores mais baixos (negativos) foram verificados com a eficiência do uso da água (EUA). Nesse caso, destacam-se os cafeeiros consorciados com teca no menor espaçamento que apresentaram maiores valores de EUA, pois apresentaram menores valores de *gs* e a transpiração, com manutenção das taxas fotossintéticas. De acordo com Damatta et al. (2007), o microclima de um cultivo arborizado promove a redução do déficit de pressão de vapor (DPV), o que favorece a redução de "*gs*" associada à manutenção de "A", resultando em maior eficiência do uso da água.

Em agosto, as duas primeiras componentes principais explicaram 71,04% da variabilidade das respostas (Figura 3C e 3D). Na CP1, pôde-se observar que as variáveis mais representativas foram os índices espectrais NDVI, WBI, ARI1, CRI1, SIPI e FRI,enquanto que eficiência de uso da água (EUA) se mostrou negativamente correlacionada (Figura 3C). Os cafeeiros em monocultivo foram os que apresentaram maiores valores para os índices espectrais e menores valores de EUA, destacando-se isoladamente na dispersão gráfica dos componentes principais (Figura 3D).

A menor eficiência de uso da água nos cafeeiros em monocultivo decorre do maior déficit de pressão de vapor na lavoura que, além de gerar decréscimos na *gs* e transpiração, diminui também a fotossíntese. Como consequência da redução de A, há queda na utilização fotoquímica da irradiância incidente, o que pode resultar na formação de espécies reativas de oxigênio (DAMATTA et al., 2007). Nesse contexto, pode ocorrer a ativação da síntese de pigmentos, como estratégia de proteção contra danos oxidativos. Como os pigmentos determinam os valores de índices espectrais, isso pode explicar porque menores valores de eficiência do uso da água estão correlacionados com maiores valores de índices espectrais, nessa época. Evidências adicionais para essas colocações surgiram a partir das observações de que, por outro lado, os cafeeiros consorciados com mogno-africano, em ambos os espaçamentos, e aqueles consorciados com acrocarpo no maior espaçamento apresentaram padrão oposto de respostas fisiológicas, ou seja, menores valores para os índices espectrais e maiores valores de EUA. Além disso, a análise da CP2 indicou que os cafeeiros consorciados com mogno, em ambos os espaçamentos, e com acrocarpo no maior espaçamento apresentaram também maiores scores dos parâmetros ϕPSII e ETR, indicando maior eficiência fotoquímica.

Apesar dos maiores valores de EUA, o potencial hídrico estava menor nos cafeeiros consorciados do que nos cafeeiros monocultivo. Inclusive, os cafeeiros consorciados apresentaram menores valores de WBI, que é um índice relacionado ao conteúdo de água na folha, sendo que menores valores indicam menores potenciais hídricos (GAALEN; FLANAGAN; PEDDLE, 2007; NAGY; TAMÁS, 2013; PEÑUELAS et al., 1997). Isso sugere que, se por um lado, o cultivo consorciado aumentou a eficiência de uso da água, por outro lado, pode ter promovido a competição pela água disponível no solo, o que resultou em menores valores de potencial hídrico nos cafeeiros.

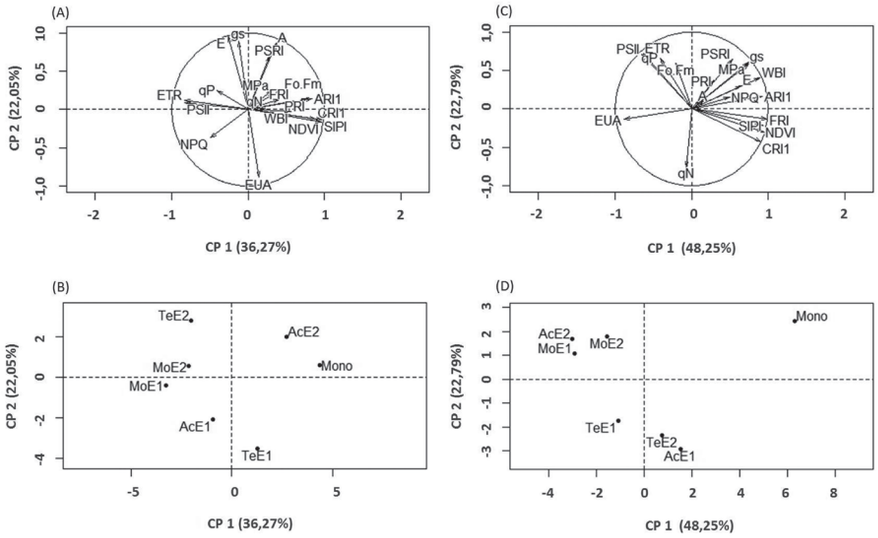

FIGURA 3 - Biplot para os dois primeiros eixos da análise de componentes principais para os dados dos sete tratamentos, em função dos parâmetros ecofisiológicos avaliados em junho e agosto. (A, C) Os coeficientes de correlação para todos os parâmetros, nos meses de junho e agosto, respectivamente, foram representados pelos vetores. (B, D) A segregação dos sete tratamentos estudados, baseada nos parâmetros ecofisiológicos avaliados nos meses de junho e agosto, respectivamente. MoE1= mogno-africano (9 x 13,6 m); MoE2= mogno-africano (18 x 13,6 m); TeE1= teca (9 x 13,6 m); TeE2= teca (18 x 13,6 m); AcE1= acrocarpo (9 x 13,6 m); AcE2= acrocarpo (18 x 13,6 m); Mono= cafeeiro em monocultivo.

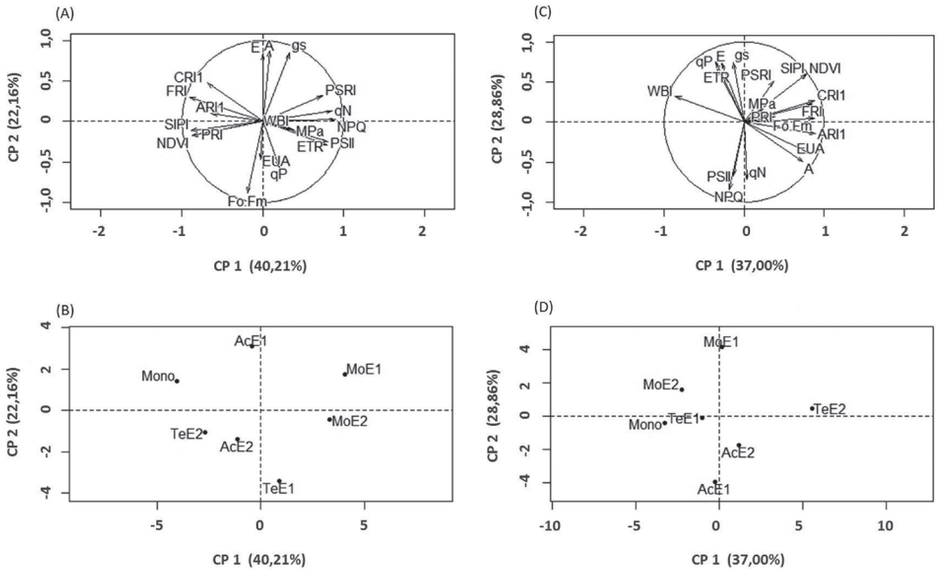

FIGURA 4 - Biplot para os dois primeiros eixos da análise de componentes principais para os dados dos sete tratamentos, em função dos parâmetros ecofisiológicos avaliados em setembro e dezembro. (A, C) Os coeficientes de correlação para todos os parâmetros, nos meses de setembro e dezembro, respectivamente, foram representados pelos vetores. (B, D) A segregação dos sete tratamentos estudados, baseada nos parâmetros ecofisiológicos avaliados nos meses de setembro e dezembro, respectivamente. MoE1= mogno-africano (9 x 13,6 m); MoE2= mogno-africano (18 x 13,6 m); TeE1= teca (9 x 13,6 m); TeE2= teca (18 x 13,6 m); AcE1= acrocarpo (9 x 13,6 m); AcE2= acrocarpo (18 x 13,6 m); Mono= cafeeiro em monocultivo.

No mês de setembro, as duas primeiras componentes principais explicaram 62,37% da variabilidade das respostas (Figura 4A e 4B). Com base na CP1, observou-se que os parâmetros fotoquímicos ϕPSII, qN e NPQ apresentavam elevados scores com valores positivos, enquanto que negativamente correlacionados estavam os índices espectrais NDVI, SIPI e FRI (Figura 4A). Nesse ponto, destacaram-se os cafeeiros em monocultivo que apresentaram menores valores para os parâmetros fotoquímicos ϕPSII, qN e NPQ, com maiores valores de NDVI, SIPI e FRI. Por outro lado, uma situação contrária foi encontrada para cafeeiros consorciados com mogno-africano, em ambos os espaçamentos. Para a CP2, maiores valores positivos de scores foram apresentados pelos parâmetros fotossíntese, condutância estomática e transpiração, sobressaindo, nesse caso, com maior valor, os cafeeiros consorciados com acrocarpo no menor espaçamento. O parâmetro mais significativo negativamente foi a eficiência fotossintética potencial (F0/Fm) que destacou os cafeeiros consorciados com teca no menor espaçamento.

Apesar de, no mês de setembro, não terem sido verificadas diferenças entre o potencial hídrico dos cafeeiros consorciados em relação ao monocultivo, no mês anterior, constatou-se menor manutenção do status hídrico, verificada pelos menores valores de potencial hídrico, indicando um progresso mais rápido da deficiência hídrica nos cafeeiros consorciados. O progresso rápido do estresse por seca pode levar à alterações nos parâmetros fotoquímicos para proteger as folhas dos danos decorrentes do excesso de excitação das clorofilas sob deficiência hídrica (POMPELI et al., 2010) e prevenir a formação de radicais livres (MURCHIE; LAWSON, 2013). Isso pode se justificar porque maiores valores de qN (quenchings não-fotoquímico) foram encontrados em plantas consorciadas com mogno-africano; e indica que parte da radiação absorvida foi dissipada em forma de calor, nesses cafeeiros (HENRIQUES, 2009; LI et al., 2013).

Na avaliação do mês de dezembro, as duas primeiras componentes principais explicaram 65,86% da variabilidade das respostas (Figura 4C e 4D). Na CP1, pôde-se observar que as variáveis com scores positivos mais elevados foram EUA, eficiência fotoquímica potencial do PSII (F0/Fm), e os índices de reflectância ARI1, CRI1 e FRI, enquanto que WBI se mostrou negativamente relacionado (Figura 4C). Maiores valores para as variáveis mais representativas positivamente na CP1 foram encontrados em cafeeiros consorciados com teca no maior espaçamento e, os menores, nos cafeeiros em monocultivo. Nesse tempo, evidencia-se o cafeeiro consorciado com teca no maior espaçamento que, embora tenha apresentado potencial hídrico semelhante ao monocultivo, proporcionou maior eficiência de uso da água, pela melhoria das condições microclimáticas. Nessa época de recuperação hídrica, observou-se que a correlação entre índices espectrais e eficiência do uso da água foi positiva e, portanto, os cafeeiros consorciados com teca no maior espaçamento apresentaram também maiores valores de índices espectrais relativos aos pigmentos que os demais cafeeiros, inclusive o monocultivo. Isso não ocorreu porque o monocultivo passou a apresentar menores valores de ARI, CRI1 e FRI, e sim porque o cafeeiro consorciado com teca aumentou esses valores nesse período. Portanto, após recuperação hídrica, esses cafeeiros consorciados com teca, que apresentaram melhores condições fisiológicas, apresentaram disponibilidade de assimilados para ativação da síntese de pigmentos, como estratégia para minimizar estresse oxidativo ocasionado por novos ciclos de seca (BHARGAVA; SWANTAN, 2012).

Nessa mesma fase de recuperação hídrica, ao analisar a CP2, observou-se que a variável mais representativa foi a condutância estomática (gs), estando a variável NPQ inversamente relacionada. Destacaram-se, por essa componente, as diferenças entre os cafeeiros consorciados com mogno-africano no menor espaçamento, e cafeeiros consorciados com acrocarpo, no menor espaçamento. Os cafeeiros consorciados com mogno-africano no menor espaçamento apresentaram maior condutância estomática e menores valores de NPQ. Já para os cafeeiros consorciados com acrocarpo no menor espaçamento, houve maior valor de NPQ e menores de condutância estomática. De acordo com o potencial hídrico, os cafeeiros consorciados com acrocarpo no menor espaçamento apresentaram menor recuperação hídrica do que os cafeeiros consorciados com mogno africano no menor espaçamento. Sob potenciais hídricos mais baixos e menores valores de condutância estomática, as irradiâncias podem se tornar superiores às necessárias para saturar a fotossíntese, o que pode resultar em perda de eficiência fotoquímica e aumento nos valores de NPQ. Isso indica que, nos cafeeiros consorciados com acrocarpo no menor espaçamento houve maior dissipação do excesso de energia não absorvida pela fase fotoquímica da fotossíntese (MISHRA et al., 2012).

De maneira geral, as variáveis que mais contribuem para a variabilidade das respostas do cafeeiro, submetido aos diferentes tipos de consórcio com madeireiras na fase de formação variaram, de acordo a intensidade e recuperação do déficit hídrico. Isso evidencia também a complexidade das respostas ecofisiológicas e espectrais em virtude da plasticidade fisiológica do cafeeiro às variações ambientais. Corroborando com essas observações sobre a plasticidade do cafeeiro, Baliza et al. (2012a) constataram que diferentes níveis de sombreamento e modificações sazonais (período chuvoso e seco) promovem alterações nas características fisiológicas do cafeeiro.

Nesse contexto, foi possível identificar que os índices espectrais NDVI, WBI, SIPI, ARI, CRI, FRI explicaram variações existentes entre os cafeeiros cultivados em monocultivo e demais sistemas de consórcio. Os parâmetros de eficiência fotoquímica, qN e NPQ e eficiência de uso da água também foram importantes para discriminação dos cafeeiros em diferentes sistemas de cultivo, principalmente sob deficiência hídrica.

O mês em que foi possível evidenciar a separação entre os cafeeiros em monocultivo dos demais cafeeiros consorciados foi agosto, época em que a deficiência hídrica nas plantas estava iniciando e as condições climáticas foram caracterizadas por altas temperaturas associadas com baixa umidade relativa do ar, baixa precipitação e alta intensidade de radiação. Nessa época, os cafeeiros consorciados exibiram respostas à deficiência hídrica inicial como, aumento eficiência de uso da água e aumento nos valores de dissipação fotoquímico, evidenciando competição por água do cafeeiro com as arbóreas. Essas respostas destacaram, principalmente, os cafeeiros em sistemas consorciados com mogno-africano, em ambos os espaçamentos. Durante o período inicial de déficit hídrico, o aumento na eficiência do uso da água e nos parâmetros de dissipação fotoquímica pode indicar uma tentativa de proteger os centros de reação contra danos oxidativos (CAVETTE et al., 2012; LI et al., 2013).

Já na fase de recuperação hídrica das plantas, os dados indicaram que o cultivo consorciado com acrocarpo no menor espaçamento exibiu respostas negativas, enfatizando uma competição por água entre o acrocarpo e o cafeeiro. Por outro lado, o sistema consorciado com teca no maior espaçamento foi destaque nessa época de retorno da precipitação, pois apresentou parâmetros fisiológicos que sugerem melhoria das condições microclimáticas e hídricas das plantas, em relação ao monocultivo.

4 CONCLUSÕES

O consórcio com teca no maior espaçamento apresenta impacto positivo sobre as respostas espectrais e ecofisiológicas do cafeeiro, após um período de deficiência hídrica.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT/CAFÉ, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e à Fundação Neumann do Brasil.

6 REFERÊNCIAS

BALIZA, D. P. et al. Physiological characteristics and development of coffee plants underdifferent shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p. 37-43, jan./mar. 2012a.

_____. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set./dez. 2012b.

BHARGAVA, S.; SWANTAN, K. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. Plant Breeding, Hoboken, v. 132, n. 1, p. 21-32, 2012.

CAVATTE, P. C. et al. Could shading reduce the negative impacts of droughton coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 144, n. 2, p. 111-122, Feb. 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Quarto levantamento:** dezembro 2014. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_22_09_53_55_b oletim_dezembro_2014.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2015.

_____. **Terceiro levantamento:** setembro 2015. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_30_11_17_06_boletim_cafe_setembro_2015.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2015.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, p. 485-510, 2007.

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

GAALEN, K. E. van; FLANAGAN, L. B.; PEDDLE, D. R. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and spectral reflectance in *Sphagnum moss* at varying water contents. **Oecologia**, New York, v. 153, n. 1, p. 19-28, Aug. 2007.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 41, n. 1, p. 35- 44, July 1992.

GITELSON, A. A. et al. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. **Photochemistry and Photobiology**, Hoboken, v. 75, n. 3, p. 272-281, Mar. 2002.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, Hoboken, v. 74, n. 1, p. 38-45, July 2001.

GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-105, jan./fev. 2008.

GUIMARÃES, G. P. et al. Stocks and oxidizable fractions of soil organic matter under organic coffee agroforestry systems. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 132-141, jan./mar. 2014.

HENRIQUES, F. S. Leaf chlorophyll fluorescence: background and fundamentals for plant biologists. **The Botanical Review**, New York, v. 75, n. 3, p. 249-270, Sept. 2009.

HUSSON, F. et al. **FactoMineR:** multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R package version 1.28. 2014.

LI, G. L. et al. Response of chlorophyll fluorescence parameters to drought stress in sugar beet seedlings. **Russian Journal of Plant Physiology**, New York, v. 60, n. 3, p. 337-342, May 2013.

LI-COR BIOSCIENCES. **Using the LI-6400 / LI6400 XT**. Portable Photosynthesis System, 2012. Disponível em: <https://app.boxenterprise.net/s/s8zyqu2vwndny903qutg>. Acesso em: 10 jan. 2014.

MACEDO, R. L. G. et al. Estabelecimento de Tectona grandis L.f. (Teca) em sistemas agroflorestais com *Coffea arabica L.* em Lavras-MG. **Agrossilvicultura**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 71-80, 2004.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 9, n. 1, p. 31-44, jan./jun. 2013.

MARTINS, E. et al. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 499-506, out./dez. 2015.

MERZLYAK, M. N. et al. Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 162, n. 2, p. 151-160, Feb. 2005.

_____. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 106, n. 1, p. 135-141, May 1999.

MISHRA, K. B. et al. Engineered drought tolerance in tomato plants is reflected in chlorophyll fluorescence emission. **Plant Science**, Shannon, v. 182, p. 79-86, Jan. 2012.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, Oct. 2013.

NAGY, A.; TAMÁS, J. Noninvasive water stress assessment methods in orchards. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 44, p. 366-376, 2013.

NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (Hevea brasiliensis Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, maio/jun. 2006.

PEÑUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 31, p. 221-230, 1995.

PEÑUELAS, J. et al. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon, v. 18, n. 13, p. 2869-2875, 1997.

PERDONÁ, M. J. et al. Crescimento e produtividade de nogueira-macadâmia em consórcio com cafeeiro arábica irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 11, p. 1613-1620, nov. 2012.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro-anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, Campinas, v. 42, n. 4, p. 865-871, out./dez. 2011.

_____. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana prata anã. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 701-709, 2007.

_____. 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, jun. 2010.

POMPELLI, M. F. et al. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 167, n. 13, p. 1052-1060, Sept. 2010.

R CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Software.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 44-54, jan./abr. 2011.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1974, Greenbelt. **Proceedings…** Greenbelt: NASA SP-351, 1974. p. 301-317.

SILES, P.; HARMAND, J. M.; VAAST, P. Effects of Inga densiflora on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 78, n. 3, p. 269-286, Mar. 2010.

VENTURIN, N. et al. Desempenho silvicultural de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight em função de diferentes espaçamentos e idades. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 629-636, out./dez. 2014.

RESÍDUO DA SECAGEM DOS GRÃOS DE CAFÉ COMO SUBSTRATO ALTERNATIVO EM MUDAS DE CAFÉ CONILON

Caroline Merlo Meneghelli[1], Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco[2], Ismail Ramalho Haddade[3], Lorena Aparecida Merlo Meneghelli[4], Marcelo Rodrigo Krause[5]

(Recebido: 26 de setembro de 2015 ; aceito: 28 de janeiro de 2016)

RESUMO: Dentre os diversos resíduos gerados durante o processo de beneficiamento do café, destaca-se aquele proveniente da secagem dos grãos, denominado na região serrana do Espírito Santo como "moinha". Em razão de sua potencialidade nutricional e a necessidade de dispô-lo adequadamente no meio ambiente, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar o uso de diferentes concentrações de moinha como substrato alternativo, no desenvolvimento vegetativo de mudas de café Conilon. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo alocados nas parcelas os diferentes substratos (T1: solo + esterco bovino na proporção de 3:1; T2: 10% de moinha + solo; T3: 20% de moinha + solo; T4: 30% de moinha + solo e T5: 40% de moinha + solo) e, nas subparcelas, as diferentes idades de avaliação (60; 82; 104 e 126 dias após o plantio). As variáveis altura de muda, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de folhas e a matéria fresca e seca da raiz e da parte aérea foram submetidas à análise de variância, pelo teste F, e as médias, comparadas pelo teste de Dunnet (α =0,05). O uso do substrato convencional pode ser substituído pelo substrato contendo 10% de moinha, sem que haja diferença na altura de plantas, bem como nas matérias seca e fresca da parte aérea, o que demonstra seu potencial de uso como substrato alternativo para a produção mudas clonais de café Conilon.

Termos para indexação: Moinha, crescimento, *Coffea canephora.*

WASTE OF DRYING COFFEE BEANS AS A SUBSTRATE ALTERNATIVE IN COFFEE CONILON SEEDLINGS

ABSTRACT: *Among the various wastes generated during the coffee in the mountainous region of the Espiríto Santo state, "moinha" stands out from graim during. Because of their nutritional potential and the need have properly in the environment, it is aimed, with this work, evaluate the use of the different concentrations of the moinha as alternative substrate for vegetative development Conilon coffee seedlings. Was used a randomized block design, with four replicates, with split plot in the time. Different substrates were allocated in the plot (T1: soil + cattle manure at a ratio of 3: 1; T2: 10% moinha + soil; T3: 20% moinha + soil, T4: 30% moinha + soil and T5: 40% moinha + soil) and, in the subplots, the different ages of evaluation (60, 82, 104 and 126 days after planting). Variables such as changes in height, stem diameter, crown diameter, number of leaves and fresh and dry matter of root and shoot were submitted to ANOVA, F test hair, and as media, compared hair test Dunnet (α = 0.05). The use of the conventional substrate can be replaced hair by the substrate containing 10% moinha without there be difference in plant height as well as in dry and fresh matter shoot, what demonstrates it potential use as for the alternative substrate for producing seedlings.*

Index terms: *Moinha, growth, Coffea canephora.*

1 INTRODUÇÃO

O processamento do café pode ser realizado de formas distintas: mantendo-se o fruto intacto, ou seja, o fruto é processado em sua forma integral, comumente denominado de café natural; removendo-se apenas a casca e parte da mucilagem, denominado cereja descascado (CD); removendo-se a casca e a mucilagem mecanicamente (desmucilado); ou removendo-se a casca mecanicamente e a mucilagem por meio de fermentação (despolpado) (REINATO et al., 2012). Dependendo da forma de processamento, diversos resíduos são gerados, tais como casca, polpa, pergaminho, mucilagem e água residuária.

Em razão não só da diversificação, mas também da elevada quantidade com que são gerados, o aproveitamento desses resíduos na agricultura tem sido pesquisado por diversos autores (ASSIS et al., 2011; CALDEIRA et al., 2014; LO MONACO et al., 2009, 2011) haja vista a necessidade de dispô-los adequadamente no meio ambiente, além de apresentarem um elevado potencial fertilizante, diminuindo assim os custos com adubação convencional.

Especificamente, na etapa na qual se utilizam secadores, necessários para evitar o ataque de microrganismos e de fermentações que possam comprometer a qualidade dos grãos de café, também é gerado um resíduo, conhecido na região

[1,2,3,4,5] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/campus Santa Teresa - Rodovia ES 080 - Km 93 São João de Petrópolis - 29660-000 - Santa Teresa - ES - carol.merlo@hotmail.com, paolalm@ifes.com.br, ihaddade@gmail.com, lorena.merlo@hotmail.com, agro.krause@gmail.com

Centro Serrana do Espírito Santo por "moinha". A moinha é composta por restos vegetais tais como folhas, galhos, restos de inflorescências e grãos mal formados do próprio cafeeiro, que, quando secados juntamente com o mesmo, sofrem queima e são liberados do secador. Quando atinge um volume considerável, este resíduo tem sido descartado de maneira inadequada e, em algumas situações, utilizado na adubação de lavouras cafeeiras da região, principalmente como fonte potássica.

Além da utilização como adubo, vislumbra-se a possibilidade de utilizá-lo como um substrato alternativo na produção de mudas de café Conilon, haja vista a necessidade de reduzir custos com os substratos comerciais e aproveitar a disponibilidade de resíduos agrícolas gerados em cada região. Dessa forma, alguns trabalhos têm sido realizados com diferentes combinações de substratos comerciais e alternativos na produção de mudas de café, tais como lodo de curtume (BERILLI et al., 2014), esterco de curral bovino curtido, cama de peru curtida e resíduo de fumo curtido (DIAS; MELO, 2009), casca de arroz carbonizada com substrato comercial (VALLONE et al., 2010), palha de café com substrato comercial e terra (BRAUN et al., 2009), dentre outros. No entanto, raras são as informações a respeito do uso da "moinha", principalmente quanto à concentração a ser utilizada, na composição de substratos.

Como a aquisição de insumos agrícolas vem se tornando cada vez mais dispendiosa para o produtor rural, Costa et al. (2013) ressaltam que o uso de fontes alternativas de resíduos industriais ou agroindustriais pode ser uma solução para tornar ambas as atividades mais sustentáveis e ecologicamente corretas, pois visa a eliminação de um problema ambiental da indústria, pelo fato de serem aproveitados e dispostos de forma harmônica no meio ambiente, e, ao mesmo tempo, promove a redução nos custos de produção da agropecuária, beneficiando toda a cadeia, do produtor ao consumidor. Assim, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar o uso de diferentes concentrações de moinha como substrato alternativo, no desenvolvimento vegetativo de mudas de café Conilon.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido no viveiro de produção de mudas da propriedade Sítio Santa Maria, no município de Santa Teresa, Espírito Santo, nas coordenadas geográficas: latitude de 19°48' Sul, longitude 40°40' Oeste e altitude de 130 m. A temperatura média anual é de 24ºC e a pluviosidade entre 900 e 1200 mm.

Como substrato alternativo na produção de mudas de café Conilon (*Coffea canephora* var. *kouilonensis* de Wild), foi utilizado o resíduo proveniente da secagem dos grãos de café, denominado como "moinha". A caracterização química e físico-química deste resíduo foi realizada no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. A análise físico-química consistiu na determinação da condutividade elétrica (CE), por meio de um condutivímetro de bancada. A análise química consistiu na quantificação das concentrações de carbono orgânico facilmente oxidável (CO_{fo}), carbono orgânico total (CO_T), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N_T), fósforo (P) e potássio (K), seguindo-se metodologia descrita por Matos (2015).

Na Tabela 1 estão apresentadas as características químicas e físico-química (CE) da "moinha" utilizada como substrato no experimento.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no tempo (S*plit-plot*), cujos tratamentos, na parcela, foram determinados pela porcentagem de moinha e nas subparcelas pelo efeito da idade.

O experimento consistiu na aplicação de cinco tratamentos: T1: solo + esterco bovino na proporção de 3:1; T2: 10% de moinha + solo; T3: 20% de moinha + solo; T4: 30% de moinha + solo e T5: 40% de moinha + solo, bem como de quatro tratamentos nas subparcelas (60, 82, 104 e 126 dias após o plantio). Cada um dos 20 tratamentos (5x4) contou com quatro repetições (blocos), sendo consideradas úteis 10 mudas, em cada repetição. Assim, em cada bloco foram avaliadas 200 mudas e, em todo o experimento, foram avaliadas 800 mudas.

As mudas foram dispostas em canteiro com fileiras de 22 sacolas. Para cada repetição, foram utilizadas quatro fileiras de bordadura, ou seja, duas em cada lado, conforme descrito na Figura 1.

A porcentagem de moinha aplicada em cada tratamento foi baseada no volume total de solo, utilizado tradicionalmente para encher as sacolas. Em todos os tratamentos, foi adicionado superfosfato simples, na dosagem recomendada por Prezotti et al. (2007), para produção de mudas de café Conilon. O tratamento 1 foi considerado como o tratamento convencional, em razão da mistura ser considerada a tradicional pelos produtores de café Conilon da região, além de ser indicado por Matiello et al. (2010) e utilizado por Santinato et al. (2014).

TABELA 1- Características químicas e físico-química (CE) da moinha utilizada como substrato no experimento.

CE	CO_{fo}	CO_T	MO	N_T	P	K
dS m^{-1}	----------dag kg^{-1}----------					
6,49	45,30	58,90	101,50	3,70	0,14	0,71

(1)CE – condutividade elétrica; CO_{fo} - carbono orgânico facilmente oxidável; CO_t- carbono orgânico total; MO- matéria orgânica; N_t - nitrogênio total; P – fósforo e K – potássio.

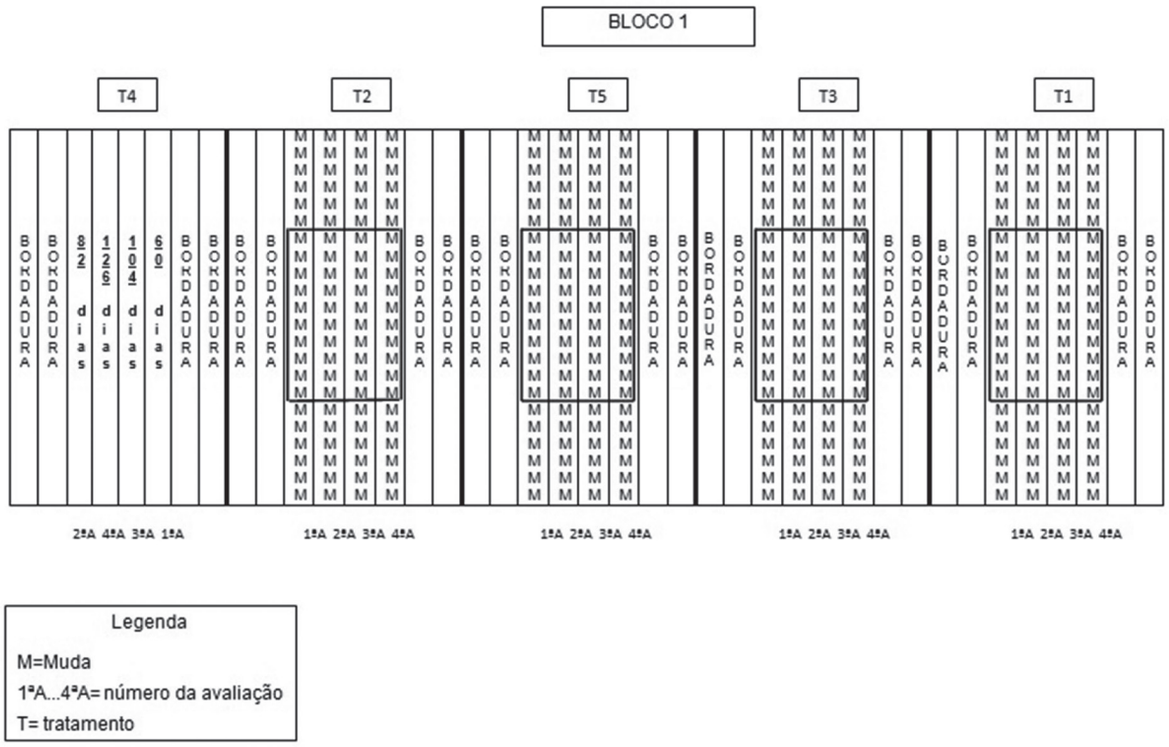

FIGURA 1- Esquema detalhado representando um bloco experimental instalado em campo, com a distribuição dos tratamentos e as avaliações feitas durante o experimento.

O solo utilizado nos tratamentos é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2013), cuja caracterização pode ser visualizada na Tabela 2.

O genótipo utilizado nesta pesquisa foi o clone V12, da cultivar do café Conilon Vitória Incaper 8142, em razão de sua grande aceitação na região. As mudas foram produzidas a partir de estacas obtidas do ramo ortotrópico da planta e plantadas em sacolas de polietileno, com dimensões de 11 x 20 cm, com volume de 770 cm^3.

O viveiro onde as mudas foram desenvolvidas possui tela de poliolefina com 50% de sombreamento. A irrigação foi realizada diariamente, de modo a se atingir a capacidade de campo dos substratos, em todos os tratamentos.

Para avaliar o desenvolvimento vegetativo de mudas de café Conilon nos diferentes tratamentos, foram determinados, aos 60; 82; 104 e 126 dias após o plantio, o diâmetro do caule, o diâmetro da copa, a altura da muda (região compreendida entre o coleto e a gema apical), o número de folhas e as matérias seca e fresca da raiz e da parte aérea. Para obtenção da altura da parte aérea foi utilizada uma régua milimetrada, medindo-se da base do colo até a gema apical que deu origem à última folha. O diâmetro do coleto foi obtido por meio de um paquímetro digital de precisão. A massa seca da parte aérea foi obtida através do corte das mudas próximas ao substrato. Para a obtenção da massa seca radicular, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente sobre uma peneira.

TABELA 2 – Caracterização física, química e físico-química do solo utilizado no experimento.

pH em água	MO	P[1]	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	T	t	m	V
	g dm^{-3}	--mg dm^{-3}---		----------mmolc dm^{-3}----------							------%-----	
5,2	3,0	12	67,0	8,1	13,1	0,0	16,2	22,9	39,1	22,9	0,0	58,6

[1]Extrator Mehlich

Posteriormente, os materiais foram acondicionados em sacos de papel e alocados em estufa, com circulação de ar forçada a 65 ºC, por 72 horas. Em seguida, foi realizada a pesagem dos materiais em balança eletrônica de precisão de 0,01 g.

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância, considerando-se, nas parcelas e nas subparcelas, os efeitos dos fatores principais e sua interação (α=0,05). Para a avaliação dos diferentes substratos nas parcelas (níveis de moinha), os tratamentos foram comparados por meio do teste Dunnet (α=0,05). Caso ocorressem interações (P<0,05) entre os níveis de moinha (alocados nas parcelas) e as diferentes idades (alocadas nas sub- parcelas) seriam considerados os desdobramentos de cada nível de moinha, em cada idade de avaliação, sendo estes efetuados por meio de ajuste em modelos de regressão. Nos casos em que foi detectado efeito para os fatores isolados, optaram-se por discutir apenas as comparações entre os efeitos dos níveis de moinha, em cada tratamento, com a testemunha, de forma independente (teste Dunnet, considerando um α=0,05).

Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo programa SAS 9.0 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as análises estatísticas, não foi possível verificar efeito da interação (P > 0,05) entre os níveis de moinha e as idades pós-plantio. Isto para todas as variáveis analisadas, indicando, dessa forma, que os fatores atuaram de forma independente. Assim, procedeu-se à análise dos fatores principais de forma isolada, justificando-se apenas as discussões das diferenças entre os tratamentos alocados nas parcelas (níveis de moinha), principal objetivo na realização do estudo.

Por meio da análise de variância, observaram-se diferenças (P<0,05) quanto ao efeito porcentagens de moinha somente para as variáveis altura de plantas, matéria seca e fresca da parte aérea. Dessa forma, apresentam-se, na Tabela 3, as médias estimadas das referidas variáveis em resposta aos tratamentos contendo diferentes porcentagens de moinha e o convencional (Testemunha), nas mudas, aos 125 dias após o plantio.

De acordo com a Tabela 3, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos convencional e com 10% de moinha para a variável altura de plantas, pelo teste Dunnett.

Uma das principais características observadas pelos produtores de mudas de café para determinação do ponto de comércio é a altura das mudas (BERILLI et al., 2014). Neste experimento, a menor altura de muda obtida foi de 14,37 cm, no tratamento com a concentração de 40% de moinha. Tatagiba et al. (2010), ao avaliarem diferentes níveis de sombreamento em mudas clonais de café Conilon, obtiveram alturas variando de 14 a 21 cm, 120 dias, após o plantio. Já nos resultados apresentados por Braun et al. (2009),que avaliaram o desenvolvimento inicial do café Conilon em solos de texturas argilosa, com mudas produzidas em Plantmax® + terra (proporção 1:1 v/v); substrato caseiro (terra misturada com estéreo bovino e areia na proporção de 1:1:1 v/v/v); Plantmax® (mistura de matéria orgânica de origem vegetal e vermiculita expandida); terra + palha de café (proporção 1:1 v/v), uma altura máxima de 6,4 cm foi obtida, aos 140 dias após plantio. Berilli et al. (2014), ao estudarem a eficiência do lodo de curtume desidratado como substrato na produção de mudas clonais de café Conilon, não obtiveram altura de mudas superior a 8,5 cm. Dardengo et al. (2013), ao avaliarem a influência de dois recipientes (sacolas e tubetes) e diferentes níveis de sombreamento no crescimento e qualidade de mudas de café conilon, preenchidos com substrato padrão (70% de terra peneirada, 30% de esterco de curral e adubos químicos), obtiveram mudas em sacolas, com 9,61 cm de altura, aos 160 dias, após plantio. Considerando os resultados obtidos por esses autores, verifica-se que as mudas produzidas neste experimento apresentaram uma altura de muda relativamente satisfatória para comercialização, mesmo aquelas que atingiram as menores alturas.

TABELA 3 - Médias estimadas de altura de plantas (cm), matéria fresca da parte aérea (g) e matéria seca da parte aérea (g), em resposta aos tratamentos.

Tratamento	Altura de plantas (cm)	Matéria fresca da parte aérea (g)	Matéria seca da parte aérea (g)
Testemunha	17,21a	10,69a	3,44a
10% de moinha	16,57a	10,66a	3,37a
20% de moinha	14,55b	9,13b	3,11b
30% de moinha	15,76b	9,45b	3,20a
40% de moinha	14,37b	9,11b	3,16b
P(erro experimental)	$2,7.10^{-9}$	1.10^{-4}	$1,3.10^{-2}$
CV (%)	24,77	31,52	21,33

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente da testemunha pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 3, as variáveis matéria seca e fresca da parte aérea apresentaram comportamento semelhante ao ocorrido com a variável altura de plantas, ou seja, o tratamento convencional também não diferiu estatisticamente do tratamento com 10% de moinha, nas variáveis matéria seca e fresca da parte aérea, e do tratamento com 30% de moinha, para a variável matéria seca da parte aérea (g).

Mesmo assim, os menores valores encontrados para matéria seca e fresca da parte aérea neste trabalho foram superiores aos encontrados em outros experimentos realizados com substratos alternativos em mudas de café Conilon. Braun et al. (2009) obtiveram 2,62 g de matéria seca da parte aérea e 6,52 g de matéria fresca da parte aérea em mudas produzidas em substrato caseiro (terra misturada com esterco bovino e areia na proporção de 1:1:1 v/v/v), com textura argilosa. Berilli et al. (2014) não encontraram valores de matéria seca e fresca da parte aérea superiores a 2 g e 9 g, respectivamente, quando estudaram a eficiência do lodo de curtume desidratado como substrato na produção de mudas clonais de café Conilon. Dardengo et al. (2013), ao avaliarem a influência de dois recipientes (sacolas e tubetes) e diferentes níveis de sombreamento no crescimento e qualidade de mudas de café Conilon, preenchidos com substrato padrão (70% de terra peneirada, 30% de esterco de curral e adubos químicos), obtiveram valores variando entre 1,43 a 3,29 g de matéria seca total em tubetes e uma média de 2,99 g obtida em sacolas. Mesmo apresentando valores de matéria seca inferiores, com o aumento da concentração de moinha, o menores valores de conteúdo de matéria seca somente da parte aérea obtidos neste trabalho (3,2 g) encontram-se acima da faixa estabelecida por Marana et al. (2008), considerada como razoável (1,0 a 1,8 g), para matéria seca total (aérea e raiz).

Acredita-se que, um dos motivos pelo qual as maiores proporções de moinha proporcionaram valores inferiores nas variáveis analisadas, tenha sido a salinidade, evidenciada pela maior condutividade elétrica existente nesse resíduo (Tabela 1), acarretando num decréscimo do potencial osmótico no substrato. O acúmulo de sal no substrato e a consequente redução do potencial osmótico pode afetar negativamente o crescimento das plantas e causar um desenvolvimento foliar reduzido (KARASAWA et al., 2003), considerando que elevados valores de salinidade podem danificar as raízes impedindo a absorção de água e nutrientes.

Em muitos trabalhos, é possível verificar o efeito da salinidade no crescimento vegetativo em mudas de café. Em plantas de café (*Coffea arabica* L.), o diâmetro do caule foi influenciado pela salinidade da água ao longo do tempo, a partir de 1,2 dS m^{-1}, levando à paralisação do crescimento e, consequentemente, à morte (FIGUEIREDO; FARIA; SILVA, 2006). Karasawa et al. (2003), ao avaliarem o efeito de quatro níveis de salinidade da água (0,3; 0,9; 1,2 e 1,5 dS m^{-1}) no desenvolvimento de mudas de café, verificaram que, à medida que se elevou a condutividade da água de irrigação, todos os tratamentos apresentaram efeitos negativos, ou seja, causaram decréscimo nas variáveis. A altura da planta, aos 103 dias após o plantio na concentração de maior salinidade, não ultrapassou 15 cm de altura, valores próximos aos encontrados nas concentrações de 20 e 40% de moinha.

A concentração de 10% de moinha na composição do substrato, quando comparada com concentrações maiores que esta, promoveu o melhor desenvolvimento das mudas do cafeeiro, provavelmente, por nessa faixa o efeito da salinidade não ter predominado sobre o efeito benéfico dos conteúdos de nitrogênio e de matéria orgânica existentes na moinha (Tabela 1), fundamentais, dentre diversos atributos, na formação das estruturas vegetativas e na qualidade física do substrato, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

- O uso do substrato convencional pode ser substituído pelo substrato contendo 10% de moinha.

- Mudas produzidas em substratos contendo porcentagens maiores que 10% de moinha misturada ao solo apresentam menor padrão de desenvolvimento vegetativo, quando comparadas àquelas contendo substrato convencional.

5 REFERÊNCIAS

ASSIS, A. M. et al. Cultivo de orquídea em substratos à base de casca de café. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 544-549, 2011.

BERILLI, S. S. et al. Utilização de lodo de curtume como substrato alternativo para produção de mudas de café Conilon. **Coffee Science,** Lavras, v. 9, n. 4, p. 472-479, 2014.

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

CALDEIRA, M. V. W. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café in natura. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 195-206, 2014.

COSTA, A. S. V. et al. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 18, n. 1, p. 23-27, 2013.

DARDENGO, M. C. J. D. et al. Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. **Coffee Science,** Lavras, v. 8, n. 4, p. 500-509, 2013.

DIAS, R.; MELO, B. Proporção de material orgânico no substrato artificial para produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 144-152, jan./fev. 2009.

FIGUEIREDO, V. B.; FARIA, M. A. de; SILVA, E. L. Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 50-57, 2006.

KARASAWA, S. et al. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arábica* L.) irrigados com água salina. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 14, p. 1-12, 2003.

LO MONACO, P. A. V. et al. Avaliação do efeito da irrigação no estado nutricional do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) após fertirrigação com água residuária. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 75-82, 2011.

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

MARANA, J. P. et al. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil:** manual de recomendações. Varginha: Fundação Prócafé, 2010. 542 p.

MATOS, A. T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. Viçosa, MG: UFV, 2015. 149 p.

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

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

SANTINATO, F. et al. Doses of phosphorus associated with nitrogen on development of coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 419-426, 2014.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA, 2013.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.0. Cary, 2011. 513 p.

TATAGIBA, S. D. et al. Mudas de *Coffea canephora* cultivadas sombreadas e a pleno sol. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 219-226, 2010.

VALLONE, H. S. et al. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan./fev. 2010.

ADUBAÇÃO DE CAFEEIRO CONILON COM FERTILIZANTE MINERAL MISTO GRANULADO, FONTE DE MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES

Arieli Altoé[1], Felipe Vaz Andrade[2], Eduardo Stauffer[3], José Carlos Polidoro[4], Renato Ribeiro Passos[5], Lucas Santos Satiro[6]

(Recebido: 28 de setembro de 2015 ; aceito: 01 de março de 2016)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e a micronutrientes (zinco e boro), na forma de fertilizante granulado sobre o pH do solo, e os teores de cálcio e magnésio no solo, produção de matéria seca e conteúdo de cálcio, magnésio, zinco e boro na planta, em experimento conduzido em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, distribuído em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais compostas por seis tratamentos (controle sem adubação; N + P + K; gesso agrícola; óxido de magnésio; gesso/MgO (70/30); gesso/MgO (70/30) + Zn + B; e as subparcelas compostas por nove períodos de amostragem. Os resultados mostraram teores superiores de cálcio (1,19 $cmol_c\ dm^{-3}$), magnésio (1,87 $cmol_c\ dm^{-3}$) e zinco (7,33 mg dm^{-3}) no solo para os tratamentos com aplicação de gesso agrícola, granulados gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B, respectivamente. A aplicação de gesso agrícola também promoveu maiores conteúdos de cálcio (89,66 e 27,74 mg/planta nas folhas e nos caules, respectivamente) e maior produção de matéria seca de folhas (11,22 g/planta), de caules (5,67 g/planta) e de raízes (9,88 g/planta). O tratamento com granulado gesso/MgO (70/30) promoveu maiores conteúdos de Mg nas folhas (33,86 mg/planta), nos caules (13,36 mg/planta) e nas raízes (62,97 mg/planta). Os maiores conteúdos de B nas folhas (2,83 mg/planta) e nos caules (0,24 mg/planta) foram encontrados no tratamento gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Termos para indexação: Nutrição mineral, café, crescimento, fertilidade do solo.

COFFEE CONILON MANURING WITH MINERAL FERTILIZER MIXED GRANULES, MAGNESIUM SOURCE, SULPHUR AND MICRONUTRIENTS

ABSTRACT: *This study aimed to evaluate the influence of the application of magnesium oxide associated with phosphogypsum and micronutrients (zinc and boron) in the form of granular fertilizer on the soil pH, calcium and magnesium in the soil, dry matter production and contents of calcium, magnesium, zinc and boron in plant, in an experiment carried out in a greenhouse. The experimental design was a randomized block with three replicates distributed in a split plot in time, the main plots consisting of six treatments (without fertilization control; N + P + K; phosphogypsum; magnesium oxide; phosphogypsum/MgO (70/30); phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B); and the split composed of nine sampling periods. The results show higher levels of calcium (1.19 $cmol_c\ dm^{-3}$), magnesium (1.87 $cmol_c\ dm^{-3}$) and zinc (7.33 mg dm^{-3}) in the soil for treatments with application of phosphogypsum, granulated phosphogypsum/MgO (70/30) and phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B respectively. The application of phosphogypsum also shows higher calcium content (89.66 and 27.74 mg/plant leaves and stem, respectively) and higher dry matter production of leaves (11.22 g/plant), stem (5.67 g/plant) and roots (9.88 g/plant). Treatment with granulated phosphogypsum/MgO (70/30) show higher contents of magnesium (33.86 mg/plant), stem (13.36 mg/plant) and roots (62.97 mg/plant). The greatest contents in leaves B (2.83 mg/plant) and stem (0.24 mg/plant) are found in the treatment phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B.*

Index terms: *Mineral nutrition, coffee, growth, soil fertility.*

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das lavouras cafeeiras no Brasil foi implantada em solos que apresentam limitações relacionadas à nutrição de plantas, tais como elevada acidez, toxidez de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (OLIVEIRA et al., 2005; SERAFIM et al., 2011), que prejudicam o crescimento de raízes superficiais e subsuperfíciais.

Em culturas perenes, como o café, o calcário é o principal corretivo da acidez do solo e fonte de Ca e Mg. Os efeitos da calagem (elevação do pH, dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+}, e neutralização do Al^{3+}) (PÁDUA; SILVA; DIAS, 2008; ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007), normalmente restringem-se às zonas de aplicação ou imediatamente abaixo delas (VOLNEI et al., 2014). Os valores de pH e teores de Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} pouco se alteram em profundidade, devido às características químicas do calcário. A taxa de movimentação do Ca^{2+} e do Mg^{2+} no perfil é dependente da existência de ânions acompanhantes, principalmente, cloretos, nitratos

[1]Incaper - Escritório Local de Desenvolvimento Rural/ELDR - Rua Constante Casagrande - n° 485 - Centro - 29.950-000 Jaguaré - ES - arielialtoe@yahoo.com.br
[2,3,5,6]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro de Ciências Agrárias/CCA - Rua Alto Universitário - Guararema 29.500-000 - Alegre - ES - felipe.andrade@ufes.br, eduardostauffer@hotmail.com, renato.passos@ufes.br, santosatiros@hotmail.com
[4]Embrapa Solos - Rua Jardim Botânico - nº 1.024 - Jardim Botânico - 22460-000 - Rio de Janeiro - RJ - polidorojc@gmail.com

e sulfatos, adicionados no solo (MORAES et al., 2007; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

O gesso agrícola ($CaSO_4.2H_2O$) tem sido utilizado como um subproduto complementar ao calcário, com o objetivo de diminuir a toxicidade do Al^{3+} e aumentar a concentração de Ca^{2+} ,em profundidade (CUSTÓDIO et al., 2005; RAMPIM et al., 2011). A grande mobilidade vertical de cátions ocasionada pelo gesso se deve à maior solubilidade desse subproduto, em relação aos calcários e pela presença do íon sulfato na sua composição química (CAIRES et al., 2006).

Outro subproduto que apresenta potencial para ser utilizado na agricultura é o óxido de magnésio, produto intermediário do processo industrial de produção de refratários obtido da calcinação da magnesita ($MgCO_3$). A associação do óxido de magnésio com o gesso agrícola apresenta benefícios para o solo, pois o óxido de magnésio, além de fornecer Mg tem a capacidade de elevar o pH (corretivo de acidez do solo) e reduzir a saturação de alumínio trocável, enquanto o gesso agrícola fornece S e Ca, além de favorecer a movimentação de cálcio e de magnésio no perfil de solo (RAMOS et al., 2013).

Objetivou-se,neste trabalho, avaliar, em experimento conduzido em casa de vegetação, a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e aos micronutrientes (Zn e B), na forma de fertilizante granulado, sobre o pH do solo, e os teores de cálcio, magnésio e zinco no solo, produção de matéria seca e conteúdo de cálcio, magnésio, zinco e boro na planta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA - UFES) em Alegre - ES. O local situa-se a uma altitude aproximada de 250 m, com coordenadas geográficas 20º45’48” de latitude Sul e 41º31’57” de longitude Oeste. O clima predominante na região é do tipo Cwa (clima subtropical, quente e úmido no verão e seco no inverno), conforme classificação de Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23 ºC.

Para a realização deste experimento, foram coletadas amostras de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, na profundidade de 0,20 - 0,40 m. Após coletadas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e caracterizadas química e fisicamente, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997) e Ruiz (2005), apresentando os seguintes resultados: : pH (em H_2O) = 5,4; P = 0,29 mg dm^{-3}; K = 35,18 mg dm^{-3}; Ca = 0,51 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 0,44 $cmol_c$ dm^{-3}; Zn = 1,36 mg dm^{-3}; Al = 0,37 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al = 1,98 $cmol_c$ dm^{-3}; Soma de Bases = 1,04 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC potencial = 3,02 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC efetiva = 1,41 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 34,44 %; Areia = 0,25 kg kg^{-1}; Silte = 0,05 kg kg^{-1}; Argila = 0,70 kg kg^{-1}.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, distribuído em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais compostas por seis tratamentos: controle sem adubação (T1); N + P + K (T2); gesso agrícola (T3); óxido de magnésio (T4); gesso/MgO (70/30) (T5); gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6); e as subparcelas compostas por nove tempos de coleta (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 e 180 dias após transplantio das mudas), totalizando 162 unidades experimentais.

O fertilizante granulado gesso/MgO (70/30) corresponde a 70 % de gesso agrícola e 30 % de óxido de magnésio. O granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B corresponde ao gesso/MgO (70/30), acrescido de 6 % de Zn (óxido de zinco) e 4 % de B (ulexita).

O gesso agrícola (28 % de CaO) foi aplicado na superfície do solo na forma de pó, com dose equivalente a 136 mg dm^{-3} de Ca. O óxido de magnésio (60 % de MgO), subproduto da calcinação da magnesita, foi aplicado na superfície do solo na forma de pó, com dose equivalente a 75 mg dm^{-3} de Mg.

As quantidades aplicadas do granulado gesso/MgO (70/30) e do granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B foram baseadas na quantidade de Mg aplicada no tratamento com óxido de magnésio, equivalendo a 6,82 g/vaso. Os granulados foram aplicados na superfície do solo.

Para todos os tratamentos, à exceção do controle, foram realizadas adubações com nitrogênio, fósforo e potássio. A adubação fosfatada e potássica foi realizada com 200 e 252 mg dm^{-3} de P e K (fosfato de potássio P. A.), respectivamente, em uma única aplicação, incorporando-se ao volume total de solo do vaso. A adubação nitrogenada foi realizada com 100 mg dm^{-3} de N (sulfato de amônio, P. A.) aplicado parcelado em doses de 20 mg dm^{-3} aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplantio das mudas, aplicado na forma de solução na superfície do solo.

O experimento foi conduzido utilizando-se uma muda do clone 02, da variedade clonal de café Incaper 8142 - Conilon Vitória por vaso. A muda foi plantada em vaso com o fundo vedado, com capacidade para 12 dm^3, contendo 10 dm^3 de solo. A irrigação foi realizada com água deionizada. A quantidade de água aplicada, por meio da pesagem diária, foi calculada através da capacidade de campo, determinada pelo extrator de placa porosa, a uma tensão de 10 kPa (REICHARDT, 1988), mantendo o solo com a umidade de 60 % na capacidade de campo. O período experimental foi de seis meses.

Após cada período de coleta, os vasos de cada subparcela foram retirados e as plantas seccionadas a cerca de 0,01 m do solo, separando folhas, caules e raízes e secas em estufa (65 ºC), para posterior determinação da produção de matéria seca de folhas (MSF), de caules (MSC) e de raízes (MSR), do cafeeiro.

Os teores de Ca, Mg e Zn nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica da matéria seca. Os teores de B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram determinados pelo método colorimétrico da azometina H , após digestão via seca por processo de incineração da matéria seca (EMBRAPA, 1997).

Os conteúdos de Ca, Mg, Zn e B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram calculados multiplicando-se os teores dos nutrientes pelos respectivos valores do peso da matéria seca, obtidos em cada amostragem (C = MS × T, em que C = conteúdo do nutriente; MS = peso da matéria seca; e T = teor do nutriente).

Após cada período de amostragem, o solo dos vasos de cada subparcela foi homogeneizado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm, procedendo-se às seguintes análises: pH em água, cálcio, magnésio e zinco, conforme EMBRAPA (1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos, dentro dos fatores qualitativos (aplicação de adubos) foram desdobrados em contrastes (ALVAREZ; ALVAREZ, 2006) e para o fator quantitativo (tempos de coleta), ajustados modelos de regressão. Ambos testados pelo teste F, nos níveis de 1 e 5 % de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos Nutricionais

Ao final do experimento foram observados valores de pH mais elevados para o T1, T5 e T6 (Figura 1). Para o T1 este fato pode estar relacionado à não realização da adubação nitrogenada (sulfato de amônio). Costa et al. (2008), trabalhando em pastagem de capim-marandu, verificaram que o sulfato de amônio promoveu maior acidificação do solo que a ureia, em todas as doses aplicadas.

Os valores de pH mais elevados nos T5 e T6 estão relacionados à presença do MgO na formulação do granulado; esse apresenta características de correção da acidez do solo.

A diminuição nos valores de pH, ao longo dos tempos de coleta, para T2, T3 e T4 (Figura 1) pode ser justificada pela maior produção de MSF, MSC e MSR (Figura 4) e aumento da absorção de nutrientes pelas plantas de café, ocorrendo a remoção de cátions de caráter básico do solo, resultando no aumento de formas trocáveis de H^+ e Al^{3+} no complexo sortivo, conforme relatado por Araújo, Demattê e Garbuio (2009).

Não houve ajuste para os modelos de regressões com coeficientes significativos para os valores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo, em função do tempo de coleta (Figura 1).

O solo inicialmente se encontra com níveis baixos de Ca^{2+} e Mg^{2+} e médios de Zn^{2+} (PREZOTTI; DADALTO; OLIVEIRA, 2007) e, observando o contraste 1 (C1, Tabela 1), verifica-se que a adição de alguma forma de adubação favorece o incremento dos teores destes nutrientes no solo.

Os teores de Ca^{2+} no solo foram superiores nos T3, T4, T5 e T6, quando contrastados ao T2 (C2, Tabela 1). Esse resultado está relacionado ao maior teor de Ca^{2+} no solo no T3, que proporcionou aumento na média dos teores de Ca^{2+} nos T3, T4, T5 e T6.

Nos T4, T5 e T6, os teores de Ca^{2+} no solo não refletiram maiores conteúdos de cálcio nas folhas (Figura 2). Este fato pode estar relacionado às relações Ca:Mg no solo em T4 (relação 0,5:1), T5 (relação 0,4:1) e T6 (relação 0,5:1) serem menores quando comparadas ao T2 (relação 1,5:1) (Figura 1). Nestes casos, o excesso de Mg inibe a absorção de Ca pela planta devido ao efeito antagônico, conforme descrito por Medeiros et al. (2008) trabalhando com diferentes relações de Ca e Mg na cultura do milho.

Pelo contraste 3, verifica-se que a aplicação do T3 promoveu maiores teores de Ca^{2+} no solo e conteúdos mais elevados de Ca nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro (C3, Tabelas 1 e 2), provavelmente relacionado à maior relação Ca:Mg no solo em T3 (relação 3,6:1).

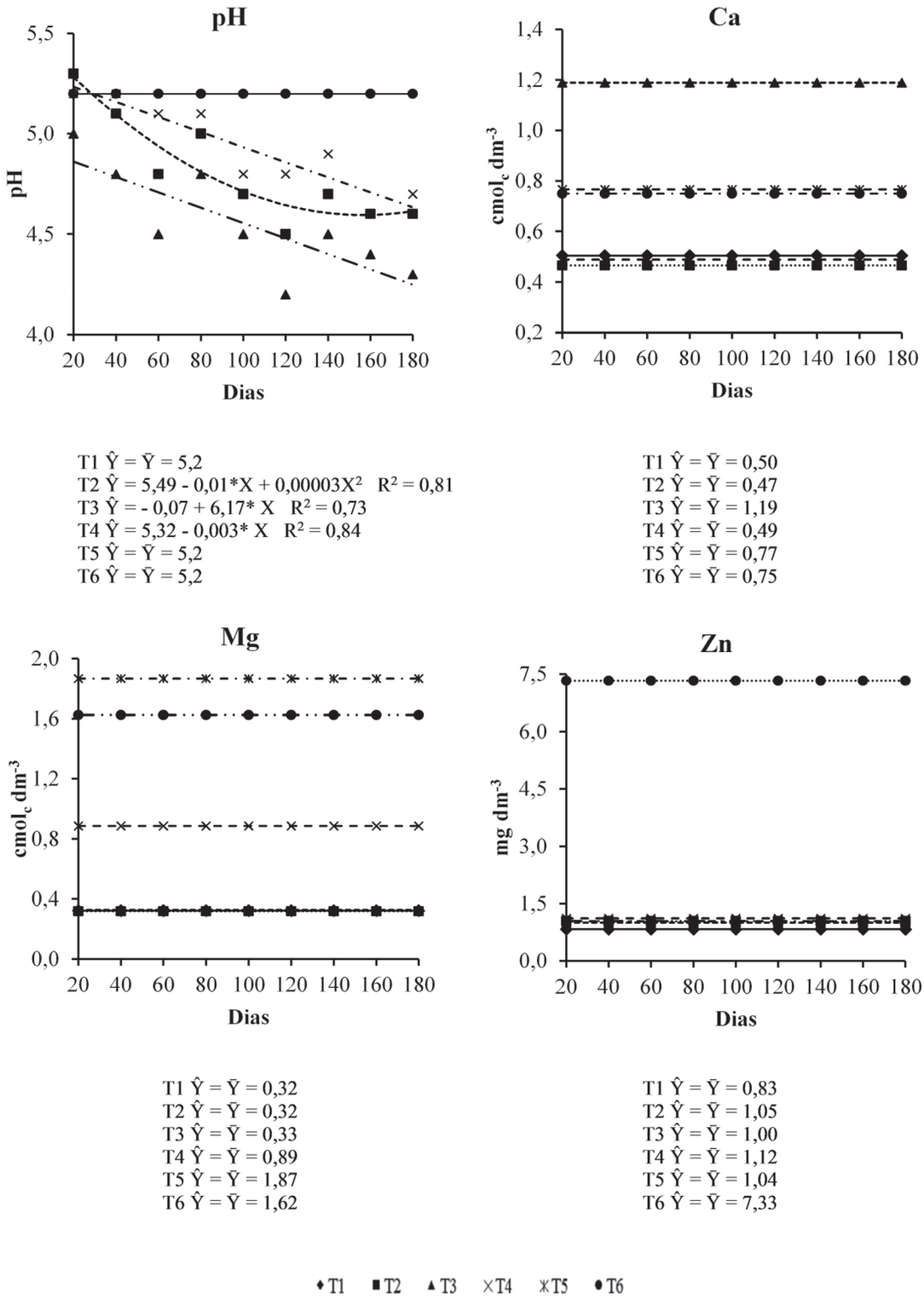

FIGURA 1 - Valores de pH em água, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo, para os tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

TABELA 1 - Contrastes das médias dos teores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo para os diferentes tratamentos.

Nutriente	Contrastes Ortogonais				
	C1	C2	C3	C4	C5
Ca	0,23**	0,33**	-0,43**	0,27**	-0,02^{ns}
Mg	0,68**	0,86**	1,42**	0,86**	-0,24**
Zn	1,47*	1,57*	3,18*	3,07*	6,29*

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 *vs* T1 (+++++,5-); C2: T3 + T4 + T5 + T6 *vs* T2 (++++,4-); C3: T5 + T6 *vs* T3 (++,2-); C4: T5 + T6 *vs* T4 (++,2-); e C5: T6 *vs* T5 (+,-). T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B. **, * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste F

Este resultado corrobora aos encontrados por Büll e Nakagawa (1995), que trabalhando com relações Ca:Mg e adubação, observaram aumento na concentração de Ca no tecido foliar da cultura do milho, com o aumento da relação Ca:Mg no solo.

Analisando o contraste 4, observou-se que a aplicação dos T5 e T6, em comparação ao T4, elevou os teores de Ca^{2+} no solo (C4, Tabela 1). Entretanto, este aumento de disponibilidade não corresponde ao aumento de absorção de Ca pela planta, observados pelos valores negativos e significativos do contraste 4 (Ca folhas, Ca caules e Ca raízes), demonstrando conteúdos de Ca nas folhas e raízes superiores para o T4 (C4, Tabela 2). É provável que os elevados teores de Mg^{2+} no solo em relação aos teores de Ca^{2+} nos T5 e T6 (Figura 1) inibiram a absorção de Ca pela planta, devido ao efeito antagônico.

Os teores de Mg^{2+} no solo foram superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6, quando comparados ao tratamento T2, proporcionando conteúdos mais elevados de Mg nas folhas, nos caules e nas raízes (C2, Tabelas 1 e 2). Provavelmente, as menores relações de Ca:Mg no solo (Figura 1) proporcionaram maiores conteúdos de magnésio na planta.

Pelos contrastes 3 e 4 (Tabela 1), verifica-se que a aplicação dos tratamentos T5 e T6 proporciona teores superiores de Mg^{2+} no solo, frente aos tratamentos T3 e T4 e, de modo geral, os conteúdos de Mg são mais elevados nas folhas, nos caules e nas raízes (C3 e C4, Tabela 2). Este fato pode estar relacionado ao fato do tratamento T3 não ter recebido nenhuma fonte de Mg e do tratamento T4 ter recebido quantidade menor de Mg, em relação aos tratamentos T5 e T6.

Pelo contraste 5, verifica-se que os teores de Mg^{2+} no solo são mais elevados no tratamento T5, quando comparado ao tratamento T6 (C5, Tabela 1), favorecendo a conteúdos de Mg nas folhas e raízes superiores (C5, Tabela 2), o que pode estar relacionado às menores relações Ca:Mg no solo (Figura 1), favorecendo a absorção de Mg pelo cafeeiro. O mesmo comportamento foi observado por Salvador, Carvalho e Lucchesi (2011).

Os teores de Zn^{2+} no solo são superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6, quando contrastados ao tratamento T2, porém não proporciona conteúdos superiores de Zn na planta (C2, Tabelas 1 e 2). A aplicação dos tratamentos T5 e T6 favorecem a teores mais elevados de Zn^{2+} no solo, porém não se observam conteúdos superiores na planta (C3 e C4, Tabela 2). Os teores de Zn^{2+} no solo são superiores no tratamento T6, favorecendo a maiores conteúdos de Zn nos caules (C5, Tabela 2). É provável que os teores mais elevados de Mg^{2+} no solo, de modo geral, inibiram a absorção de Zn pela planta, conforme relatado por Kabata-Pendias (2010).

Moreira et al. (2003a), trabalhando com arroz, observaram que com o aumento da concentração de Mg na solução, reduziu-se significativamente a absorção do Zn pelas raízes. Os mesmos resultados foram encontrados em soja (MOREIRA et al., 2003b). Esses resultados indicam que, na presença de altas concentrações de Mg^{2+} no solo, a absorção de Zn é negativamente afetada, pelo efeito antagônico.

Independente dos tratamentos, observa-se que os conteúdos de cálcio são superiores nas folhas, em relação aos conteúdos nos caules e nas raízes (Figura 2). Adquirido inicialmente pelas raízes, a maior parte do cálcio é transportada no xilema, embora pequena parte possa fazê-lo pelo floema, para as folhas. Depois de alocado nas folhas, o Ca torna-se imóvel (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

TABELA 2 - Contrastes das médias, dos conteúdos de Ca, Mg, Zn e B nas folhas, caule e raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos.

Contrastes Ortogonais	Folhas		Caule		Raízes	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
C1	13,53**	9,06**	6,27**	6,00**	-4,84^{ns}	2,81^{ns}
C2	-9,68**	13,10**	-1,59^{ns}	5,13**	1,30^{ns}	15,39**
C3	-24,85**	19,97**	-11,27**	6,05**	-9,15**	15,82**
C4	-6,01**	10,81**	-1,74^{ns}	2,16**	-10,55**	-1,21^{ns}
C5	-3,06^{ns}	-2,79*	2,20^{ns}	-0,89^{ns}	-3,59^{ns}	-31,70**
	Zn	B	Zn	B	Zn	B
C1	0,04**	0,61**	0,05**	-0,02^{ns}	0,01^{ns}	0,42**
C2	-0,01^{ns}	0,56**	-0,03^{ns}	0,07**	-0,02^{ns}	0,15^{ns}
C3	-0,04**	0,96**	-0,05*	0,12**	-0,13**	-0,09^{ns}
C4	0,00^{ns}	0,82**	0,02^{ns}	0,10**	-0,07*	-0,03^{ns}
C5	0,00^{ns}	2,35**	0,06**	0,03^{ns}	-0,08*	-0,43**

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 *vs* T1 (+++++,5-); C2: T3 + T4 + T5 + T6 *vs* T2 (++++,4-); C3: T5 + T6 *vs* T3 (++,2-); C4: T5 + T6 *vs* T4 (++,2-); e C5: T6 *vs* T5 (+,-). T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B. **, * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste F

Os maiores conteúdos de Ca nas folhas e caules é no tratamento T3, provavelmente pela relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) estar dentro da faixa ideal para a cultura do café (MATIELLO; GARCIA, 2012), quando comparada aos demais tratamentos, neste caso, distante da faixa ideal (Figura 1).

Os conteúdos de magnésio, independente dos tratamentos, foram superiores nas raízes em relação aos conteúdos nas folhas e nos caules (Figura 2). Bragança et al. (2007a), trabalhando com acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon, observaram que as folhas acumularam 30 % do Mg total acumulado no conilon; 25 % nas raízes; 23 % no tronco mais ramos ortotrópicos; 15 % nos ramos plagiotrópicos e 7 % nos frutos.

Os conteúdos médios de Mg na parte aérea (folhas + caule) para os T5 e T6 foram de 47,22 mg/planta e 43,55 mg/planta, respectivamente, e nas raízes de 62,97 mg/planta (T5) e 31,27 mg/planta (T6).

Os conteúdos de zinco foram mais elevados nas raízes, de modo geral, em relação aos conteúdos nas folhas e nos caules (Figura 3). O Zn encontra-se concentrado em grande parte nas raízes, haja vista ser muito pequena a mobilidade de redistribuição do Zn na planta (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Do total de zinco acumulado na planta 61 % foram alocados para as raízes, 15 % para os ramos plagiotrópicos, 9 % para os frutos e 9 % para o tronco mais ramos ortotrópicos (BRAGANÇA et al., 2007b).

Os maiores conteúdos de Zn nas folhas, nos caules e nas raízes não corresponderam ao tratamento com aplicação de Zn (Figura 3). Este fato pode estar relacionado à maior acidificação do solo, frente aos outros tratamentos (T2, T3, T4 e T5), em relação ao T6. A elevação do pH do solo diminui a concentração de Zn na solução, principalmente porque aumenta a intensidade da adsorção do metal por meio de complexos de esfera interna, em decorrência da menor competição com o hidrogênio (ARIAS et al., 2005).

Outra possibilidade pode estar relacionada ao aumento nos teores de magnésio no solo, reduzindo a absorção de Zn, devido à inibição competitiva entre o Zn e o Mg, por se tratar de elementos com valência, raio iônico e grau de hidratação semelhantes (KABATA-PENDIAS, 2010).

A adubação com os T3, T4, T5 e T6 proporcionou maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules, quando contrastados ao T2 (C2, Tabela 2), o que pode estar relacionado aos valores mais elevados de Ca^{2+} no solo (Figura 1), que favoreceram a absorção de boro pelas plantas (KABATA-PENDIAS, 2010).

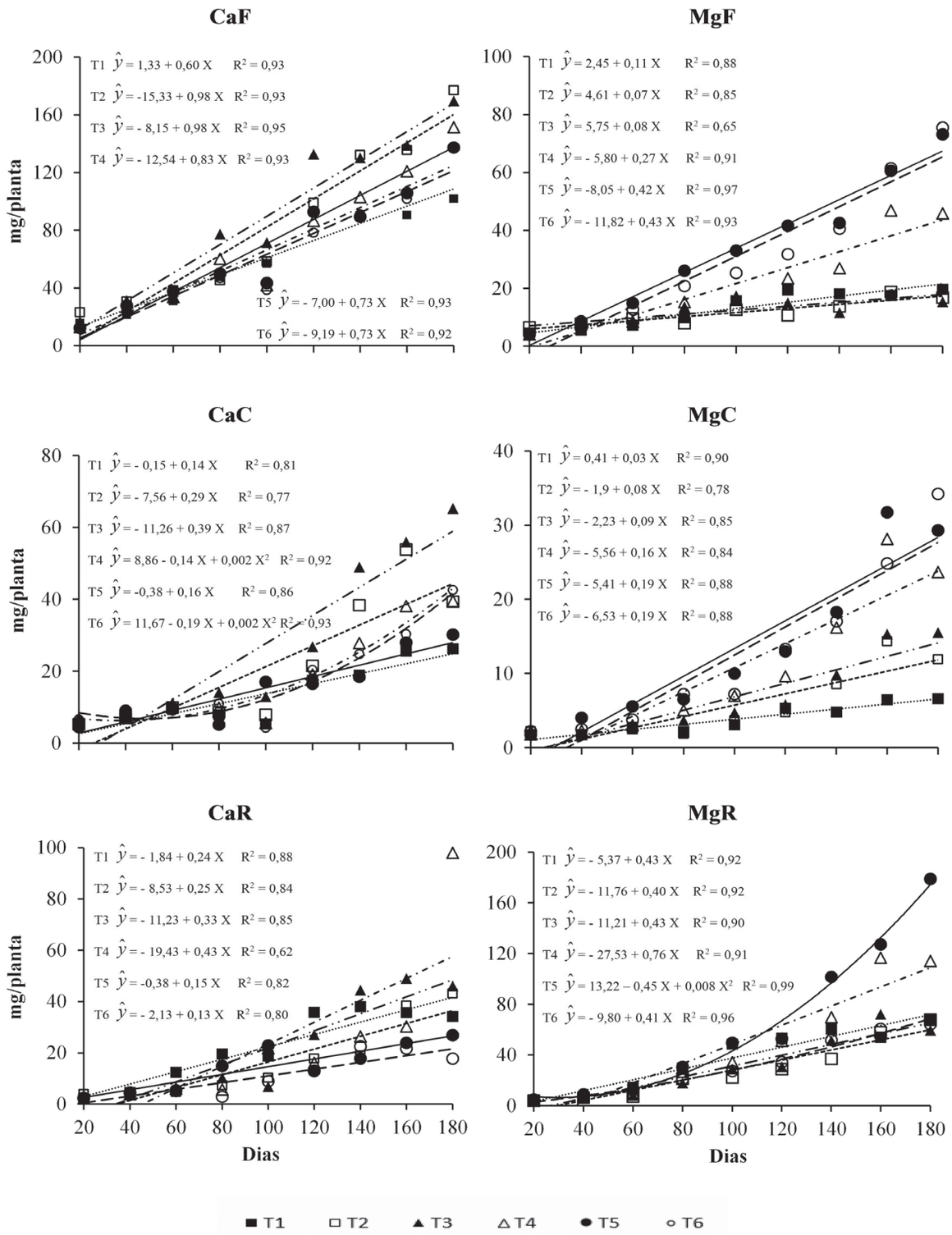

FIGURA 2 - Conteúdos de cálcio e magnésio nas folhas (CaF e MgF), nos caules (CaC e MgC) e nas raízes (CaR e MgR), das plantas de café, em mg/planta, nos tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

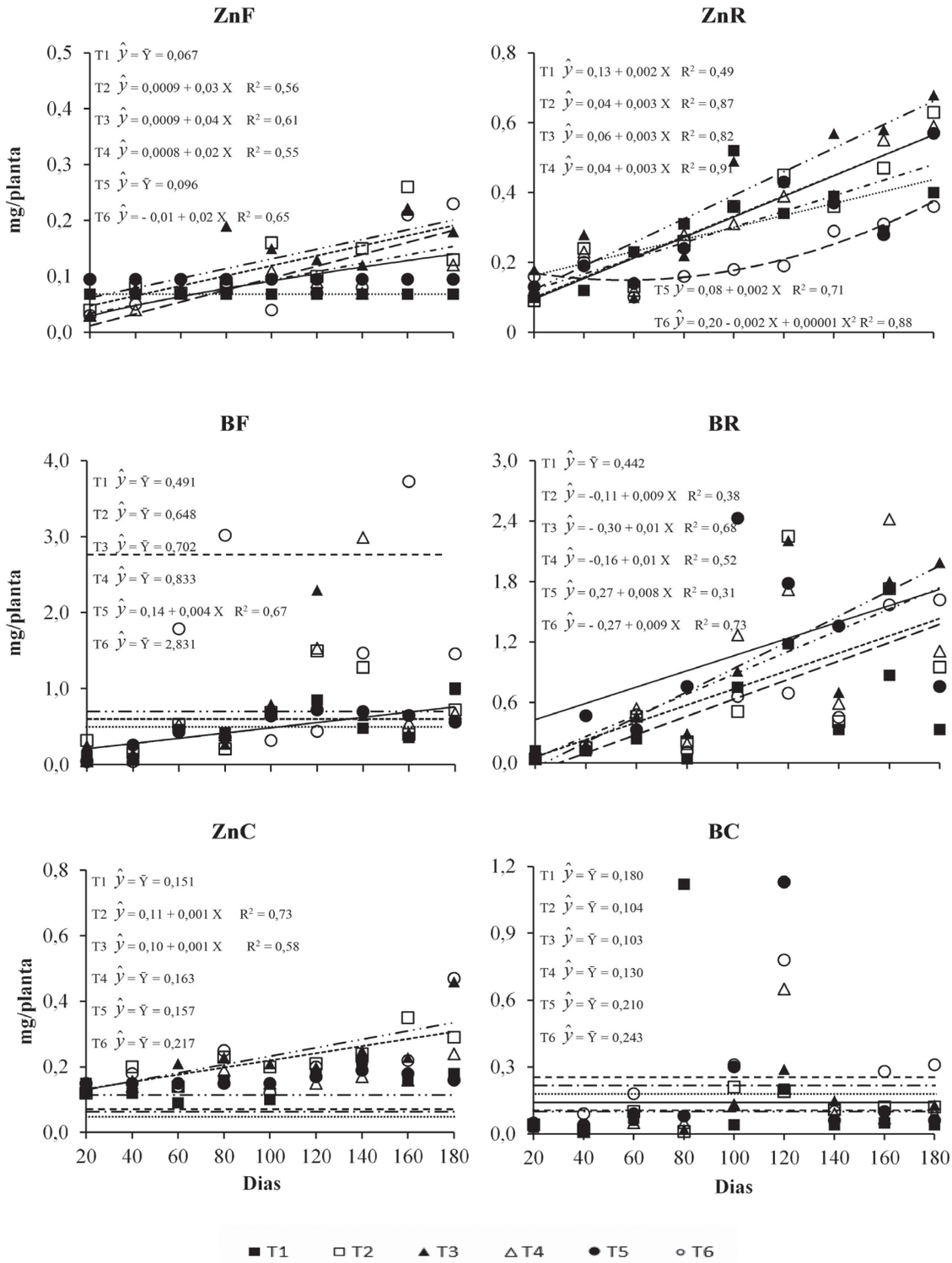

FIGURA 3 - Conteúdos de zinco e boro nas folhas (ZnF e BF), nos caules (ZnC e BC) e nas raízes (ZnR e BR), das plantas de café, em mg/planta, nos tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Observaram-se maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules nos T5 e T6, quando comparados aos T3 e T4 (C3 e C4, Tabela 2). A absorção de B pode ter sido favorecida pelos valores mais elevados de pH nos T5 e T6, frente aos T3 e T4 (Figura 1). A maior disponibilidade de boro no solo ocorre na faixa de pH 5,0 a 7,0 (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Produção de Matéria Seca

A produção de matéria seca de folhas (MSF), de modo geral, aumentou continuamente ao longo dos tempos de amostragem, enquanto a produção de MSC tem comportamento exponencial (Figura 4).

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) acompanha o comportamento da produção de MSF, aumentando continuamente ao longo dos tempos de amostragem. A MSR tem comportamento quadrático, aumentando a partir dos 80 dias após o transplantio das mudas (Figura 4).

As maiores produções de MSF, MSC e MSR no cafeeiro foram obtidas no T3, frente aos T5 e T6 (C3, Tabela 4). Este resultado deve estar relacionado à relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) (Figura 1) encontrar-se na faixa ideal para a cultura do café neste tratamento. Segundo Matiello e Garcia (2012), a relação mais adequada para o cafeeiro é de 3 - 5:1.

A produção de MSC e MSR foi superior no T4, quando contrastado aos T5 e T6 (C4, Tabela 4). Neste caso, os maiores conteúdos de Ca nos caules e nas raízes (Figura 2) devido à maior relação Ca:Mg no solo (Figura 1), pode ter favorecido a maior produção de MSC e MSR no cafeeiro.

Analisando o contraste 5 (C5, Tabela 4), observou-se produção de MSC e MSR superiores para o T5 frente ao T6. É provável que a menor relação de Ca:Mg no solo (Figura 1) no T5 proporcionou maiores conteúdos de Mg nos caules e nas raízes (Figura 2), favorecendo a maior produção de MSC e MSR.

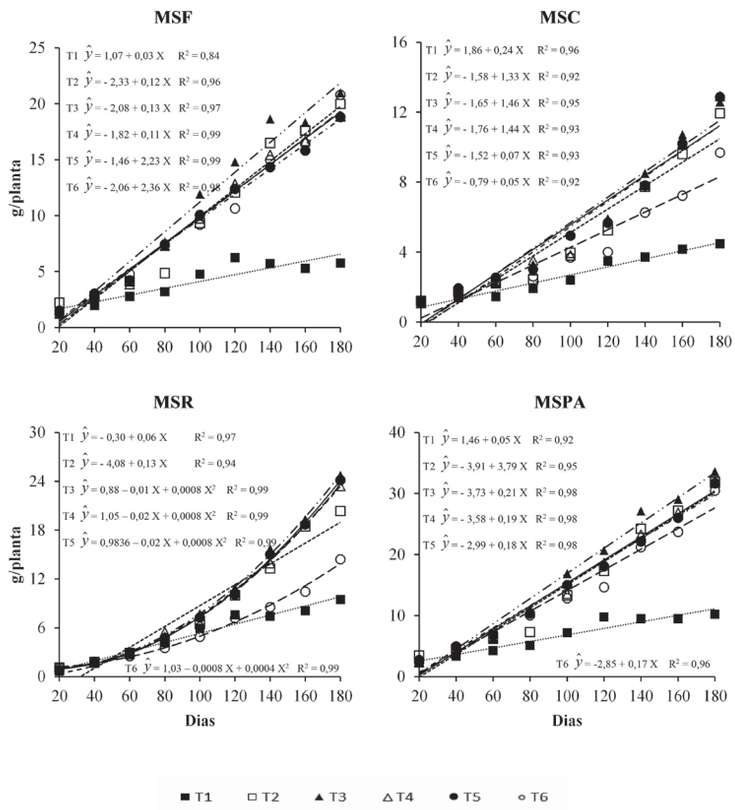

FIGURA 4 - Produção de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC), raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) das plantas de café, em g/planta, nos tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

TABELA 4 - Contrastes das médias da produção de matéria seca nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) do cafeeiro para os diferentes tratamentos.

Contrastes Ortogonais	MSF	MSC	MSR
C1	5,99**	2,52**	3,40**
C2	0,21^{ns}	0,12^{ns}	-0,02^{ns}
C3	-1,47**	-0,76**	-2,12**
C4	-0,12^{ns}	-0,53**	-1,64**
C5	0,12^{ns}	-1,30**	-3,47**

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 *vs* T1 (+++++,5-); C2: T3 + T4 + T5 + T6 *vs* T2 (++++,4-); C3: T5 + T6 *vs* T3 (++,2-); C4: T5 + T6 *vs* T4 (++,2-); e C5: T6 *vs* T5 (+,-). T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6:gesso/MgO (70/30) + Zn + B. ** significativo a 1 % de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste F

4 CONCLUSÕES

Os teores mais elevados de cálcio e magnésio no solo foram encontrados nos tratamentos com aplicação de gesso agrícola e dos granulados gesso 70/30, respectivamente.

Para a mesma quantidade de Mg aplicada, os maiores conteúdos de magnésio foram obtidos com a aplicação do granulado gesso 70/30.

A aplicação do granulado gesso 70/30 + Zn + B não proporcionou maiores conteúdos foliares de Zn no cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

À Magnefértil Tecnologia em Magnésio LTDA, pelo financiamento parcial desta pesquisa através do convênio Magnefertil, EMBRAPA-Solos e a Universidade Federal do Espírito Santo.

6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Comparações de médias ou testes de hipóteses?: contrastes! **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, v. 31, p. 24-34, 2006.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUIO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1755-1764, nov./dez. 2009.

ARIAS, M. et al. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 288, n. 1, p. 21-29, 2005.

BRAGANÇA, S. M. et al. Acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2007a. 1 CD-ROM.

_____. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 398-404, jul./ago. 2007b.

BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 409-415, 1995.

CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, July/Aug. 2006.

COSTA, K. A. P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: I., alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1591-1599, 2008.

CUSTÓDIO, D. P. et al. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, p. 27-34, 2005.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 3, p. 91-132.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. Boca Raton: CRC, 2010. 505 p.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. **O magnésio está deficiente em grande parte das lavouras de café**. Disponível em: <http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/folhas/Folha91Magn%C3%A9sio.pdf. 2012>. Acesso em: 1 fev. 2012.

MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, out./dez. 2008.

MORAES, M. F. et al. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 673-684, jul./ago. 2007.

MOREIRA, A. et al. Influência do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco por raízes destacadas de duas cultivares de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 213-218, jul./dez. 2003a.

_____. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, jan. 2003b.

OLIVEIRA, I. P. et al. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 1-12, ago. 2005.

PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Nutrição e crescimento do algodoeiro em Latossolo sob diferentes coberturas vegetais e manejo de calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1481-1490, set./out. 2008.

PREZOTTI, L. C.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo:** 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.

RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, jul./ago. 2013.

RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1687-1698, nov./dez. 2011.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 211-216, 1988.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.

SERAFIM, M. E. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, mar./abr. 2008.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 5, p. 205-274.

VOLNEI, P. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, mar./abr. 2014.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, jan./fev. 2007.

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DO CAFEEIRO, NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO PLANALTO DE ARAXÁ, MG

André Luís Teixeira Fernandes[1], Tiago de Oliveira Tavares[2], Felipe Santinato[3], Rodrigo Ticle Ferreira[4], Roberto Santinato[5]

(Recebido: 28 de setembro de 2015; aceito: 01 de fevereiro de 2016)

RESUMO: Na região do planalto de Araxá, tradicionalmente se produz café economicamente sem a necessidade da irrigação. Porém, nos últimos anos, com as alterações climáticas, foram verificados anos com déficits hídricos superiores a 150 mm, afetando o desenvolvimento vegetativo e produtivo da cultura. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar irrigações complementares para aumento da produção e da lucratividade do cafeeiro cultivado no planalto de Araxá, comparado com o cultivo de sequeiro e com o tratamento de irrigação plena, durante o ano todo. O trabalho foi implantado em Araxá, MG, em 2006, e conduzido por 9 anos, e foram avaliados diferentes períodos de déficits hídricos (desde abril até novembro), comparando-se com a irrigação plena e a testemunha. Após 6 safras consecutivas, pode-se concluir que a irrigação suplementar promoveu aumento da produtividade no cafeeiro cultivado, nas condições do Planalto de Araxá, principalmente em anos de déficit hídrico. Com relação ao desempenho econômico (R$/ha ano^{-1}), a irrigação plena promoveu ganhos de 279% comparando-se com o tratamento sem irrigação.

Termos para indexação: *Coffea arabica L.*, cafeicultura irrigada, gotejamento.

TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF DRIP IRRIGATION OF COFFEE IN ARAXÁ, MG

ABSTRACT: *In the region of Araxá highlands, the economical production of coffee is traditionally made without irrigation. Notwithstanding in recent years, with climate change, water deficit of 150 mm have been verified, affecting the vegetative and productive development of the culture. Within this context, the aim of this study was to evaluate supplementary irrigation to increase production and profitability of the coffee grown in the highlands of Araxá, compared to a non-irrigated and irrigated cultivation throughout the year. The work was implemented in Araxá, Minas Gerais in 2006 and carried out throughout the period of nine years. Different periods of water stress (from April to November) were evaluated, compared with irrigation throughout the year and the witness. After 6 consecutive harvests, it can be concluded that supplemental irrigation promoted an increased productivity in the coffee grown under the conditions of the Araxá Plateau, especially in years of drought. With regard to economic performance, the process of irrigation applied throughout the year promoted profits of 279% (R$/ha year^{-1}) compared to the treatment without irrigation.*

Index terms**:** *Coffea arabica L., irrigated coffee, drip irrigation.*

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro produz café de excelente qualidade devido às suas condições climáticas propiciarem duas estações bem definidas-verão chuvoso e inverno seco- garantindo suprimento hídrico nas fases de desenvolvimento dos frutos e clima seco durante a colheita (FERNANDES et al., 2012); Devido ao seu relevo plano-ondulado, apto à mecanização, obtém-se colheita mecanizada de café (ORTEGA; JESUS, 2011), o que garante produtividade superior à média do Brasil. Em razão da má distribuição de chuvas na região do cerrado de Minas Gerais e da ocorrência de período seco durante a estação fria, a maioria das lavouras é irrigada sem interrupção durante o ano (RONCHI et al., 2015). Entretanto, algumas pesquisas têm apontado que a irrigação plena, sobretudo no período que antecede à florada, pode atrasar o desenvolvimento do botão floral, em relação à lavouras não irrigadas (DaMATTA et al., 2007; SILVA et al., 2009). Na região do planalto de Araxá, que pertence ao Cerrado, tradicionalmente se produz café comercial, sem a necessidade da irrigação, devido à média histórica de déficits hídricos ser inferior a 100 mm anuais. Porém, nos últimos anos, devido às mudanças climáticas, têm sido verificados anos com déficits hídricos superiores a 150 mm, afetando o desenvolvimento vegetativo e produtivo da cultura.

[1]Universidade de Uberaba/ UNIUBE - Pró Reitoria de Pesquisa, Pós Graduação e Extensão - Bloco R - Av. Nenê Sabino, 1801 Bairro Universitário - 38.055-500 - Uberaba - MG - andre.fernandes@uniube.br
[2,3]Universidade Estadual Paulista/UNESP - Campus de Jaboticabal - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castelane, s/n - Vila Industrial - Jaboticabal - SP - 14.884-900 - tiagoolitavares@hotmail.com, fpsantinato@hotmail.com
[4]EDUCAMPO/CAPAL - Rua Maria Rita de Aguiar, 172 - Centro - 38183-000 - Araxá - MG - rodrigoticle@yahoo.com.br
[5]Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ MAPA - Rodovia Heitor Penteado - Km 3 - Bairro Palmeiras - 13.092-543 Campinas - SP - roberto.santinato@agricultura.gov.br

A irrigação visa atender à demanda de água das plantas nos períodos críticos, e é necessário aplicá-la em quantidade e momento correto. Sua utilização propicia que áreas antes consideradas marginais para a produção de café arábica se tornem aptas para o cultivo, além de promover incremento na produção de lavouras já instaladas. Esses incrementos promovidos pela irrigação são bem descritos na literatura, como observado por Fernandes et al. (2012). Da mesma forma, Bonomo et al. (2008) afirmam que a irrigação dobrou a produtividade do cafeeiro. Silva, Teodoro e Melo (2008) descrevem incrementos de até 150% na produção de café, em relação ao tratamento não irrigado. Gomes, Lima e Custódio (2007), destacaram a lâmina de 60% da ECA, com a qual a produção total acumulada foi de 225,6 sc e a média anual de 45,12 sc ha^{-1}, acréscimo de 119% na produtividade do cafeeiro comparado ao tratamento não irrigado, que produziu, em média, 22,5 sc ha^{-1} ano^{-1}.

Conforme Santinato e Fernandes (2012), o rendimento do cafeeiro é sensivelmente afetado pela limitação hídrica, que é capaz de elevar em 45% o índice de grãos malformados (chochos) quando a deficiência coincide com a fase de granação, o que reduz significativamente o crescimento vegetativo e a produção seguinte. Segundo o modelo fenológico-climático proposto por Camargo e Camargo (2001), após a fecundação, ocorrem os chumbinhos e a expansão dos frutos, etapa que compreende quatro meses, de setembro a dezembro. Havendo estiagem forte nessa fase, o estresse hídrico poderá prejudicar o crescimento dos frutos e resultar na ocorrência de baixo rendimento. A fase de granação dos frutos ocorre em pleno verão, de janeiro a março. As estiagens severas nessa fase poderão resultar no chochamento de frutos.

É importante ter cuidado com o suprimento hídrico do cafeeiro, pois, pequenas reduções na disponibilidade da água podem diminuir substancialmente o crescimento, ainda que não se observem murchas nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis do déficit hídrico. O uso da irrigação tem se tornado cada vez mais frequente para a cultura do café, porém, nem sempre, seguindo padrões corretos de dimensionamento e manejo (FERNANDES et al., 2007). Portanto, a geração e a adaptação de tecnologias de produção de café sob regime de irrigação plena e suplementar são imprescindíveis, de modo a permitir altas produtividades contínuas e econômicas, sem que haja degradação do meio ambiente.

Dentro deste contexto, desenvolveu-se um trabalho com o objetivo de avaliar os efeitos de irrigações suplementares sobre a produtividade e rentabilidade do cafeeiro cultivado no planalto de Araxá.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em janeiro de 2006, no Campo Experimental da Cooperativa Agropecuária de Araxá, no município de Araxá, MG, cujas coordenadas geográficas são latitude 19^0 33´21´S e longitude 46^0 58´08´´ W, altitude de 960 m. O cultivo foi realizado em Latossolo Vermelho distroférrico, com as seguintes características físico-hídricas: densidade de 1,14 g cm^{-3}; porosidade total de 60,16 %, condutividade hidráulica de 138 mm h^{-1}, umidade na capacidade de campo de 22% e no ponto de murchamento permanente de 10%. A topografia local é de 3% de declive, e o relevo é plano-ondulado. O clima da região é classificado como Cwa, pelo método de *Koppen,* sendo a precipitação média anual de 1574 mm e a temperatura média anual é de 20,4 ºC. A cultivar utilizada no experimento foi a Catuaí Vermelho IAC 144, plantada no espaçamento 4,0 x 0,5 m, (5.000 plantas ha^{-1}). O experimento foi conduzido por oito anos, sendo dois anos destinados à formação da lavoura, somado a seis safras consecutivas. O balanço hídrico normal para a região em estudo encontra-se na Figura 1. Verifica-se que a região tem déficit hídrico moderado, com somatória de 63 mm anuais, somando-se os excedentes e subtraindo-se os déficits hídricos, mês a mês.

O ensaio teve o desenho experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições e parcelas de 30 metros, sendo considerados úteis os 6 metros centrais. Os tratamentos foram: 1) Irrigação o ano todo (IAT); 2) Sem irrigação (SI); 3) Irrigação interrompida de abril a novembro de cada ano (SIAN); 4) Irrigação interrompida de maio a novembro (SIMN); 5) Irrigação interrompida de junho a novembro (SIJN); 6) Irrigação interrompida de julho a novembro (SIJLN); 7) Irrigação interrompida de agosto a novembro (SIAGN); 8) Irrigação interrompida de setembro a novembro (SISN); 9) Irrigação interrompida de outubro a novembro (SION). Adotou-se a irrigação por gotejamento, com emissores autocompensantes de 2,3 l h^{-1}, instalados a cada 0,60 m.

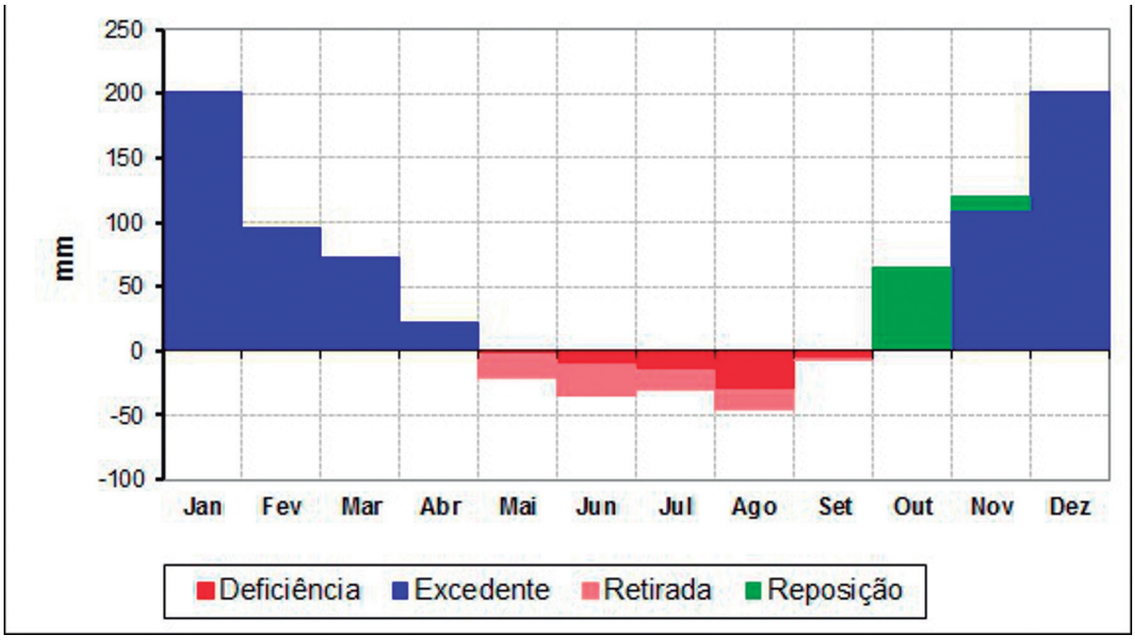

FIGURA 1 - Balanço hídrico anual para a região de Araxá.

Os dados meteorológicos, durante a condução do experimento, foram obtidos junto a uma estação agrometeorológica automática marca Davis, modelo Vantage Pro 2, instalada ao lado das parcelas experimentais. Através das medidas obtidas pelos sensores (temperatura, umidade relativa, velocidade de vento e radiação solar), foi estimada a evapotranspiração de referência (ETo), pelo método de Penman Monteith. Esse método é uma adaptação do modelo original de Penman, introduzindo os conceitos de resistência do dossel (r_c) e de resistência aerodinâmica (r_a) e é recomendado pela FAO. Trata-se de uma referência internacional e representa uma cultura hipotética, que permite a obtenção de resultados confiáveis do potencial de evapotranspiração de um local (SILVA et al., 2011).

Para determinação do tempo de irrigação, foram considerados a vazão do emissor, o espaçamento entre emissores, o espaçamento entre linhas laterais e um fator de ajuste relacionado à redução da área molhada, por se tratar de irrigação localizada. A Evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada pela equação 1:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \cdot K_m \quad (1)$$

Em que:

ET_0 = Evapotranspiração de referência, estimada pela equação de Penman Monteith, com dados da estação meteorológica automática, mm.dia^{-1};

K_c = coeficiente de cultura, decimal (Tabela 1)

K_m = fator de ajuste da evapotranspiração para microirrigação, decimal, calculado pela equação 2.

$$K_m = \sqrt{As} \quad (2)$$

Em que:

As = fração da área sombreada pela cultura ao meio dia, decimal.

Com relação à adubação, foram realizadas 4 aplicações anuais em cobertura para todos os tratamentos seguindo as recomendações do MAPA/ Procafé para a região (MATIELLO et al., 2010). O controle e o combate das principais pragas e doenças foram efetuados conforme recomendações propostas por Matiello et al. (2010), com fungicidas Triazóis associados às Estrobirulinas para o controle da Ferrugem (*Hemileia vastrix*) e Cercosporiose (*Cercospora coffeicola*). Para o complexo Phoma e Ascochyta (*Phoma* spp. *e Ascochyta* spp), utilizou-se Boscalide. O Aldicarb foi utilizado no 1º e 2º anos e Rynaxipir nos demais anos para controlar a infestação de Bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*). Para o controle da Broca do café (*Hyppotenemus hampei*), utilizou-se o Endosulfan, a partir da primeira safra, aos 30 meses. Todos os tratos culturais, nutricionais e fitossanitários foram semelhantes nos tratamentos avaliados.

TABELA 1 - Coeficiente de cultura (Kc) do café.

Idade da planta (anos)	Espaçamento entre ruas (m) X Espaçamento entre plantas (m)	Kc
1. Lavoura adulta (mais de 3 anos)	> 3,0 x > 1,0 – 2500 plantas ha^{-1}	1,0
	> 3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas ha^{-1}	1,1
	2 a < 3 x 0,5 a 1,0 – 6.666 plantas ha^{-1}	1,2
	1 a < 2 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas ha^{-1}	1,3
2. Lavoura nova (de 1 a 3 anos)	> 3,0 x > 1,0 – 2500 plantas ha^{-1}	0,8
	> 3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas ha^{-1}	0,9
	2 a < 3 x 0,5 a 1,0 – 6.666 plantas ha^{-1}	1,0
	1 a < 2 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas ha^{-1}	1,1
3. Lavoura nova (até 1 ano)	> 3,0 x > 1,0 – 2500 plantas ha^{-1}	0,6
	> 3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas ha^{-1}	0,7
	2 a < 3 x 0,5 a 1,0 – 6.666 plantas ha^{-1}	0,8
	1 a < 2 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas ha^{-1}	0,9

Adaptado de Santinato, Fernandes e Fernandes (2008)

O manejo da irrigação foi realizado a partir de balanço hídrico climatológico, com medições de precipitação e estimativa da evapotranspiração pelo método do Penman Monteith. A reposição da evapotranspiração foi total apenas no tratamento 1 (Irrigação o ano todo - IAT). Nos demais tratamentos com irrigação, (3 – SIAN; 4 – SIMN; 5 – SIJN; 6 – SIJLN; 7 – SIAGN; 8 – SISN e 9 - SION), a reposição da evapotranspiração da cultura do café foi apenas nos meses definidos pelo tratamento. No tratamento 2 (SI), não foi realizada a irrigação durante todo o experimento. O turno de rega foi fixo (a cada 3 dias), com aplicações diferenciadas de água conforme lâminas calculadas para cada tratamento.

As avaliações do experimento constaram de seis safras (2008/2009; 2009/2010 e 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014), com a colheita dos frutos das oito plantas centrais de cada parcela, quando apresentavam um máximo de 15% de frutos verdes. Os cafés colhidos tiveram os volumes medidos através de recipiente graduado e colocados para secagem até o ponto de proceder ao beneficiamento. Com o peso do café beneficiado, realizou-se a transformação em sacas beneficiadas de 60,0 kg ha^{-1}, para cada parcela.

Para a verificação da normalidade e da homocedasticidade dos dados de produtividade, foram utilizados os testes Kolmogorov-Smirnov e Bartlett, respectivamente. Após a verificação da normalidade e homocedasticidade dos dados, foi utilizada a ANOVA. Após a verificação da significância da ANOVA, foi utilizado o teste de Tukey para comparações múltiplas entre as médias de tratamentos, utilizando-se o software SISVAR® (FERREIRA, 2011).

Para o procedimento de estimativa do custo de produção, conceituado como a soma de valores de todos os recursos (insumos) e operações (serviços) alocados no processo produtivo de certa atividade, incluindo os respectivos custos alternativos ou de oportunidade, utilizou-se o cálculo da depreciação e do custo alternativo, conforme apresentado por Silva, Faria e Reis (2003). Para o cálculo da rentabilidade média de cada tratamento, foi utilizado preço médio da saca de café nos últimos 6 anos. Para a composição do custo de irrigação, foram utilizados os seguintes parâmetros: mão de obra fixa, mão de obra eventual, energia elétrica, manutenção, remuneração e depreciação dos equipamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, constam os dados de temperatura média do ar de 2006 a 2014, período de condução do experimento. Nota-se que as temperaturas médias foram inferiores a 19ºC, apenas alguns meses, durante todo o experimento – na média de 8 anos de condução, apenas no mês de julho. Segundo Santinato, Fernandes e Fernandes (2008), abaixo de 19ºC, o cafeeiro reduz de maneira significativa o seu crescimento, o que praticamente não ocorreu durante todo o experimento.

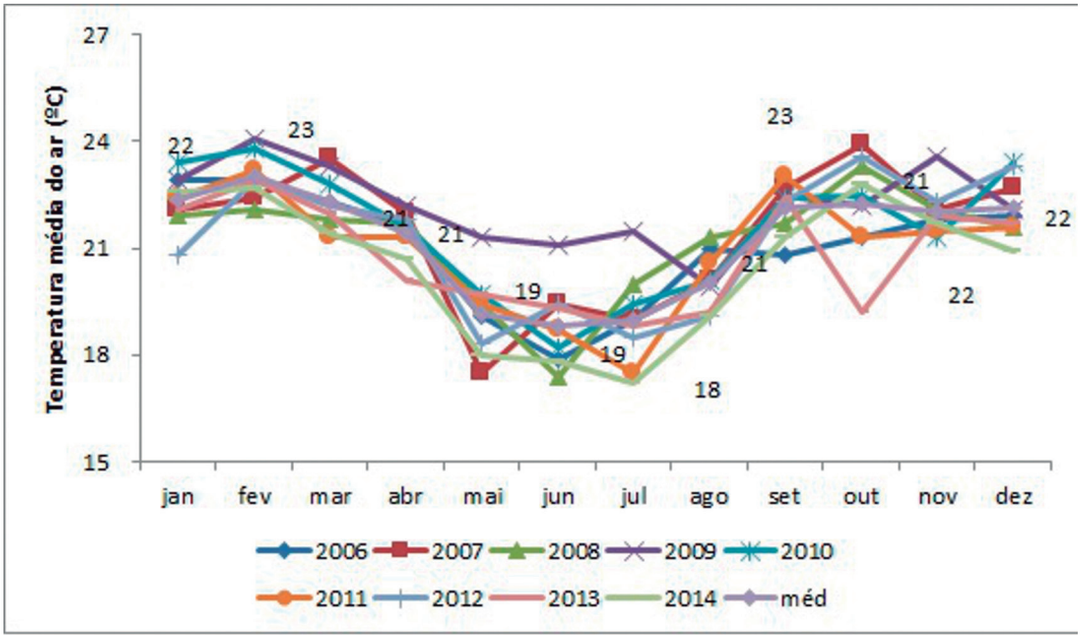

FIGURA 2 - Temperatura média do ar durante a condução do experimento, Campo Experimental da Cooperativa Agropecuária de Araxá, MG, de 2006 a 2014.

Na Figura 3 constam os dados de precipitação durante o experimento, cujos valores somaram 1.576, 1.611, 1.737, 1.812, 1.481, 1.372, 1.410, 1.558 e 1.054 mm, respectivamente para 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014. Na média dos 9 anos de condução do experimento, a média de precipitação foi de 1.497 mm, abaixo da média normal para a região, que é de 1.574 mm.

Na Figura 4 constam os extratos dos balanços hídricos sequenciais para a região de Araxá, desde o início do experimento, em 2006. Nota-se que, nos 8 anos de condução do experimento, o período seco ficou compreendido entre abril e setembro, sendo mais acentuado em alguns anos que em outros. O ano mais crítico do experimento foi o de 2014, com precipitação total de 1.054 mm, praticamente igual à evapotranspiração da cultura, de 955 mm. Neste ano, o déficit foi muito acentuado desde o início do ano, com valores totais de 73 e 48 mm, respectivamente para janeiro e fevereiro.

Na Tabela 2 constam as lâminas de água aplicadas em cada um dos tratamentos, nos 9 anos de condução do experimento. Em anos com maiores déficits hídricos, houve reposição de até 283 mm de água (2007). Em anos mais chuvosos, houve reposição de apenas 20 mm (2009). Na média de 9 anos, a reposição foi de 190 mm anuais. Para os tratamentos onde houve interrupção da irrigação em determinados meses do ano, as lâminas médias anuais aplicadas foram de 46, 56, 62, 84, 104, 132 e 159 mm, respectivamente para os tratamentos SIAN, SIMN, SIJN, SIJLN, SIAGN, SISN e SION.

Os resultados obtidos em 6 safras evidenciam a superioridade, de forma significativa, dos tratamentos irrigados, quando comparados com a testemunha (sem irrigação, tratamento 2) – Tabela 3, Figura 5. Ao se atribuir valor 100 ao tratamento irrigado durante todo o ano, verificou-se que todos os tratamentos de déficit hídrico promoveram perdas de produtividade de 13 a 38%, em 6 safras. Silva et al. (2009) obtiveram maiores produtividades em tratamentos irrigados ou submetidos a déficits hídricos menos severos, mas também demonstraram que é possível aliar uniformidade na maturação dos frutos e produtividade. As menores perdas foram obtidas com os tratamentos com interrupção da irrigação de outubro a novembro (SION), de agosto a novembro (SIAGN) e setembro a novembro (SISN), respectivamente com perdas de 14, 13 e 17% em relação à irrigação total. Coelho et al. (2009), em trabalhos realizados em Lavras (MG), obtiveram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, com maiores produtividades obtidas quando as plantas não foram submetidas ao estresse hídrico entre 1/6 e 30/9.

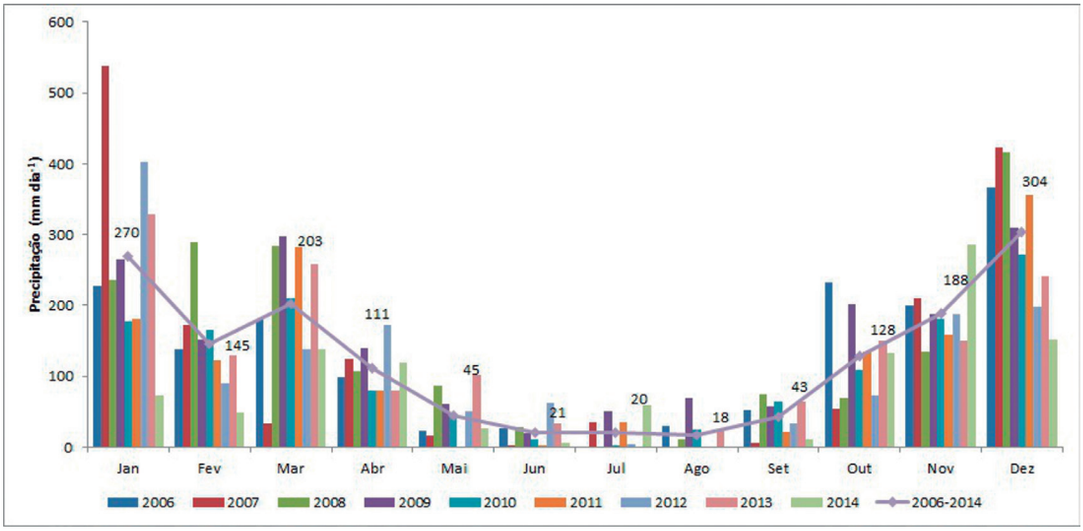

FIGURA 3 - Precipitação durante todo o experimento, Campo Experimental da Cooperativa Agropecuária de Araxá, MG, de 2006 a 2014.

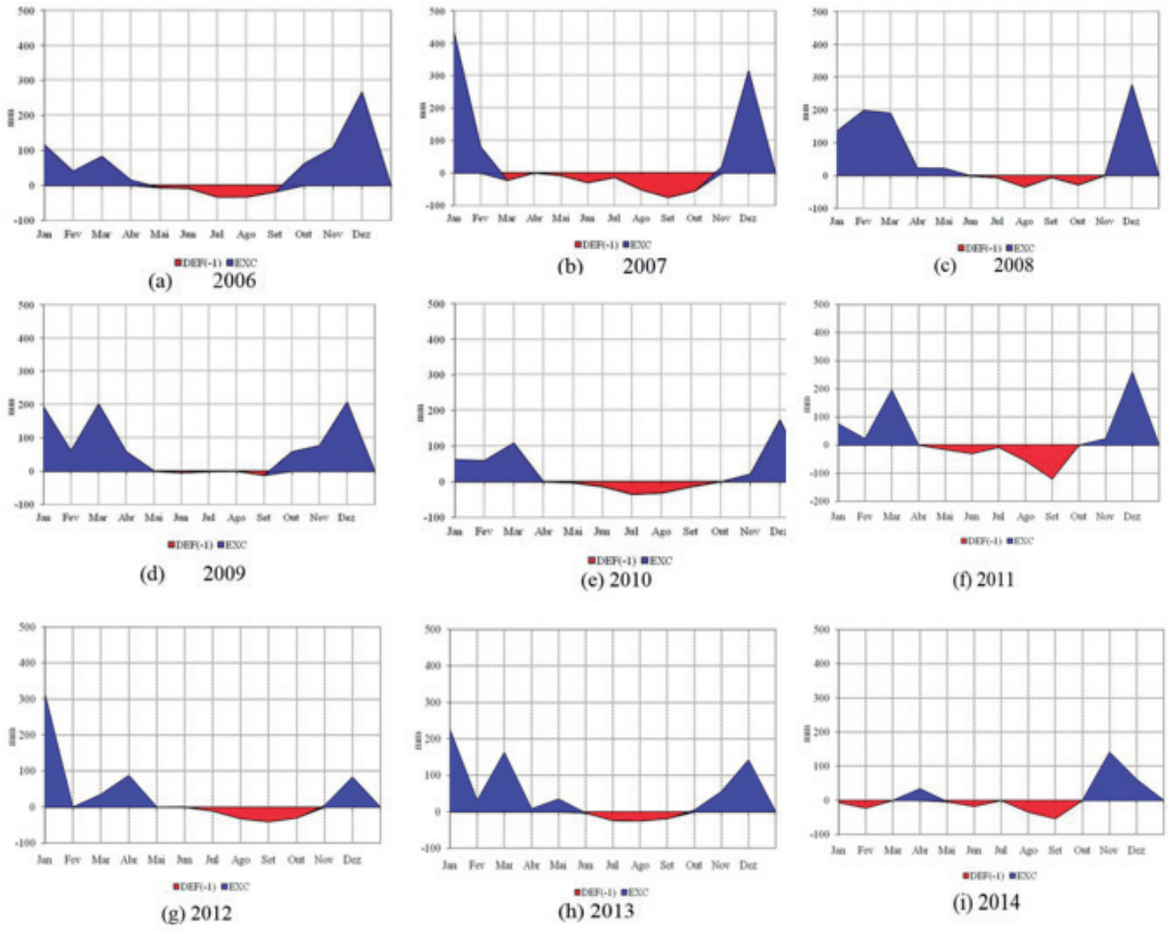

FIGURA 4 - Extratos dos balanços hídricos climatológicos sequenciais para a região de Araxá, de 2006 a 2014, período de condução do experimento.

TABELA 2 - Lâminas de água durante o experimento, em milímetros, 9 anos, Araxá – MG.

Mês	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Média
IAT	110	283	86	20	106	281	280	274	271	190
SI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIAN	0	25	0	0	0	97	98	98	96	46
SIMN	0	25	0	0	0	121	122	120	119	56
SIJN	7	31	0	0	3	129	129	129	126	62
SIJLN	17	67	2	5	18	163	164	163	159	84
SIAGN	54	82	9	6	56	182	184	183	177	104
SISN	90	139	48	6	90	205	205	204	198	132
SION	110	222	55	20	106	234	229	229	222	159

IAT - Irrigação o ano todo; SI - Sem irrigação; SIAN - Irrigação interrompida de abril a novembro; SIMN – Irrigação interrompida de maio a novembro; SIJN - Irrigação interrompida de junho a novembro; SIJLN - Irrigação interrompida de julho a novembro; SIAGN - Irrigação interrompida de agosto a novembro; SISN - Irrigação interrompida de setembro a novembro; SION - Irrigação interrompida de outubro a novembro.

TABELA 3 – Produtividade média de 6 safras, sob os diferentes tratamentos de irrigação, comparados com a testemunha não irrigada. Campo Experimental da Capal, Araxá, MG.

Tratamentos (Dias sem Irrigação)	Produtividade (Scs ha^{-1})							
	COLHEITAS							
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Média 6 safras	R%
1- IAT (0 DIAS)	82,7 a	47,2 a	56,1 a	11,0 a	75,3 ab	63 a	56 a	100
2- SI (VARIÁVEL)	40,4 c	39,7 a	44,3 abc	12,8 a	62,3 b	7,0 c	34 cd	-38
3- SIAN (240 DIAS)	45,6 e	43,1 a	49,0 ab	10,8 a	58,0 b	9,8 c	36 cd	-35
4- SIMN (180 DIAS)	49,0 ed	43,7 a	54,2 a	7,4 a	66,5 b	11,4 c	39 c	-31
5- SIJN (150 DIAS)	59,9 cd	37,8 a	43,2 abc	16,0 a	67,3 b	14,0 c	40 c	-29
6- SIJLN (120 DIAS)	65,1 abcd	31,9 a	50,8 a	11,6 a	74,0 ab	11,0 c	41 c	-27
7- SIAGN (90 DIAS)	79,4 ab	49,0 a	42,1 abc	21,0 a	79,3 a	8,0 c	46 b	-17
8- SISN (60 DIAS)	74,6 c	39,3 a	55,9 a	21,0 a	79,5 a	21,0 b	49 b	-13
9- SION (30 DIAS)	80,3 ab	34,3 a	49,7 ab	23,4 a	74,8 ab	26,0 b	48 b	-14
CV %	21,4	40,5	31,5	46,4	28,3	23,0	25,0	

IAT - Irrigação o ano todo; SI - Sem irrigação; SIAN - Irrigação interrompida de abril a novembro; SIMN – Irrigação interrompida de maio a novembro; SIJN - Irrigação interrompida de junho a novembro; SIJLN - Irrigação interrompida de julho a novembro; SIAGN - Irrigação interrompida de agosto a novembro; SISN - Irrigação interrompida de setembro a novembro; SION - Irrigação interrompida de outubro a novembro.

A testemunha, sem irrigação, teve redução de 38%, por ano, comparando com o tratamento com irrigação durante todo o ano. A irrigação do cafeeiro é economicamente superior à alternativa não irrigada, sendo um fator condicionante para elevação da rentabilidade e diminuição do risco no cultivo do café (ARÊDES; PEREIRA; SANTOS, 2010). Pesquisas relacionadas demonstram resultados ainda mais expressivos, com relação à ganhos de produtividade com irrigação (REZENDE et al., 2006).

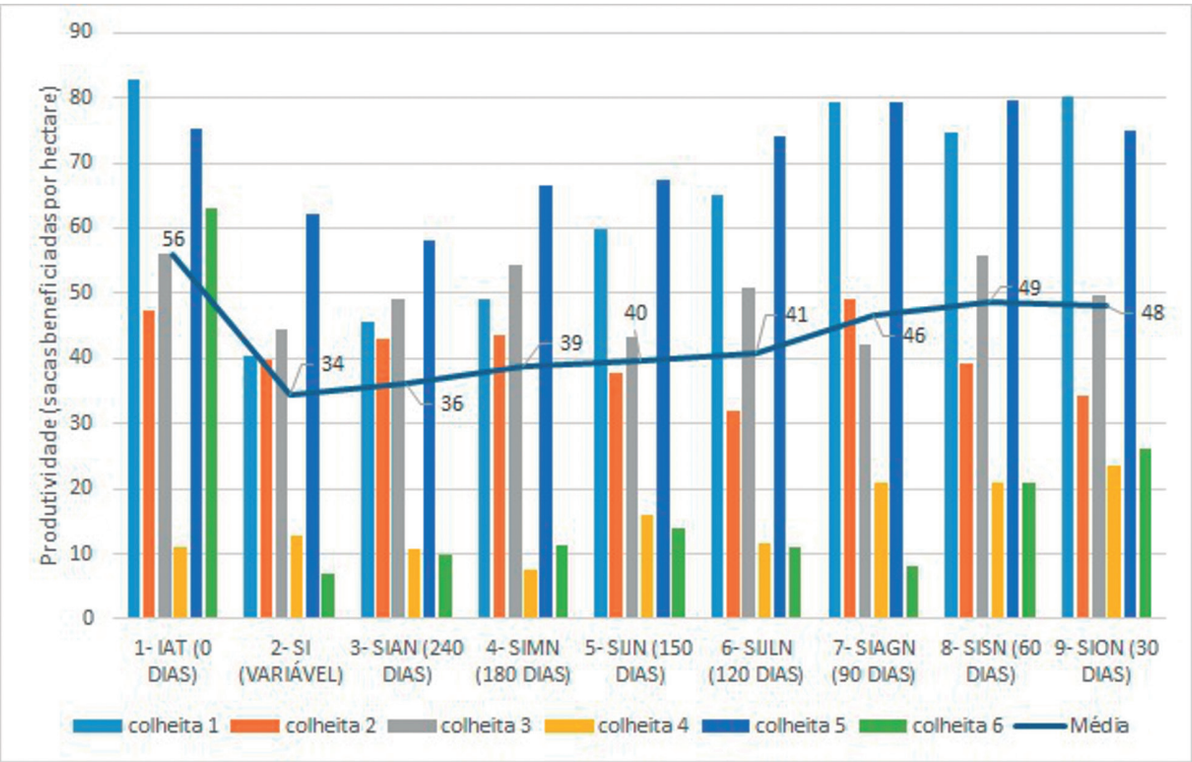

FIGURA 5 - Produtividade por safra e média de 6 safras dos diferentes tratamentos de irrigação, comparados com a testemunha não irrigada. Campo Experimental da Capal, Araxá, MG.

IAT - Irrigação o ano todo; SI - Sem irrigação; SIAN - Irrigação interrompida de abril a novembro; SIMN – Irrigação interrompida de maio a novembro; SIJN - Irrigação interrompida de junho a novembro; SIJLN - Irrigação interrompida de julho a novembro; SIAGN - Irrigação interrompida de agosto a novembro; SISN - Irrigação interrompida de setembro a novembro; SION - Irrigação interrompida de outubro a novembro.

Antes da colheita das seis safras do experimento, ocorreram déficits hídricos atípicos, que comprometeram a produtividade ao longo dos anos. Segundo Fernandes et al. (2012), nas regiões consideradas aptas à cafeicultura, como é o caso de Araxá, a ocorrência de estiagens (veranicos) nas fases críticas de demanda de água pela cultura tem promovido redução significativa na produção. Assim, a suplementação hídrica pode ser justificada. Durante a formação do cafeeiro, de 0 a 30 meses, antes da primeira safra, ocorreram diferentes déficits hídricos, que comprometeram a produtividade de formas diferentes. Nos anos de 2006/2007 e 2007/2008 ocorreram, respectivamente, déficits de 153 e 186 mm ano^{-1}, reduzindo a primeira produção em 54; 48; 44; 40 e 25%, respectivamente para as supressões de irrigação em Abril, Maio, Junho, Julho e Agosto.

Na 2ª produção, verificou-se no ano de 2008/2009 déficit menor, da ordem de 136 mm, não tendo ocorrido diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2). Já na 3ª produção, houve déficit antecedente de 154 mm, voltando a ocorrer diferenças significativas entre a testemunha sem irrigação e os tratamentos irrigados. Entre a terceira e quarta safras, configurou-se déficit hídrico de 230 mm, comprometendo muito a quarta colheita, em todos os tratamentos, sem diferença estatística. Neste ano, também houve problemas de atraso na colheita, o que repercutiu em baixas produtividades, em todos os tratamentos. Entre a quarta e quinta safras, o déficit foi de 113 mm, com produtividade alta em praticamente todos os tratamentos, sem diferença estatística entre o IAT (irrigação durante todo o ano) e os com déficit moderado (SIJLN, SIAGN, SISN e SION), respectivamente de 120, 90, 60 e 30 dias. Para a 6ª safra, houve déficit hídrico antecedente de 69 mm. Porém, pela alta produção do ano anterior, as plantas com déficit ficaram debilitadas, ocasionando grandes perdas de produtividade comparando-se com a irrigação total (IAT), sendo todos os tratamentos estatisticamente inferiores ao tratamento de reposição total de água no

solo. Baixos valores de potencial de água das plantas (Ψwa) não irrigadas ou com irrigações suplementares podem reduzir significativamente o número de flores, se comparadas às plantas irrigadas, com reflexos na produtividade de grãos, por isso, a irrigação é uma das alternativas mais adotadas nos últimos tempos para aumentar a produtividade na cafeicultura (SILVA et al., 2003; SILVA; FARIA; REIS, 2009).

Nota-se que, mesmo nas parcelas irrigadas de forma plena (IAT), houve bienalidade na produção, da mesma forma como relatado Gomes, Lima e Custódio (2007), que concluíram que a irrigação não foi capaz de evitar a ocorrência da bienalidade na produção em Lavras (MG).

De forma geral, observa-se que, para a região, o efeito benéfico da irrigação varia de acordo com o déficit hídrico do ano anterior, e será tanto mais prejudicial quanto maior for o mesmo. O cafeeiro é afetado pela seca com consequente redução da produção, tornando-se necessária a irrigação, que tem sido utilizada com o propósito de estimular o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro, aumentar a produção e obter grãos e bebida de melhor qualidade (SILVA et al., 2011).

O acréscimo da produtividade, na média das seis safras avaliadas foi da ordem de 40%, em relação ao tratamento não irrigado (Tabela 2), corroborando com Lima, Custódio e Gomes (2008), Oliveira et al. (2010) e Silva et al. (2008), que também estudaram a adoção da técnica de irrigação em regiões consideradas aptas para o cultivo do café, sob condições de sequeiro.

Na média de 6 safras, a irrigação durante todo o ano, proporcionou as maiores médias de produtividade (56 sacas/ha). A interrupção da irrigação, em qualquer intensidade (de 30 a 240 dias), promove perdas na produtividade. As interrupções que menos impactam a produção do cafeeiro são as que ocorrem de agosto a novembro, com perdas de 5 a 8 sacas benef. ha^{-1} anuais.

Com relação aos custos totais anuais (Tabela 5), os maiores valores foram obtidos com o tratamento IAT, com irrigação sendo realizada durante todo o ano, com valores anuais de R$ 13.227,78. Os menores custos foram obtidos com o tratamento sem irrigação, com gastos totais anuais de R$ 11.576,82. Os demais tratamentos com diferentes períodos de déficit hídrico tiveram custos anuais entre R$ 12.552,78 a R$ 13.002,78. Porém, devido às maiores médias de produtividade, em 6 safras consecutivas, o tratamento com irrigação plena (IAT) promoveu os maiores ganhos financeiros, com resultado econômico anual de R$ 9.172,22, muito superior ao tratamento sem irrigação, com resultado anual de R$ 2.023,18, e também a todos os tratamentos que promoveram déficits hídricos (com resultados de R$ 1.847,22 a R$ 6.197,22). Os resultados favoráveis aos tratamentos irrigados estão relacionados às diferenças dos custos produtivos e da produtividade. Incrementos em produtividade e melhorias na gestão do processo produtivo são aspectos considerados relevantes para melhorar o desempenho do produtor, conforme relatam Pereira et al. (2010). A irrigação durante o ano todo promoveu ganhos de R$ 6.750,00/ha/ano, comparando-se com o tratamento sem irrigação (superior em 279%). O tratamento que promoveu a interrupção da irrigação de abril a novembro reduziu em 16% o resultado econômico, comparado com o tratamento sem irrigação e os demais períodos de déficit promoveram aumentos de 34% (SIMN) a 180% (SION).

Na composição do custo total da irrigação, os percentuais foram: mão de obra fixa (10%), mão de obra eventual (3%), energia elétrica (32%), manutenção (9%), depreciação (34%) e remuneração (12%).

Em relação aos indicadores que mais impactam no custo operacional efetivo, destacam-se a adubação via solo, que representa de 26 a 31,1% dos custos, o controle de pragas e doenças, que é responsável por de 13,2 a 14,8% e a colheita, que tem percentuais de 16,1 a 19,8%. As despesas com insumos e mão de obra representam as maiores parcelas dos custos operacionais unitários de produção, corroborando com as conclusões de Pereira et al. (2010). Cabe ao produtor buscar melhorias em sua produtividade, fazendo melhor uso dos recursos (PEREIRA et al., 2010).

TABELA 5 - Resultados econômicos dos diferentes tratamentos, custos e lucratividade anual, em reais (R$).

Indicador	Custos ha^{-1}								
	IAT	SI	SIAN	SIMN	SIJN	SIJLN	SIAGN	SISN	SION
Administração	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23
Adubação via Solo	2.658,63	2.753,08	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63
Adubação via Folha	325,05	364,18	325,05	325,05	325,05	325,05	325,05	325,05	325,05
Controle Pragas e Doenças	1.347,69	1.309,87	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69
Controle Plantas Daninhas	595,89	508,46	595,89	595,89	595,89	595,89	595,89	595,89	595,89
Tratos Culturais	148,58	92,53	148,58	148,58	148,58	148,58	148,58	148,58	148,58
Irrigação	900,00	-	225,00	300,00	375,00	450,00	525,00	600,00	675,00
Colheita	1.650,00	1.750,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00
Pós-Colheita	870,00	670,00	870,00	870,00	870,00	870,00	870,00	870,00	870,00
Comercialização	270,00	335,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00
C.O.E	10.224,07	8.842,22	9.549,07	9.624,07	9.699,07	9.774,07	9.849,07	9.924,07	9.999,07
Depreciação	2.140,23	1.667,80	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23
Remuneração	863,48	667,67	863,48	863,48	863,48	863,48	863,48	863,48	863,48
C.T	13.227,78	11.576,82	12.552,78	12.627,78	12.702,78	12.777,78	12.852,78	12.927,78	13.002,78
Produtividade média (sc.ben/ha)	56,00	34,00	36,00	39,00	40,00	41,00	46,00	49,00	48,00
R$/ha/ano (saca de 60 kg = R$ 400,00)	22.400,00	13.600,00	14.400,00	15.600,00	16.000,00	16.400,00	18.400,00	19.600,00	19.200,00
Resultado econômico anual (R$/ha)	9.172,22	2.023,18	1.847,22	2.972,22	3.297,22	3.622,22	5.547,22	6.672,22	6.197,22

IAT - Irrigação o ano todo; SI - Sem irrigação; SIAN - Irrigação interrompida de abril a novembro; SIMN – Irrigação interrompida de maio a novembro; SIJN - Irrigação interrompida de junho a novembro; SIJLN - Irrigação interrompida de julho a novembro; SIAGN - Irrigação interrompida de agosto a novembro; SISN - Irrigação interrompida de setembro a novembro; SION - Irrigação interrompida de outubro a novembro.

4 CONCLUSÕES

Após 6 safras consecutivas, pode-se concluir que, para as condições do Planalto de Araxá:

A irrigação durante todo o ano é recomendável, pois permite as maiores médias de produtividade (56 sacas/ha).

A interrupção da irrigação, em qualquer intensidade (de 30 a 240 dias), promove perdas na produtividade.

As interrupções que menos impactam a produção do cafeeiro são as que ocorrem de agosto a novembro, com perdas de 5 a 8 sacas beneficiadas ha^{-1} anuais;

Os indicadores que mais impactam os custos operacionais efetivos são a adubação via solo, o controle de pragas e doenças e a colheita.

5 REFERÊNCIAS

AREDES, A. F. de; PEREIRA, M. W. G.; SANTOS, M. L. dos. A irrigação do cafezal como alternativa econômica ao produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 193-200, jun. 2010.

BONOMO, R. et al. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 233-240, 2008.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacases, v. 19, p. 485-510, 2007.

FERNANDES, A. L. T. et al. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 11, n. 2, p. 159-66, 2007.

_____. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

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

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. 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, p. 564-570, 2007.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1832-1842, 2008.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil:** manual de recomendações. Rio de Janeiro; Varginha: Fundação Prócafé, 2010. 542 p.

OLIVEIRA, E. L. et al. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejo na cultura do cafeeiro Acaiá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 887-896, 2010.

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista Economia Sociologia Rural**, Brasília, v. 49, n. 3, p. 771-800, 2011.

PEREIRA, V. F. et al. Riscos e Retornos da Cafeicultura em Minas Gerais: uma análise de custos e diferenciação. **Revista Economia Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 657-678, 2010.

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, 2006.

RONCHI, C. P. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 24-32, jan. 2015.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento**. 2. ed. Uberaba: Autores Associados, 2012. 388 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008. 476 p.

SILVA, A. C. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 21-25, 2008.

SILVA, A. L. da; FARIA, M. A. de; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

SILVA, A. M. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1215-1221, dez. 2011.

SILVA, C. A.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, E. A. et al. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 493-501, 2009.

SPRAY DRYING OF COFFEE LEAF EXTRACT

Jefferson Luiz Gomes Corrêa[1], Kamilla Soares de Mendonça[2], Leonardo Reis Rodrigues[3], Mário Lúcio Vilela Resende[4], Guilherme Eurípedes Alves[5]

(Recebido: 30 de setembro de 2015; aceito: 23 de fevereiro de 2016)

ABSTRACT: *The coffee leaf extract formulation has been used as resistance inductor in plants and to control phytopathologies. This work aimed to study the influence of spray drying process variables with the use of maltodextrin as carrier on the characteristics of the powder, by using a central composite rotational design (CCRD). The independent variables were maltodextrin concentration (X_1, 0 to 30 % w/v), coffee leaf extract concentration (X_2, 2 to 32 % w/v), inlet air temperature (X_3, 180 to 250 °C) and air flow rate (X_4, 3.5 to 5.5 m^3min^{-1}). The response variables were collection efficiency* (η)*, moisture content (MC), phenolic compounds content (Ph), soluble solids (S) content, wettability (We) and particle size (Me). The results showed that the combination of a higher concentrations of coffee leaf extract (X_2) (32%) and lower inlet air temperatures (X_3) (180°C) make the best drying performance. This process condition lead to a powder with higher Ph, S, We, Me and lower MC. Therefore, the use of high air flow rates (X_4) increase the collection efficiency* (η) *of process and the use of low maltodextrin concentration (X_1) lead to better preservation of phenolic compounds content (Ph) on coffee leaf extract powdered.*

Index terms: NEFID, resistance inductor, CCRD, maltodextrin.

SECAGEM POR SPRAY DRYING DE EXTRATO DE FOLHA DE CAFÉ

RESUMO**:** *A formulação de extrato de folhas de café foi utilizada como indutor de resistência em plantas e no controle de fitopatologias. Objetivou-se, neste trabalho,estudar a influência das variáveis do processo de secagem por spray drying, com o uso de maltodextrina como agente carreador, nas características do pó, através do uso de um delineamento central composto rotacional (DCCR). As variáveis independentes foram a concentração de maltodextrina (X_1, 0 a 30 % p/v), concentração de extrato de folhas de café (X_2, 2 a 32 % p/v), temperatura de entrada do ar (X_3, 180 a 250 °C) e taxa de fluxo de ar (X_4, 3.5 a 5.5 m^3min^{-1}). As variáveis resposta foram eficiência de coleta , conteúdo de umidade (MC), conteúdo de compostos fenólicos (Ph), conteúdo de sólidos solúveis (S), molhabilidade (We) e tamanho da partícula (Me). Os resultados mostraram que a combinação de altas concentrações de extrato de folha de café (X_2) (32%) e baixas temperaturas de entrada de ar (X_3) (180°C) proporcionaram as melhores performances de secagem. Essa condição de processo produz pós com maiores Ph, S, We, Me e menores MC. Além disso, o uso de altas taxas de fluxo de ar (X_4) aumentam a eficiência de coleta do processo e o uso de baixas concentrações de maltodextrina (X_1) promovem uma melhor preservação dos compostos fenólicos (Ph) nos pós de extrato de folha de café.*

Termos para indexação: *NEFID, indutor de resistência, DCCR, maltodextrina.*

1 INTRODUCTION

Brazil is the biggest coffee producer and exporter with approximately 30 % of the world production (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATE STATISTICAL DATABASE - FAOSTAT, 2015). Besides, it is the biggest exporter of extracts, essences and coffee concentrates. The vegetables extracts are used for treating plant diseases. Coffee leaf extract has shown a great performance on protecting coffee trees and other plaints (CARVALHO et al., 2008; MEDEIROS et al., 2009).

Coffee leaf extract formulation (NEFID) is a liquid and diluted product, storage at low temperatures (MEDEIROS et al., 2009; PEREIRA et al., 2008) that activate defense-related genes in plants. The possibility of converting this extract to a solid product carries out the advantages of better transport, conservation and handily conditions. Drying is an appropriated operation for lowing the moisture content, volume and weight of biological products (CORRÊA et al., 2011, 2012; FANTE et al., 2011; ISQUIERDO et al., 2013).

Spray drying is a process commonly used for drying liquid products like coffee, milk, fruit juices, pharmacological products, among others (AL-MANSOUR; AL-BUSAIRI; BAKER, 2011; BOWEY et al., 2013; CAL; SOLLOHUB, 2010; CARNEIRO et al., 2013; CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011; FANG; BHANDARI, 2012; FERRARI et al., 2013; MARQUES et al., 2014b; TONON et al., 2009). The process consists in a high temperature exposure that promotes a quickly drying. The spray drying

[1,2,3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência dos Alimentos/DCA - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG jefferson@dca.ufla.br, keamendonca@msn.com, leoreis@ig.com.br
[4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - mlucio@dfp.ufla.br
[5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG guiualves@gmail.com

is recommended to products with thermo sensible substances and flavor and aromatic products. Among the carriers, maltodextrin is largely used by its low cost, high solubility, low viscosity and high protection against oxidation (CARNEIRO et al., 2013; FERRARI et al., 2013).

There is to a lack of published results on spray drying of extract of coffee leaf. This work aimed to evaluate the influence of inlet air temperature, air flow rate, coffee leaf extract concentration and maltodextrin concentration on the characteristics of this powder.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Material

The coffee leaf extract acquired from the coffee (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo), from Lavras, INCT-CAFÉ/UFLA, Brazil. The soluble compounds were extracted at 120 ºC and 1.2 atm in distilled water. The solution was concentrated in a vacuum evaporator (50 °C, 600 mm de Hg), filtered in a 400 mesh sieve and stored at -20 °C (MEDEIROS et al., 2009). Before spray drying, the product was heated at 40 ºC and mixed, for 15 min, with maltodextrin DE 10 according to the defined proportions in the experimental design.

2.2 Spray dryer

The spray dryer was in a pilot scale with cylindrical chamber height 1.05 m, 0.80 cm diameter and total height 2.40 m (Labmaq do Brasil LTDA., model SD 5.0, Ribeirão Preto, Brazil). The equipment could work with air flow rate until 5.5 m^3min^{-1}, inlet air temperature from ambient to 250 °C, product flow rate until 5 L h^{-1} and compressed air flow rate until 100 L min^{-1}. The dried product was collected in a 20 cm Lapple cyclone coupled to the spray-dryer. The spray drying was performed with 5 L h^{-1} of product flow rate in all treatments.

2.3 Experimental design

A central composite rotational design (CCRD) was applied to determine the influence of spray drying process variables on characteristic of powder. A 2^4 factorial design was used, consisting of 16 assays (-1.00 and +1.00 levels), 4 central points and 8 axial points (-2.00 and +2.00 levels), resulting in an orthogonal distribution for 28 experiments (RODRIGUES; IEMMA, 2012). The maximum and minimum values of each level were established by pre-tests. Such pre-tests emphasized the common range of process variables (flow rate and temperature) and concentration of the wall and core materials, maltodextrin and coffee leaf extract, respectively (BOTREL et al., 2014; MURALI et al., 2014). The independent variables were maltodextrin concentration X_1 (% w/v), coffee leaf extract concentration X_2 (% w/v), inlet air temperature X_3 (°C) and air flow rate X_4 (m^3min^{-1}), the factor levels are provided in Table 1. The responses variables were collection efficiency (η), moisture content (MC), phenolic compounds content (Ph), soluble solids content (S), wettability (We) and particle size (Me). The experimental data obtained were analyzed by the response surface regression procedure using the following second-order polynomial (Eq. (1)):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4$$

where Y_i is the response variables presented in Table 2, β_0 is a constant, β_1, β_2, β_3 and β_4 are linear terms, β_{11}, β_{22}, β_{33} e β_{44} are quadratic terms. The other terms are interaction coefficients between the variables. The regression analysis and analysis of variance (ANOVA) of response variables of each experiment were analysed using Statistica (STAT-SOFT, 2010). The effects of the variables were considered statistically significant with $p < 0.10$.

2.4 Analytical Methods

The yield of the process was estimate for the collection efficiency (η), which was calculated as a ratio between the dehydrated dry weight of the powdered coffee leaf extract obtained to the dry mass of extract on the inlet solution (MARQUES et al., 2014b).

The moisture content was gravimetrically determined in an oven at 105 ºC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC, 2010).

The wettability test was based on the an adaptation of the Marques et al. (2014a) methodology, in which 1.0 g of powder was spread over 100 mL of distilled water at 25 °C without stirring. The test was performed in a 250 mL beaker. The time required for the powder particles to sediment, or sink and disappear from the surface of the water, was measured and used for a relative comparison between the samples.

TABLE 1 - Levels of independent variables of the CCRD for spray drying of coffee leaf extract formulation.

Variable	Level				
	-2	-1	0	1	2
Maltodextrin concentration [%, m/V]	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0
Coffee leaf extract concentration [%, m/V]	2.0	9.5	17.0	24.5	32.0
Inlet air temperature [°C]	180.0	197.5	215.0	232.5	250.0
Air flow rate [m^3 min^{-1}]	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

The solubility was determined using the method described by Cano-Chauca et al. (2005) in which 100 mL of distilled water was transferred to a beaker and agitated in a homogenizer at 2500 rpm. Then, 1 g of powder (dry basis) was gently added to the water, and the agitation was maintained for five minutes. The solution was transferred to a tube and centrifuged for five minutes at 2600 rpm. One aliquot (25 mL) of the supernatant was transferred to a petri dish and dried for five hours at 105 °C. The percent solubility (mass of powder/volume of solution) was calculated based on the weight difference.

The particle size distribution was measured using a laser light diffraction instrument (Mastersizer 2000, model Hydro 2000 MU; Malvern Instruments, Malvern, UK). A small powder sample was suspended in isopropyl alcohol at 92.8% under agitation for 10 minutes (MARQUES et al., 2014b). Particle size distribution was monitored, 5 measurements were done with 10 seconds for each sample. The granulometric composition was determined using the theory of Fraunhofer and the model of spherical particle were used.

The determination of phenolic compounds content was according to the method Folin-Denis, proposed by AOAC (2010).

3 RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained according to a rotatable central composite design of the coffee leaf extract powder were provided in Table 2 and the coefficients of the statistical model (Equation 1), on Table 3. According to Rodrigues and Iemma (2012), the statistical model was able to predict response variable behavior only for particle size diameter (Me) ($F_{calc}>F_{tab}$), with satisfactory determination coefficient (R>0.70). The other response variables were discussed based on their statistic significant effects.

The collection efficiency (η) was in the range 31.73 to 67.62 %. It was observed that η was significantly positively dependent on air flow rate in the linear term and negatively dependent on interaction coffee leaf extract concentration and air flow rate. Increasing air flow rate, the relation air/wet particles were increased and the drying is improved and it is easier to obtain the dried particles. According to Wang and Langrish (2009), the collection efficiency of a spray-drying process is highly affected by loss of material that adheres to the walls of the spray equipment. Besides the studied variables, collection efficiency is still function of the type of the formulation, dimensions of the chamber and the operational properties (solid content, viscosity and inlet air temperature) (TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005). Vardin and Yasar (2012), in spray drying of pomegranate juice with maltodextrin, obtained collection efficiency from 2.3 to 76.3 % and observed that materials with great sugar content like fruits could be adhered to the dryer walls, with lower collection efficiency. The tests 9 and 14 presented the higher collection efficiency (67.62 and 65.87 %, respectively). In test 9, maltodextrin concentration was low (7.5 %), what means lower production cost and higher proportion coffee leaf extract/maltodextrin in the dried product.

Moisture content (MC) was from 0.6 to 11.08% (b.u.) (Table 2). Similar results were observed by several authors. Tonon et al. (2009) for açaí juice, observed MC ranged from 0.64% to 2.89 % with drying inlet air temperatures between 138 and 202 °C. Marques et al. (2014b) observed MC of 1.49 to 2.59 % for spray dried green corn pulp with drying temperatures of 143.2 to 176.8 °C. The main goal of drying operation is to obtain products with low MC. It means that the negative effect with respect to moisture content are desirable, as the linear effect of coffee leaf extract concentration. The higher the coffee leaf extract concentration, the lower the MC, due the decrease of proportion air flow/product, which increase the driving force for drying. Marques et al. (2014b)

noted that for a pulp concentration higher than 45% (w/w), the MC of green corn pulp powered was reduced. Grabowski, Truong and Daubert (2008) studied the spray drying of sweet potato puree and observed that higher concentrations of solids in the feed resulted in the production of powders with lower MC. In those cases, increasing the solids content in the feed process reduced the MC available for evaporation, diminishing MC in the dried powder.

TABLE 2 - Spray dried coffee leaf extract formulation collection efficiency (η), moisture content (MC), phenolic compounds content (Ph), soluble solid content (S), wettability (We) and particle size median distribution (Me) obtained according to a rotatable central composite design.

Test	Codified independent variables				Response variables					
	X_1	X_2	X_3	X_4	η [%]	MC (w.b.) [kg kg^{-1}]	Ph [%]	S [%]	We [s]	Me [μm]
1	-1	-1	-1	-1	50.12	4.81	13.52	95.02	1378	15.42
2	+1	-1	-1	-1	48.57	5.29	6.28	94.20	1005	14.66
3	-1	+1	-1	-1	44.20	2.26	10.46	98.06	1941	21.49
4	+1	+1	-1	-1	37.90	2.34	10.67	95.96	2374	27.80
5	-1	-1	+1	-1	47.73	3.42	6.46	94.36	2403	18.16
6	+1	-1	+1	-1	43.50	3.78	7.01	93.90	2665	16.13
7	-1	+1	+1	-1	57.27	2.53	9.40	95.24	2478	28.70
8	+1	+1	+1	-1	57.73	0.60	9.21	97.18	3509	28.23
9	-1	-1	-1	+1	67.62	4.03	8.19	94.16	1550	13.85
10	+1	-1	-1	+1	57.90	3.87	6.30	87.96	1550	15.83
11	-1	+1	-1	+1	49.73	1.95	9.75	96.80	2771	23.27
12	+1	+1	-1	+1	48.91	2.60	8.08	97.22	1130	22.76
13	-1	-1	+1	+1	54.41	2.71	8.09	93.14	375	16.73
14	+1	-1	+1	+1	65.87	1.04	7.76	96.74	1943	18.57
15	-1	+1	+1	+1	36.63	2.31	11.10	98.00	5230	28.88
16	+1	+1	+1	+1	44.99	2.18	10.20	94.50	3290	31.59
17	-2	0	0	0	49.10	2.11	7.86	94.60	1268	17.97
18	+2	0	0	0	50.14	1.18	7.68	96.02	2416	19.05
19	0	-2	0	0	31.73	8.15	9.15	90.30	1835	24.57
20	0	+2	0	0	40.92	1.58	10.53	97.06	3470	28.80
21	0	0	-2	0	40.82	4.66	8.89	92.84	1823	17.32
22	0	0	+2	0	49.37	11.08	7.88	86.50	1542	60.32
23	0	0	0	-2	35.93	4.44	9.03	94.20	2103	20.81
24	0	0	0	+2	50.33	2.26	9.81	96.56	2179	24.68
25	0	0	0	0	49.00	2.85	8.97	96.48	2008	25.58
26	0	0	0	0	46.52	2.16	8.41	96.66	2762	23.21
27	0	0	0	0	47.27	2.96	10.52	93.48	3010	20.54
28	0	0	0	0	45.75	2.72	11.14	95.10	1761	24.73

X_1 maltodextrin concentration (% w/v), X_2 coffee leaf extract concentration (% w/v), X_3 inlet air temperature (°C) and X_4 air flow rate (m^{3}min^{-1}).

TABLE 3 - Statistic effects for collection efficiency (η), moisture content (MC), phenolic compounds content (Ph), percentage of soluble solid content (S), wettability (We) and particle size median distribution (Me)

Coefficient	η [%]	MC (w.b.) [kg kg^{-1}]	Ph [%]	S [%]	We [s]	Me [μm]
β_0	47.1350	2.6720	9.7616	95.4300	2385.2500	18.4025
β_1	-0.0216	-0.3467	-0.9848*	-0.3566	136.3330	0.5697
β_{11}	3.6675	-1.0370	-0.9794*	0.4875	-223.2920	-2.5309
β_2	-3.3316	-2.1100*	1.5008*	3.0833*	1093.6670*	6.1104*
β_{22}	-2.9812	0.5716	0.0558	-0.3275	181.9580	-0.7502
β_3	1.6924	0.3546	-0.5053	-0.7500	636.000*0	8.0155*
β_{33}	1.4050	2.0746*	-0.6700	-2.3325*	-303.0420	4.8137*
β_4	5.6533*	-0.7238	-0.1647	-0.0566	19.8330	-0.2117
β_{44}	0.4225	-0.1869	-0.1542	0.5225	-73.7921	-1.3004
β_{12}	0.7175	-0.0422	0.7948	0.0800	-446.7500	1.5348
β_{13}	4.3050	-0.5521	1.2137*	1.2851	312.7501	-1.3568
β_{14}	2.6125	-0.0391	0.2341	-0.5300	-420.7501	0.2353
β_{23}	3.5725	0.6898	0.7401	-1.2400	548.5000	1.3503
β_{24}	-9.0900*	0.8702	0.2882	0.6951	519.0001	0.6346
β_{34}	-5.9625	0.0209	1.7091*	1.1000	-65.0000	-0.0086
R^2	0.5930	0.6422	0.6873	0.6232	0.6116	0.7277
F_{calc}	1.3013	1.4781	2.0655	1.4269	1.4470	2.3044

Values followed by * are significant at $p < 0.10$. β_x are coefficients of statistical model, $_1$ maltodextrin concentration (% w/v), $_2$ coffee leaf extract concentration (% w/v), $_3$ inlet air temperature (°C) and $_4$ air flow rate (m^{3}min^{-1}).

The contribution of inlet air temperature to higher MC in the quadratic term could be due to the formation of a solid outer crust in the particle because of the rapid evaporation of water at the early drying stages when high inlet air temperatures are used. This crust difficult the remove of the water from the inner to the outlet (HASSAN; MUMFORD, 1993; KIM; CHEN; PEARCE, 2009). High inlet air temperatures and flow rates also resulted in increased moisture content due to the rapid contact of the product in the drying chamber (MARQUES et al., 2014b).

According to Hogekamp and Schubert (2003), the wettability (We) could be defined as the capability of a powder to be penetrated by a liquid by capillary forces. On one hand, the We could be aid by small particles (the smaller the particle, the higher the surface area). On the other hand, small particles could present smaller porosities, which makes We more difficult (FERRARI et al., 2012; TONON et al., 2009). In other words, particle diameter should be analyzed with the type of the material, its chemical composition and its microstructure, porosity, density and the presence of amphipathic substances on the surface (MARQUES et al., 2014b). The obtained extract presented We from 375 to 5230 s. The significant effect of the coffee leaf extract concentration and of the inlet air temperature on the linear term, for both, were positive for We. The use of higher inlet air temperatures during drying undergo thermal degradation of the components, which may produce hydrophobic substances and increase the We (BHANDARI et al., 1993). Even though, the time for the particle to be wet is an arbitrary term, Marques et al. (2014a) adopted 300 seconds as adequate. The trials performed at low inlet air temperature (197.5 °C) and product concentration (9.5 %, m/V) presented the smaller values of wettability (trials 13 and 2, 375s and 1005s, respectively), what is desirable for an instantaneous powder.

Solubility (S) is connected to the reconstitution of the powdered product and is defined as the dissolution capability of the solid product in a liquid. The perceptual of soluble solids ranged from 86.50 to 98.06 %. Trials 3 and 15 showed better outcome with respect to

this variable, close to those found for mango juice (CANO-CHAUCA et al., 2005) and salvia tea (ŞAHIN-NADEEM et al., 2013) that used maltodextrin as carrier. The favorable experimental conditions of these tests were low levels of maltodextrin (7.5 %) and high concentration of product (24.5 %). In test 3, additionally, low inlet air temperature (197.5 °C) and air flow (4 m^3min^{-1}) were used. The effect of the coffee leaf extract concentration in the solution to be dried was positive for increasing the S, representing an advantage for the process, increasing the productivity by increasing the concentration of product. Furthermore, the quadratic effect of inlet air temperature was negative, contributing to the decrease of the percentage of soluble solids. Higher concentrations of coffee leaf extract in the solution to be dried may have aided in the process, causing an easier release of the powder. With opposite effect, high inlet air temperatures may have caused rigid crusts in powder particles by rapidly removed from the surface, making the output of the nuclei thus damaging the solubility of the material. In spray drying using maltodextrin as carrier of salvia tea (ŞAHIN-NADEEM et al., 2013) and watermelon juice (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007), negative effect was also observed for the inlet air temperature on the percentage of soluble solids. Those authors argue that, by increasing temperature, the agglomeration of the particles is reduced, with consequently reduced S. Based on that study, higher inlet air temperatures lead to obtaining a material with higher moisture content by crust formation on the surface of the particle. The formation of the crust and highest moisture content are two factors pointed out by several authors (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007; TONON et al., 2009; VARDIN; YASAR, 2012) as responsible for decreased S.

The content of phenolic compounds (Ph) ranged from 6.28 to 13.52 %. The trials 1 and 28 showed the best results. While the trial 28 is a central point in the experimental design, the trial 1 corresponds to the lower levels for all factors. The preservation of phenolic compounds content on powdered coffee leaf extract presented better results with use of low concentration of maltodextrin (7.5 %), leading to a product with less carrier. Furthermore, the low temperature (197.5 °C) and air flow (4 m^3min^{-1}) can be energetically favourable.

The linear and quadratic effects of maltodextrin content in relation to the Ph were negative. This decrease is due to increased concentration of maltodextrin opposite the concentration of the remaining components of the product. The issues of the amount of maltodextrin and the proportion of maltodextrin/ coffee leaf extract in the final product should be evaluated in more detail based on the protection against oxidation of phenolic compounds which carrier presence can provide the final product (LOPEZ et al., 2009).

The linear effect of coffee leaf extract concentration on the product to be dried was positive, contributing to increase the phenolic compounds content of the final product, which means that when working with high concentrations of coffee leaf extract, in addition to increasing productivity is obtained a product with a higher Ph.

The distribution of the volume fraction of the average particle diameter of the coffee leaf extract powder obtained in the conditions stablished at central point of the DCCR (using 15% w/v of maltodextrin concentration, 17% w/v of coffee leaf extract concentration, 215°C of inlet air temperature and 4.5 m^3min^{-1} air flow rate) is shown in Figure 1. The distribution was in a bimodal shape in which only about 4.5 % of the particles presented size in the range 0.3 to 3 µm. The largest volume fraction of the particles (approximately 9 %) was correspondent to particles with 18 to25 µm. The bimodal distribution and the range of diameter distribution was in accordance with the ones obtained with products assoluble coffee and açaí juice (ESTEVES, 2006; TONON et al., 2009). Tonon et al. (2009) in a study of spray drying of açaí juice using DE 10 maltodextrin as carrier also found a bimodal distribution of particle diameter. The range in that work was from 0.1 to 41 µm, with an average diameter of 10.94 µm. Those values and behaviour were similar to those obtained in this work. Esteves (2006) obtained soluble coffee particles with diameters between 60 to 400 µm. Thus, the particles obtained in this work are much smaller than those found commercially compared to instant coffee and closer to those found in fruit juices using maltodextrin as carrier.

The statistical model of the particle diameter was represented by Equation 2 (correlation coefficient, $R^2 = 0.73$), where the median diameter, Me [µm], and the variables are coded: X_2, the coffee leaf extract concentration in the solution to be dried and X_3, the inlet air temperature.

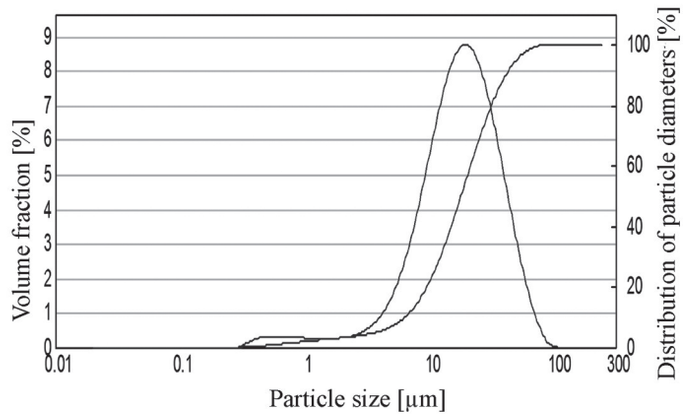

FIGURE 1 - Distribution of the particle diameters and volume fraction of the coffee leaf extract powder according to particle size obtained in the following experimental conditions: 15% w/v of maltodextrin concentration, 17% w/v of coffee leaf extract concentration, 215°C of inlet air temperature and 4.5 m^3min^{-1} air flow rate.

$$Me = 18.4025 - 1.26549\,X_2 + 3.05521\,X_3 - 0.10588\,X_3^2$$

The linear effects of the product concentration and inlet air temperature were positive for the particle size, with a consequent increase of values of the median diameter of particles. With the increase on the inlet air temperature or concentration of the coffee leaf extract in the product to be dried, there was an increase in viscosity of the solution and hence an increase in the size of the particle atomization. Moreover, inlet air temperature influences positively in particle size due to the increased drying rate by providing more energy, with more rapid formation of the structure, not allowing the particles undergo shrinkage during drying. Tonon et al. (2009), studying açaí powder juice, found that the rise in inlet air temperature causes an increase of the average particle size due to the greater expansion caused by higher temperatures.

3.1 Better spray drying condition

Operationally, the best spray drying condition for coffee leaf extract using maltodextrin as carrier was the combination of a higher concentrations of extract (32%) and lower inlet air temperatures (180°C) yielded the best drying performance, contributing to produce spray dried powder with higher phenolic compounds content, soluble solids, wettability capacity and lower moisture content and particle size. The same considerations were reported by Marques et al. (2014b).

4 CONCLUSION

The results indicate that the combination of a higher concentrations of coffee leaf extract (32%) and lower inlet air temperatures (180°C) yield the best drying performance. These process conditions lead to a powder of coffee leaf extract using maltodextrin as carrier with high phenolic compounds content, soluble solids, wettability capacity and lower moisture content and particle size.

5 REFERENCES

AL-MANSOUR, H. E.; AL-BUSAIRI, B. H.; BAKER, C. G. J. Energy consumption of a pilot-scale spray dryer. **Drying Technology**, Singapore, v. 29, n. 16, p. 1901-1910, 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed. Gaithersburg, 2010.

BHANDARI, B. R. et al. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 57, n. 1, p. 217-221, 1992.

BOTREL, D. A. et al. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. **Food Research International**, Toronto, v. 62, p. 344-352, 2014.

BOWEY, K. et al. Characterization of biologically active insulin-loaded alginate microparticles prepared by spray drying. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, London, v. 39, n. 3, p. 457-465, 2013.

CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray drying technique: I., hardware and process parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Singapore, v. 99, n. 2, p. 575-586, 2010.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of carriers of microstructure of mango powder spray drying and its functional and characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Heverlee, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARNEIRO, H. C. F. et al. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 115, n. 4, p. 443-451, 2013.

CARVALHO, T. M. B. et al. Avaliação de extratos vegetais no controle de *Oligonychus ilicis* (McGREGOR, 1917) (*Acari: Tetranychidae*) em laboratório. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 94-103, 2008.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, nov./dez. 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. The influence of ethanol on the convective drying of unripe, ripe, and overripe bananas. **Drying Technology**, Singapore, v. 30, n. 8, p. 817-826, 2012.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, Singapore, v. 29, p. 1556-1561, 2011.

ESTEVES, B. N. **The influence of the mechanical spray drying process on particle size and bulk density of instant coffee**. 2006. 86 p. Master (Dissertation in Chemical Engineering) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, Charlestown, v. 48, n. 2, p. 478-483, 2012.

FANTE, C. et al. Drying of plums (Prunus sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 46, p. 1080-1085, 2011.

FERRARI, C. C. et al. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012.

_____. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. **Drying Technology**, Singapore, v. 31, n. 4, p. 470-478, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATE STATISTICAL DATABASE. **Final 2014 data and preliminary 2015 data for 5 major commodity**. Available at: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Accessed at: 7 Aug 2015.

GRABOWSKI, J. A.; TRUONG, V. D.; DAUBERT, C. R. Nutritional and rheological characterization of spray-dried sweet potato powder. **LWT- Food Science and Technology**, Zürich, v. 41, n. 2, p. 206-216, 2008.

HASSAN, H. M.; MUMFORD, C. J. Mechanisms of drying of skin-forming materials: III., droplets of natural products. **Drying Technology**, Singapore, v. 11, n. 7, p. 1765-1782, 1993.

HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration of food powders. **Food Science and Technology International**, Valencia, v. 9, p. 223-235, 2003.

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the ASABE**, Michigan, v. 56, n. 3, p. 1003-1010, 2013.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders: 2., effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 94, n. 2, p. 169-181, 2009.

LOPEZ, O. D. H. Caracteristicas del aceite de semillas de Cucurbita pepo L. microencapsulado mediante secado por aspersion con maltodextrina y goma arábica. **Latin American Journal of Pharmacy**, Buenos Aires, v. 28, n. 4, p. 628-632, 2009.

MARQUES, G. R. et al. Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**, Schofield, v. 263, p. 89-95, 2014a.

_____. Spray drying of green corn pulp. **Drying Technology**, Singapore, v. 32, n. 7, p. 861-868, 2014b.

MEDEIROS, F. C. L. et al. Defense gene expression induced by a coffee leaf extract formulation in tomato. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 74, n. 2, p. 175-183, 2009.

MURALI, S. et al. Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. **Food Science and Technology International**, London, v. 21, n. 8, p. 604-612, 2014.

PEREIRA, R. B. et al. Coffee berry husk extract, thyme essential oil and acibenzolar-S-methyl in the control of brown eye spot of coffee tree. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 1287-1296, 2008.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, Delft, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Experimental design and process optimization**. Campinas: Casa do Pão Editora, 2012. v. 1.

ŞAHIN-NADEEM, H. et al. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, Zürich, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

STAT-SOFT. **Statistica:** data analysis software system. Version 8.0. New York, 2010. Disponible at: <http://www.statsoft.com>. Accessed in: 10 Sept. 2015.

TONON, R. V. et al. Physicochemical and morphological characterization of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 44, n. 10, p. 1950-1958, 2009.

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods: part I, moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 71, n. 1, p. 55-65, 2005.

VARDIN, H.; YASAR, M. Optimisation of pomegranate (*Punica Granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 47, n. 1, p. 167-176, 2012.

WANG, S.; LANGRISH, T. A. G. A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, Charlestown, v. 42, n. 1, p. 13-25, 2009.

AMOSTRA DE ETIQUETAS DE PAPEL HIDROSSENSÍVEIS PARA DETERMINAÇÃO DE ESPECTRO DE GOTAS EM PULVERIZAÇÃO NO CAFEEIRO CANEPHORA

Edney Leandro da Vitória[1], Alex Campanharo[2]

(Recebido: 08 de outubro de 2015; aceito: 29 de fevereiro de 2016)

RESUMO: Com este trabalho, objetivou-se determinar o número mínimo de etiquetas de papel hidrossensíveis a serem amostrados em um experimento, envolvendo diferentes pontas de pulverização e partes do cafeeiro canephora. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 (2 pontas de pulverização; 2 lados de pulverização, uma no sentido do caminhamento da pulverização e outro no lado oposto ao caminhamento e 2 alturas de aplicação , na metade inferior e na metade superior da planta), com 4 repetições. Cada uma das 24 unidades experimentais constitui-se de 48 etiquetas de papel hidrossensível. Foram selecionados quatro ramos plagiotrópicos, sendo dois ramos pertencentes ao lado do caminhamento do pulverizador e os outros dois ramos voltados para o lado oposto ao caminhamento do pulverizador. Foram fixadas 24 etiquetas de papel hidrossensível na metade inferior e 24 na metade superior da planta, totalizando a disposição de 48 etiquetas de papel hidrossensíveis. As médias de DMV, DMN, <100 e AR foram significativamente maiores na metade superior da planta no mesmo lado da operação de pulverização, independente da ponta utilizada. Utilizando a ponta JA-2, o lado inferior da planta apresentou em média valores de DMV, o DMN, <100 e a AR menores que a metade superior. As variâncias entre DMV, DMN e AR foram homogêneas. O número de nove etiquetas por planta é indicado, pois quanto maior o valor de semi-amplitudes (4,6 e 8%), mais homogêneo o número de etiquetas por planta, independente da variável, ponta e posição das etiquetas.

Termos de indexação: Conilon, amostragem, qualidade de pulverização.

WATER SENSITIVE SAMPLE FOR DETERMINATION OF DROPS SPECTRUM IN SPRAYING IN COFFEE CANEPHORA

ABSTRACT: *The objective of this study was to determine the minimum number of water sensitive paper cards to be sampled in an experiment involving different spray nozzles and parts of conilon coffee. The experimental design was completely randomized in a factorial 2 x 2 x 2 (2 spray nozzles, 2 side spray, one in the direction of traversal of the spray and the other in the opposite direction; 2 Application heights in the plant, the lower half and the upper half), with 4 replicates. Each of the 24 experimental units consisted of 48 water sensitive paper cards. Four reproductive branches were selected, two branches belonging side of the sprayer to the pathway and the other two branches facing the opposite side of the spray traversal. They were established 24 water sensitive paper labels at the bottom and 24 on top of the plant, totaling 48 water sensitive paper. The average DMV, DMN, <100 and AR were significantly higher in the upper half of the plant on the same side of the spraying operation, regardless of the tip used. Using the tip JA-2 the lower side of the plant showed a mean VMD values, DMN, <100 AR and smaller than the upper half. The variances between DMV, DMN and RA were homogeneous. The number of labels per nine plant is indicated, since the greater the half-value widths (4.6 and 8%), the more homogeneous the number of labels per plant, independent of the variable, state and position of labels.*

Index terms*: Conilon, sampling, spray quality.*

1 INTRODUÇÃO

A eficiência da tecnologia de aplicação está diretamente ligada à distribuição adequada do produto no alvo, assim como produzir tamanho de gotas que permita eficácia entre cobertura de plantas, penetração no dossel e deposição de gotas nas folhas, com uniformidade (DEBORTOLI et al., 2012).

O tamanho de amostra é diretamente proporcional à variabilidade dos dados e ao grau de confiança desejado na estimativa e inversamente proporcional ao erro de estimação permitido, fixado a priori pelo pesquisador. Portanto, o dimensionamento do tamanho de amostra é importante para obtenção de estimativas com a precisão desejada. Especificamente, em experimentos agrícolas, a mensuração de todas as plantas úteis na unidade experimental é adequada para estimar o caractere em avaliação. Entretanto, é comum a medição de uma parte das plantas da unidade experimental (amostra) para minimizar: mão de obra, tempo e recursos financeiros e humanos, devendo a amostra ser representativa das plantas da unidade experimental (MONTGOMERY; RUNGER, 2010).

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - Cx. P. 01 - 29.932-540 São Mateus - ES - edney.vitoria@ufes.br
[2]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Fazenda Experimental- Cx. P. 01 - 29.932-540 - São Mateus - ES alexcampanharo@yahoo.com.br

Os parâmetros de maior importância para a determinação da população de gotas são o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 µm. Essas características conjuntamente definem o potencial de deriva de gotas, a homogeneidade de gotas e o diâmetro característico das gotas produzidas por uma determinada ponta de pulverização. Quanto maior o valor da amplitude relativa (AR), maior é a faixa de diâmetro das gotas pulverizadas. Espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude relativa que tende a zero. Os valores de DMV e amplitude relativa devem ser analisados conjuntamente para a caracterização da pulverização. Isoladamente, o DMV é um valor de referência e não determina a dispersão dos dados em torno deste valor (FERREIRA et al., 2011).

A utilização de etiquetas de papel hidrossensível em experimentos ligados à tecnologia de aplicação vem sendo bastante utilizados entre os pesquisadores, produtores e extensionistas de áreas relacionadas ao controle químico, oferecendo importantes informações a respeito dos fatores interligados ao controle de plantas daninhas, pragas e doenças. Um exemplo de grande e atual importância do uso destas etiquetas de papel hidrossensível é o estudo relacionado à tecnologia de aplicação e/ou controle químico da ferrugem no café conilon (*Hemileia vastatrix*), na última década em função da queda de produção registrada nos últimos anos (SERA et al., 2010).

Estes trabalhos efetuados com etiquetas de papéis hidrossensíveis têm gerado inúmeras informações relevantes quanto aos fatores inerentes à penetração das gotas na região inferior do dossel das culturas, local em que se inicia o desenvolvimento de doenças e que deve, por conseguinte, ter máxima ação dos fungicidas, promovendo assim um aumento substancial no entendimento dos fatores relativos à tecnologia de aplicação e à eficácia de controle (NASCIMENTO et al., 2013).

Segundo Viana et al. (2010), os fatores que influenciam o espectro de gotas produzidas por determinada ponta de pulverização são: vazão nominal, ângulo de descarga, pressão de operação, propriedades da calda e tipo de ponta de pulverização.

Outros trabalhos abordaram a leitura e interpretação de etiquetas de papel hidrossensível (NASCIMENTO et al., 2013; PANNETON, 2002). Entretanto, pouco se conhece sobre a variabilidade da deposição em experimentos ligados à tecnologia de aplicação, assim como à quantidade ideal ou mínima de etiquetas de papel hidrossensível a serem utilizados em tais experimentações.

A determinação do número mínimo de etiquetas de papel hidrossensível ou tamanho da amostra depende basicamente da variabilidade dos dados de uma determinada variável, bem como à margem de erro assumida para sua base de cálculo, em que quanto maior a variabilidade dos dados e menor a margem de erro assumida, maior é o número de amostras requeridas (CORRÊA et al., 2010). Igualmente a condição em que é feito o estudo, aliado ainda à segurança e/ou a aplicação prática do resultado é de suma importância para o estabelecimento da margem de erro estudada. Assim, objetivou-se com este esse trabalho determinar o número mínimo de etiquetas de papel hidrossensíveis a serem amostradas em um experimento, envolvendo pontas de pulverização e partes do dossel do cafeeiro conilon, tendo como base as variáveis: diâmetro mediano volumétrico (DMV), diâmetro mediano numérico (DMN), percentagem de gotas com diâmetro menores que 100 µm (<100) e amplitude relativa (AR).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma lavoura comercial de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, com as plantas dispostas em três linhas do clone "Vitória 02", alternada por uma linha de clones "G35" no espaçamento de 3,0 m x 1,30 m. As plantas utilizadas no experimento foram as do clone "Vitória 02", que é suscetível à ferrugem (CARVALHO; CUNHA; SILVA, 2012). A lavoura está localizada no município de Sooretama, Espírito Santo, latitude: 19º11'30''S e longitude 40º05'46''W.

No experimento, utilizou-se um pulverizador hidropneumático, fabricado pela empresa Jacto, modelo Arbus 1000, equipado com pontas de pulverização de jato cônico vazio JA-1 para 300 L ha^{-1} e JA-2 para 600 L ha^{-1}, ventilador axial, tanque de 1000 L e bomba de pistão. O pulverizador possui um ramal de sete saídas duplas em cada lado do pulverizador, sendo utilizadas para as pulverizações somente seis saídas, totalizando 24 saídas.

A umidade relativa e a temperatura do ar foram monitoradas durante o procedimento, através de um termohigrômetro, variando de 65 a 75% e 26,0 a 26,7 ºC, respectivamente. A velocidade do vento, durante as pulverizações, não foi superior a 2 m s^{-1}.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 (2 pontas de pulverização; 2 lados de pulverização, uma no sentido do caminhamento da pulverização e outro no lado oposto ao caminhamento e 2 alturas de aplicação , na metade inferior e a metade superior da planta), com três repetições. Cada uma das 24 unidades experimentais constituiu-se de 48 etiquetas de papel hidrossensível; estes foram distribuídos uniformemente em quatro ramos plagiotrópicos na planta de café previamente selecionados, sendo dois ramos pertencentes ao lado do caminhamento do pulverizador e os outros dois ramos voltados para o lado oposto ao caminhamento do pulverizador. Foram fixadas 24 etiquetas de papel hidrossensível na metade inferior e 24 na metade superior da planta, totalizando 48 etiquetas de papéis hidrossensíveis.

A velocidade aproximada de trabalho foi de 6 km h^{-1}. As características das pontas utilizadas, assim como as respectivas vazões e volume da calda, na mesma pressão de trabalho utilizada, foram: ponta JA-1, pressão 620 kPa, volume de aplicação de 300 L ha^{-1} e vazão de 0,380 L min^{-1}; ponta JA-2, pressão 620 kPa, volume de aplicação de 600 L ha^{-1} e vazão de 0,760 L min^{-1}.

Após as aplicações, as etiquetas de papel hidrossensível foram embaladas em filme plástico de PVC transparente, a fim de preservá-las da contaminação pela umidade do ar, sendo cada uma digitalizada em um aparelho scanner de mesa, com resolução de 600 dpi. As imagens foram processadas, através do uso do *software ImageTool 3.0*. Por meio deste procedimento, foram estimadas as seguintes variáveis: diâmetro mediano volumétrico (DMV), diâmetro mediano numérico (DMN), percentagem de gotas com diâmetro menores que 100 µm (<100) e amplitude relativa (AR).

Para cada variável analisada, calculou-se o tamanho de amostra (η) para uma semiamplitude do intervalo de confiança (erro de estimação) igual a 2, 4, 6 e 8% da estimativa da média ($\overline{m}$), com coeficiente de confiança (1-α) de 95%, por meio da equação 1 (BUSSAB; MORETTIN, 2004; RESENDE, 2007).

$$\eta = \frac{t_{\alpha/2} \cdot s^2}{e^2}$$

Em que:

tα/2 = valor crítico da distribuição t de Student, cuja área à direita é igual a α/2, isto é, o valor de t, tal que P(t>tα/2)=α/2, com (n-1) graus de liberdade, com α=5% de probabilidade de erro;

s² = estimativa da variância;

e = erro de estimação.

Para a checagem e verificação dos resultados obtidos, foram realizadas as análises de variância, seguidas do teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* R, 2014.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das médias, variâncias e coeficientes de variação das variáveis de qualidade de pulverização para as duas pontas de pulverização, estão apresentados na Tabela 1. As médias das variáveis DMV, DMN, <100 e AR foram significativamente maiores para dados coletados na metade superior da planta, no mesmo lado da operação de pulverização, independente da ponta utilizada. Tal fato pode ser decorrente da distância do pulverizador no momento da aplicação em relação à planta e desuniformidade do dossel das plantas de café conilon, ao longo da altura. Os resultados evidenciam que as etiquetas de papel hidrossensível receberam maior volume de gotas, quando expostas no lado da operação de pulverização, comparado com o sentido oposto da aplicação devido à exposição direta das mesmas ao jato de pulverização. Ruas et al. (2011) chegaram a resultados semelhantes, no entanto observaram maior depósito de gotas, no terço mediano do cafeeiro arábica que apresenta arquitetura de dossel mais uniforme, quando comparado com o cafeeiro conilon.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados do tamanho das amostras de etiquetas de papel hidrossensíveis, em função das variáveis de qualidade de pulverização, em função das semiamplitudes do intervalo de confiança. Em relação aos resultados médios encontrados para o DMV, o DMN, <100 e a AR quando as etiquetas estavam posicionadas na metade inferior da planta, observou-se que não houve diferença significativa para o DMV e o DMN para dados coletados nas etiquetas posicionadas no mesmo lado da pulverização e na posição oposta, quando se utilizou a ponta JA-1. O DMN e AR também não apresentaram diferença significativa, porém utilizando-se a ponta JA-2, durante a pulverização, a metade inferior da planta apresentou em média valores de DMV, DMN, <100 e a AR menores que a metade superior, dada a menor eficiência de

pulverização nesta região da planta. Resultados semelhantes foram encontrados por Viana et al. (2008), na cultura da soja e Mewes et al. (2013), na cultura do eucalipto.

É possível inferir, com base nos resultados de DMV, DMN, <100 e AR que um possível aumento na taxa de aplicação e a redução do tamanho de gotas, teoricamente promove melhoria no nível de cobertura, em função do maior número de gotas pulverizadas sobre o alvo.

No entanto, gotas com diâmetros pequenos (<100) são suceptiveis à ação de fatores climáticos, podendo sofrer deriva e evaporação ao longo de seu deslocamento até o alvo, não atingindo muito vezes o objetivo (NASCIMENTO et al., 2013).

As variâncias entre o DMV, o DMN e a AR foram homogêneas, o que mostra que o tamanho da amostra de etiquetas pode ser o mesmo na parte superior da planta, tanto no lado da pulverização como no lado oposto, independente da ponta usada. A mesma afirmação pode ser feita em relação à variável <100, porém apenas na ponta JA-2. As variâncias da <100 para ponta JA-1 foram heterogêneas, com relação ao lado da pulverização, indicando tamanho da amostra diferenciado entre os lados da operação de pulverização.

Entre as quatro variáveis analisadas, o valor de CV oscilou entre 1,13% (DMV na metade superior da planta, no mesmo lado da pulverização) e 11,76% (θ100 na parte superior da planta no lado oposto da pulverização), sugerindo que o tamanho da amostra deve ser proporcional a esse aumento de variabilidade, para obtenção de estimativas com a mesma precisão. No entanto, estimativas obtidas a partir de um tamanho de amostra único apresentariam um decréscimo de precisão das variáveis de espectro de gotas. Nascimento et al. (2013), observaram comportamento semelhante em relação à precisão e tamanho da amostra ao avaliarem o número mínimo de etiquetas de papel hidrossensível a serem utilizados em experimentações, tendo como base as variáveis porcentagem de cobertura, número de gotas por cm² e diâmetro mediano volumétrico.

O tamanho da amostra para estimativa média das variáveis do DMV, DMN, <100 e a AR, em cada parte da planta e lado da pulverização, com semiamplitude do intervalo de confiança igual a 2% da estimativa da média ($\overline{m}$) e coeficiente de confiança de 95%, oscilou de 2 etiquetas para o DMV na metade inferior da planta, a 48 etiquetas para <100 na metade superior da planta, independente da ponta (Tabela 2).

Estes resultados confirmam a variabilidade existente entre partes do dossel da planta e variável analisada. Portanto, 48 etiquetas fornecem estimativas de média das variáveis DMV, DMN, 100 e AR independente da ponta e lado de pulverização, com 95% de confiabilidade e erro máximo de 0,02 $\overline{m}$. Entretanto, do ponto de vista prático, a avaliação de 48 etiquetas em cada parte da planta é difícil e onerosa. Assim, menores tamanhos de amostra foram estimados com base em semi-amplitudes do intervalo de confiança iguais a 4, 6 e 8%. O número de etiquetas, por planta, para estas semiamplitudes varia de 1 a 9.Observa-se que, quanto maior o valor de semiamplitudes, mais homogêneo é o número de etiquetas por planta, independente da variável, ponta ou posição das etiquetas.

A variabilidade do número de etiquetas nas semiamplitudes 4, 6 e 8% é baixa, e isto deve ser levado em consideração do ponto de vista técnico-experimental, mão de obra e custos. Os pesquisadores da área de tecnologia de aplicação de defensivos, ao dimensionarem o tamanho da amostra de etiquetas de papel hidrossensível, para uma avaliação mais precisa, devem considerar a variável analisada e região do dossel da cultura onde a etiqueta será posicionada.

A baixa variabilidade dos dados, dentro de cada tratamento, possibilitou menor número de amostras necessárias para resultados confiáveis.A etiqueta de papel hidrossensível pode ser uma ferramenta importante na comparação das variáveis DMV, DMN, <100 e AR. Porém, esta diminuição do tamanho da amostra depende da correta interpretação dos resultados obtidos em pulverizações agrícolas, sendo que, a partir de etiquetas de papel hidrossensível, inúmeros fatores devem ser considerados. Nascimento et al. (2013) destacam a mesma preocupação, em relação à possível diminuição do tamanho das etiquetas de papel hidrossensíveis, tendo trabalho com diferentes pontas de pulverização e pressão de trabalho.

O tamanho da amostra de papel hidrossensível sofre influência da umidade relativa, pois o seu uso em condições de alta umidade relativa do ar pode ser comprometido por contaminação das amostras, que mudam a sua cor de amarela para azul, em função do contato com a água presente na atmosfera (TURNER; HUNTINGTON, 1970); as características da calda, a adição de adjuvantes, ou mesmo de agrotóxicos, modificam a tensão superficial da água e podem alterar o fator de espalhamento das gotas, fazendo com que valores específicos sejam necessários para utilizar os programas de leitura (FRITZ et al., 2009).

TABELA 1 - Média, variância e coeficiente de variação (CV) do diâmetro da mediana volumétrica (DMV), diâmetro da mediana numérica (DMN), porcentagem de gotas menores que 100 µm (<100) e amplitude relativa (AR), para as duas pontas de pulverização.

Metade superior da planta								
	Média			Variância			CV	
Variável	SLC	SLO	Teste t	SLC	SLO	Teste F	SLC	SLO
Ponta JA-1								
DMV (µm)	145,1	119,3	*	2,71	4,23	Homogêneas	1,13%	1,72%
DMN (µm)	114,2	97,5	*	15,1	4,19	Homogêneas	3,40%	2,10%
<100 (%)	57,4	8,5	*	7,01	1,05	Homogêneas	4,61%	11,76%
AR	0, 641	0,33	*	0,0005	0,0001	Homogêneas	4,09%	3,03%
Ponta JA-2								
DMV (µm)	158,1	132,2	*	31,95	38,28	Homogêneas	3,58%	4,68%
DMN (µm)	120,8	109,3	*	9,25	52,07	Homogêneas	2,52%	6,60%
<100 (%)	55,2	74,4	*	5	17,72	Homogêneas	4,05%	5,66%
AR	0,796	0,447	*	0,001	0,001	Homogêneas	3,97%	7,07%
Metade inferior da planta								
	Média			Variância			CV	
Variável	ILC	ILO	Teste t	ILC	ILO	Teste F	ILC	ILO
Ponta JA-1								
DMV (µm)	145,1	141,1	ns	24,81	11,77	Homogêneas	3,43%	2,43%
DMN (µm)	107,6	104,7	ns	13,71	38,74	Homogêneas	3,44%	5,94%
<100 (%)	61,7	70,1	*	2,55	23,64	Homogêneas	2,59%	6,94%
AR	0,625	0,396	*	0,0002	0,0001	Homogêneas	4,09%	2,53%
Ponta JA-2								
DMV (µm)	151,7	149,7	ns	9,25	17,6	Homogêneas	2,00%	2,80%
DMN (µm)	108,2	120,6	*	42,93	19,3	Homogêneas	6,06%	3,64%
<100 (%)	56,7	61,8	ns	12,38	8,04	Homogêneas	61,73%	4,59%
AR	0,841	0,524	*	0,009	0,009	Homogêneas	11,28%	18,10%

Em que: SLC: metade superior da planta no mesmo lado da pulverização; SLO: metade superior da planta, lado oposto à pulverização; ILC: metade inferior da planta, no mesmo lado da pulverização; ILO:metade inferior da planta, lado oposto à pulverização.

Os valores de taxas de aplicação, diâmetro de gotas e o alvo, também têm influência na determinação do tamanho da amostra.A primeira, devido à coalescência de gotas, causando manchas contínuas, distorcendo a estimativa do tamanho de gotas, como também do número de impactos por área (FOX et al., 2001; FRITZ et al., 2009). Por essa razão, Degré et al. (2001) sugerem que o uso de etiquetas de papel hidrossensível não deva ser utilizado em taxas de aplicações superiores a 100 $L.ha^{-1}$; a segunda está relacionada ao diâmetro de gotas, há dificuldade de leitura pelos softwares de gotas, com diâmetros menores que 50 µm (HOFFMAN; HEWITT, 2005) ou 80 µm (SALYANI et al., 2013); e por último, a própria etiqueta de papel hidrossensível, alvo artificial que não tem as mesmas propriedades morfo-anatômicas dos alvos naturais que são, em sua grande maioria, as folhas das culturas.Os resultados encontrados geram apenas inferências acerca dos fatos ocorridos durante uma aplicação (NASCIMENTO et al., 2013).

TABELA 2 - Tamanho da amostra de etiquetas de papel, hidrossensíveis para determinação do diâmetro mediano volumétrico (DMV), diâmetro mediano numérico (DMN), percentagem de gotas com diâmetros menores que 100 µm (<100) e amplitude relativa (AR) para uma semiamplitude do intervalo com 95% de confiança igual a 2, 4, 6 e 8% da média e semiamplitude do intervalo de confiança, em percentagem da estimativa da média.

	Metade superior da planta							
	SLC				SLO			
	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%
	Ponta JA-1							
DMV (µm)	2	1	1	1	3	1	1	1
DMN (µm)	11	3	1	1	4	1	1	1
<100 (%)	21	5	2	1	1	1	1	1
AR	16	4	2	1	9	2	1	1
	Ponta JA-2							
DMV (µm)	12	3	1	1	21	5	2	1
DMN (µm)	6	2	1	1	42	5	5	3
<100 (%)	16	4	2	1	31	7	3	2
AR	15	4	2	1	48	7	5	3
	Metade inferior da planta							
	ILC				ILO			
	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%
	Ponta JA-1							
DMV (µm)	11	3	1	1	6	1	1	1
DMN (µm)	11	3	1	1	19	5	2	1
<100 (%)	6	2	1	1	20	5	2	1
AR	16	4	2	1	6	2	1	1
	Ponta JA-2							
DMV (µm)	4	1	1	1	8	2	1	1
DMN (µm)	21	5	2	1	13	3	1	1
<100 (%)	37	9	4	2	20	5	2	1
AR	12	3	1	1	32	8	4	2

Em que: SLC: metade superior da planta, no mesmo lado da pulverização; SLO: metade superior da planta, lado oposto à pulverização; ILC: metade inferior da planta, no mesmo lado da pulverização; ILO: metade inferior da planta, lado oposto à pulverização.

4 CONCLUSÕES

As variâncias entre os valores do DMV, DMN e AR foram homogêneas, mostrando que o tamanho da amostra de etiquetas pode ser o mesmo na parte superior da planta, em ambos os lados do dossel independente da ponta usada.

O número de nove etiquetas de papel hidrossensível, por planta, é indicado, pois quanto maior o valor de semiamplitudes, mais homogêneo é o número de etiquetas, independente da variável, ponta ou posição das etiquetas.

5 REFERÊNCIAS

BUSSAB, W.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L. da; SILVA, N. R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, 2012.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas

do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 595-601, jul. 2010.

DEBORTOLI, M. P. et al. Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem asiática da soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 920-927, jul. 2012.

DEGRÉ, A. et al. Comparison by image processing of target supports of spray droplets. **ASABE - Transaction of ASAE**, Saint Joseph, v. 44, n. 2, p. 217-222, Apr. 2001.

FERREIRA, M. et al. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.

FOX, R. D. et al. Spot size comparisons on oil- and water-sensitive paper. **ASABE - Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 17, n. 2, p. 131-136, May 2001.

FRITZ, B. K. et al. Deposition and droplet sizing characterization of a laboratory spray table. **ASABE - Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 25, n. 2, p. 175-180, Aug. 2009.

HOFFMAN, W. C.; HEWITT, A. J. Comparison of three imaging systems for water sensitive papers. **ASABE - Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 21, n. 6, p. 961-964, June 2005.

MEWES, W. L. C. et al. Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando pulverizador pneumático. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 347-353, jun. 2013.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. New York: J. Wiley, 2010.

NASCIMENTO, A. B. et al. Determinação do tamanho da amostra de papéis hidrossensíveis em experimentos ligados à tecnologia de aplicação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2687-2696, nov./dez. 2013.

PANNETON, B. Image analysis of water-sensitive cards for spray coverage experiments. **ASABE - Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 18, n. 2, p. 179-182, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007.

RUAS, J. M. F. et al. Comparação da cobertura de pulverizadores costais de acionamento manual e motorizado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1417-1422, set. 2011.

SALYANI, M. et al. Assessment of spray distribution with water-sensitive paper. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, Beijing, v. 15, n. 2, p. 101-111, 2013.

SERA, G. H. et al. Resistência à ferrugem alaranjada em cultivares de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 59-66, 2010.

TURNER, C. R.; HUNTINGTON, K. A. The use of water sensitive dye for the detection and assessment of small spray droplets. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Wiltshire, v. 15, p. 385-387, 1970.

VIANA, R. G. et al. Avaliação de pontas de pulverização sob diferentes condições operacionais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 428-435, maio 2008.

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CAFEEIRO

Dalyse Toledo Castanheira[1], Tiago Teruel Rezende[2], Danielle Pereira Baliza[3], Janine Magalhães Guedes[4], Samuel Pereira Carvalho[5], Rubens José Guimarães[6], Mariana Thereza Rodrigues Viana[7]

(Recebido: 15 de outubro de 2015; aceito: 04 de abril de 2016)

RESUMO: Objetivou-se avaliar o potencial do uso de características anatômicas e fisiológicas, na seleção de progênies de cafeeiro tolerantes ao estresse hídrico. Para as avaliações anatômicas e fisiológicas foram amostradas vinte progênies oriundas de três tipos de grupos de procedências, da população do experimento instalado na UFLA. O delineamento foi inteiramente casualizado, com dois períodos de avaliação. As progênies estudadas apresentam variabilidade genética, tendo sido verificada divergência entre elas. Em geral, a variância genética das progênies é maior no período de seca, indicando que há maior variabilidade entre as progênies, nesse período. Características anatômicas e fisiológicas mostraram-se eficientes como uma tecnologia, para auxiliar a seleção de progênies de cafeeiro.

Termos para indexação: Melhoramento genético, Anatomia foliar, fisiologia.

POTENTIAL USE OF ANATOMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE SELECTION OF COFFEE PROGENIES

ABSTRACT: *The objective was to evaluate the potential use of morphological and physiological characteristics in the selection of coffee progenies. For the anatomical and physiological, were sampled twenty progenies coming from the three types of origins groups of experimental population installed in UFLA. The design was completely randomized with two evaluation periods. The progenies have studied genetic variability has been a divergence between them. In general, for the thickening of the leaf tissue the genetic variation of the progenies is higher in the dry season, indicated that there is greater variability among the families in that period. There is potential for the use of morphological and physiological characteristics as a tool in the selection of coffee progenies tolerant water stress.*

Index terms: *Genetic improvement, leaf anatomy, physiology.*

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande importância econômico-social no Brasil, que há mais de 150 anos tem sido o maior produtor e exportador mundial de café (BALIZA et al., 2013). Os programas de melhoramento genético têm proporcionado expressivas mudanças na cafeicultura e contribuído, significativamente, para os avanços da atividade, permitindo ao Brasil ocupar posição de destaque, no que se refere à produção de café no cenário mundial (COSTA et al., 2013; FREITAS et al., 2007).

Atualmente, novos esforços são exigidos dos programas de melhoramento genético do cafeeiro, visto que a cafeicultura atual passa por grandes desafios frente às mudanças climáticas (ASSAD et al., 2004) e às exigências dos consumidores por produtos de melhor qualidade (CALVETE et al., 2008; DORR; MARQUES, 2006). Deve-se considerar que pesquisas na área de melhoramento genético do cafeeiro demandam longo prazo, sendo que o método usual de propagação das cultivares de *Coffea arabica* L. por sementes exige, pelo menos, 24 anos de trabalho contínuo para o lançamento de uma nova cultivar (PEREIRA et al., 2002).

Neste cenário, é de suma importância a utilização de tecnologias que visam a obtenção, em menor tempo, de cultivares superiores com alto potencial produtivo, portadoras de alelos que confiram resistência à pragas e doenças e com características de adaptação a diferentes condições ambientais. A seleção assistida por estudos da anatomia e da fisiologia vegetal tem se destacado como um importante meio para aperfeiçoar os trabalhos dos programas de melhoramento genético (BATISTA et al., 2010). Variações na

[1,2,4,5,6,7] Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG dalysecastanheira@hotmail.com, tiagoter@gmail.com, janine_guedes@yahoo.com.br, rubensjg@dag.ufla.br, samuelpc@dag.ufla.br, marianatrv@gmail.com
[3]Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais/IF Sudeste MG - Departamento de Ensino - Núcleo de Agricultura e Meio Ambiente - Rua da Independência, 30 - Bairro Aparecida 37.220-000 - Bom Sucesso – MG - danielle.baliza@ifsudestemg.edu.br

anatomia vegetal podem indicar características que atribuem tolerância às diferentes condições de cultivo, como tolerância à seca (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2014) e aos patógenos (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005).

Para o cafeeiro, existem estudos que associam as modificações nas estruturas anatômicas, com suas respectivas funções (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; GOMES et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2006), contudo, são necessários mais estudos que verifiquem a possibilidade de utilizar essas características anatômicas e fisiológicas em conjunto com o melhoramento convencional, com o intuito de oferecer, em um menor tempo, respostas às principais limitações enfrentadas pelos programas de melhoramento genético do cafeeiro. Assim, objetivou-se, no presente trabalho,avaliar o potencial do uso de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro tolerantes ao estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Em uma propriedade agrícola no município de Capitólio – MG foi identificada uma única planta de café, que possivelmente sofreu algum tipo de mutação, com frutos e folhas maiores daqueles apresentados pelas demais plantas, e com produtividade semelhante as demais cultivares comerciais. Por algumas gerações, selecionaram-se plantas superiores da descendência dessa única planta, obtendo três grupos de plantas com diferentes tamanhos dos frutos e folhas, denominados de grupo G (folhas e frutos excepcionalmente grandes), grupo M (folhas e frutos muito maiores que as cultivares comerciais existentes) e grupo P (folhas e frutos maiores que as cultivares comerciais existentes).

Foram coletadas sementes de 100 plantas representativas das progênies da propriedade agrícola e levadas para implantação do campo experimental na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde uma equipe de professores/pesquisadores iniciou o programa de melhoramento genético, em 2012.

Para a realização deste trabalho foram amostradas vinte progênies oriundas dos três tipos de grupos de procedências da população do experimento instalado na UFLA. Na Tabela 1, são apresentadas as descrições das progênies amostradas para a avaliação da estrutura interna de folhas e para as análises fisiológicas, sendo 6 progênies da procedência “P”, 8 da procedência “M” e 6 da procedência “G”. Cada progênie foi representada por 3 plantas (repetições). As avaliações foram realizadas no ano agrícola 2013/2014, em dois períodos: período 1 - agosto de 2013, considerado como um período de seca; período 2 - março de 2014, considerado como um período de chuva.

Para as análises estatísticas foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, com dois períodos de avaliação. O delineamento foi esquematizado considerando-se as condições laboratoriais, não seguindo o esquema instalado em campo. As plantas usadas para este trabalho foram amostradas, aleatoriamente, da população do campo.

Para os estudos anatômicos foram coletadas três folhas (uma de cada planta) completamente expandidas, localizadas no terceiro nó de ramos plagiotrópicos, do terço médio das plantas, para cada progênie apresentada na Tabela 1, sendo que cada folha/planta foi considerada como uma repetição. As folhas, assim que coletadas, foram fixadas em F.A.A. 70 (JOHANSEN, 1940), por 72 horas e, posteriormente, conservadas em etanol 70% (v v^{-1}). As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Café, na UFLA.

As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa, tipo LPC e as secções paradérmicas,à mão livre com uso de lâmina de aço, sendo submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio (1,25% de cloro ativo), tríplice lavagem em água destilada, coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3), para as secções transversais, e safranina 1% para as secções paradérmicas, sendo posteriormente montadas em lâminas semipermanentes com glicerol 50% (v v^{-1}) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

Para a caracterização dos estômatos, foram avaliados: número de estômatos (NE); número de células epidérmicas (NCE); diâmetro polar dos estômatos (DPE); diâmetro equatorial dos estômatos (DEE). Sendo calculados: densidade estomática - DEN - (número de estômatos por mm^2) e funcionalidade estomática - FUN - (considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

TABELA 1 - Relação das progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) utilizadas como tratamentos e suas respectivas características, Lavras – MG, 2014.

Procedência	Progênie	Características
P	P6	Folhas e frutos acima do tamanho padrão*
P	P10	
P	P13	
P	P18	
P	P26	
P	P28	
M	M2	Folhas e frutos muito acima do tamanho padrão*
M	M3	
M	M5	
M	M13	
M	M15	
M	M16	
M	M18	
M	M33	
G	G11	Folhas e frutos excepcionalmente grandes
G	G12	
G	G14	
G	G21	
G	G25	
G	G27	

*O padrão para comparação das plantas dos grupos foi o 'Acaiá Cerrado MG 1474', em virtude desta cultivar produzir elevada porcentagem de grãos de peneira alta (17 e acima) (FAZUOLI et al., 2008).

Para determinação da espessura dos tecidos foliares foram avaliadas: espessura da cutícula da face adaxial (CUT); espessura da epiderme da face adaxial (EAD); espessura do mesofilo (MES); espessura do parênquima paliçádico (PAL); e espessura do parênquima esponjoso (PES). Na avaliação dos feixes vasculares foram medidas: espessura da região do floema (FLO); diâmetro dos vasos do xilema (DVX); e número de vasos do xilema (NVX).

Para as análises fisiológicas foram utilizadas as mesmas folhas utilizadas nas análises anatômicas. Para a avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de análise de gases a infravermelho (IRGA LICOR – 6400XT). Avaliou-se a taxa fotossintética líquida (*A* - µmol m^{-2} s^{-1}), a condutância estomática (gs - µmol m^{-2} s^{-1}), e a taxa transpiratória (*E* - µmol m^{-2} s^{-1}). As avaliações foram realizadas entre as 9 e 11 horas da manhã, sob luz artificial (600 µmol m^{-2} s^{-1}), utilizando sempre folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo.

A partir dos dados observados foi feita a estimação dos componentes de variância e a predição dos valores genotípicos (E-BLUPs), para os quais foram obtidos os intervalos de confiança, os quais permitem inferir se o efeito genotípico é igual ou diferente de zero. Com base nos valores genotípicos, foi feito o ordenamento das progênies, o qual possibilita a seleção das melhores progênies que apresentam valores genotípicos positivos e diferentes de zero.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.0.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), utilizando as funções *lmer* e *ranef* da biblioteca *lme4* (BATES et al., 2015) para a estimação e predição do modelo misto (pelo método da máxima verossimilhança restrita) e a função *dotplot ( )* da biblioteca *Lattice* (SARKAR, 2008), para a criação do gráfico dos efeitos genotípicos, com seus respectivos intervalos de confiança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se que, para espessura da cutícula (CUT), a variância genotípica entre procedências foi maior no período 1, da seca, em relação ao período 2, das chuvas. Isso indica que, no período da seca, as procedências apresentaram maior diferença (variabilidade) entre si. Isso pode ter ocorrido em função da menor disponibilidade de água nesse período, ou seja, no período das chuvas, quando a disponibilidade de água não foi limitante, ocorreu menor variabilidade entre as procedências.

Pode-se observar também na Tabela 2 que ocorrem modificações nos tecidos foliares, em função das épocas do ano, o que demonstra que o cafeeiro apresenta plasticidade foliar, de acordo com as condições ambientais. Roças, Scarano e Barros (2001) observaram esse mesmo comportamento em estudo com angiospermas, onde verificaram que a medida que as plantas eram expostas a variações climáticas, como déficit hídrico e luz, ocorriam modificações nos tecidos foliares. O presente trabalho também corrobora Baliza et al. (2012), ao observarem que as estruturas anatômicas das folhas do cafeeiro e suas respectivas funções apresentam significativa plasticidade morfológica e anatômica, quando submetidas a diferentes níveis de radiação solar, adaptando-se conforme a quantidade de radiação.

Observando-se os valores genotípicos para a variável espessura da cutícula (Figura 1), nota-se uma superioridade das progênies P26, P13, M2, que apresentaram maiores valores genotípicos. Genótipos com maior potencial para tolerância a condições de estresse com alta radiação e déficit hídrico podem apresentar maior espessamento da cutícula (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010), reduzindo a transpiração e aumentando a eficiência do uso da água.

Para a variável espessura da epiderme da face adaxial – EAD, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período de chuva (Tabela 2). Em relação ao ordenamento das progênies (Figura 2), no período de seca verifica-se o ordenamento contrário do ocorrido no período chuvoso, onde a progênie P26 apresentou maior valor genotípico e a progênie P6 valor menor. Isso pode ter ocorrido devido à correlação entre as avaliações ao longo do tempo. Observa-se que os valores são diferentes para o período das chuvas (-1,5 a 1) e para o período da seca (-0,4 a 0,6), ou seja, o ordenamento foi exatamente o inverso, porém, os valores genotípicos observados nos dois períodos foram diferentes. As variações encontradas entre as progênies e entre os períodos podem ser explicadas pelas condições ambientais que as plantas encontram no campo, sujeitas às diferenças na intensidade de radiação solar e às variações de água no solo.

A espessura da epiderme da face adaxial pode estar relacionada às condições hídricas ou às condições de intensidade de radiação (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; SOUZA et al., 2007), atenuando a radiação incidente e reduzindo a taxa de transpiração. Dessa maneira, no período de seca ,a progênie P26 pode apresentar maior tolerância às condições de estresse hídrico e alta intensidade luminosa, pois apresentou maior valor genotípico para espessura da cutícula, nos dois períodos (Figura 1), e para espessura da epiderme da face adaxial, no período de seca (Figura 2).

Para a variável espessura do parênquima paliçádico, PAL, assim como ocorreu para a variável CUT, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período da seca, (Tabela 3), em relação ao período de chuva. A variância genética das progênies dentro de procedências também foi maior no período de seca, ocorrendo o mesmo ordenamento das progênies nos dois períodos (Figura 3). Assim como ocorreu para a CUT, o ordenamento das progênies para PAL foi o mesmo nos dois períodos (Figuras 1 e 3). Entretanto, para o PAL a progênie P6 foi a que apresentou maior valor genotípico, sendo a primeira no ordenamento (Figura 3).

A maior espessura do parênquima paliçádico está relacionada ao aumento significativo do volume do mesofilo por área foliar, o que pode influenciar nas trocas gasosas em condições de restrição hídrica e irradiação elevada (VOLTAN; FAHL; CARELLI, 1992). Segundo trabalhos desenvolvidos por esses autores, com *Coffea arabica*, há um decréscimo na espessura do parênquima paliçádico e esponjoso à medida que se diminui o nível de radiação. O parênquima paliçádico está relacionado com a taxa fotossintética, sendo que plantas com maior espessura desse tecido tendem a apresentar maior taxa fotossintética.

Para a variável espessura do parênquima esponjoso – PES, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período da seca, em relação ao período das chuvas, assim como ocorreu para CUT e PAL (Tabela 2), indicando que, no período da seca, para as variáveis CUT, PAL e PES, as procedências apresentaram maior variabilidade entre si.

TABELA 2 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências ($\hat{\sigma}^2_{A/P}$), variância genética entre procedências ($\hat{\sigma}^2_P$) e variância residual ($\hat{\sigma}^2_r$), para as variáveis componentes da espessura dos tecidos foliares. Lavras, Minas Gerais, 2014.

Parâmetros	Período*	Estimativas				
		CUT	EAD	PAL	PES	MÊS
$\hat{\sigma}^2_{A/P}$	2	0,7114	0,7732	9,745	21,04	148,2
	1	0,0033	0,1511	19,229	278,60	347,1
$\hat{\sigma}^2_P$	2	0,0156	3,0344	6,311	30,44	619,1
$\hat{\sigma}^2_r$	1	0,6652	0,0747	448,849	197,79	459,6
		0,6689	2,3596	62,373	197,94	231,9

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

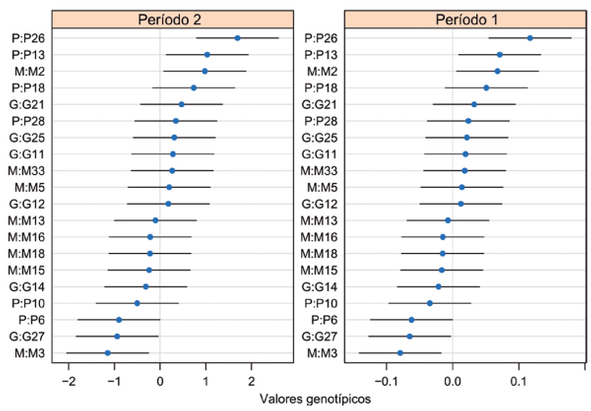

FIGURA 1 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável espessura da cutícula, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.

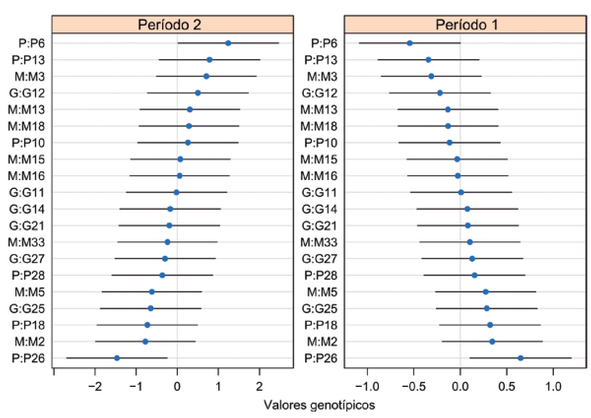

FIGURA 2 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura da epiderme da face adaxial, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita, para o modelo ajustado.

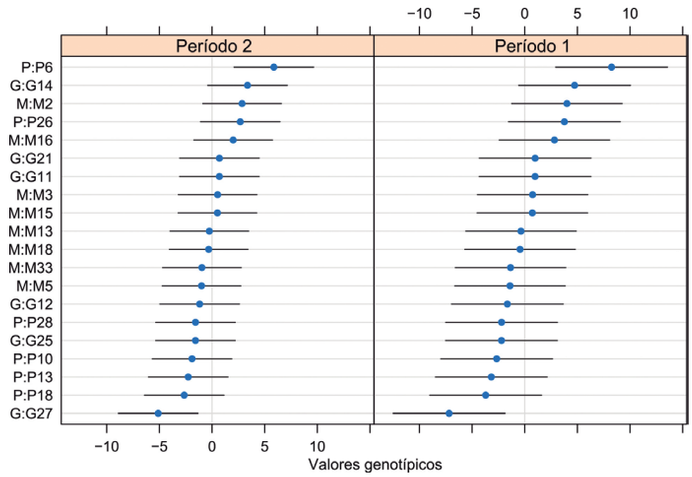

FIGURA 3 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura do parênquima paliçádico, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.

Observa-se na Figura 4, que não houve diferença dos valores genotípicos das progênies no período chuvoso para o parênquima esponjoso. Já no período seco, houve maior variabilidade, sendo que a progênie P6 apresentou maior valor genotípico, assim como para PAL, (Figura 3 e 4). A maior espessura do parênquima paliçádico pode favorecer o desempenho de plantas quando o fator limitante for CO_2, uma vez que os espaços intercelulares formam o sistema de aeração da planta (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009) e estão ligados com o acúmulo de CO_2, necessário à fotossíntese. O parênquima esponjoso é responsável pelo armazenamento de CO_2; dessa maneira a progênie P6, no período da seca, possivelmente apresenta uma maior eficiência no armazenamento desse gás, em relação às demais progênies.

Para a variável espessura do mesofilo, MES, a variância genética das progênies dentro de procedências foi maior no período de seca (Tabela 2). Isso pode ser observado também na Figura 5, onde no período de chuva a única progênie que apresentou valor genotípico diferente das demais foi a P6. Já no período de seca, onde houve uma maior variabilidade entre as progênies, as progênies P6, G11, M16 apresentaram maiores valores e as progênies G27, G25 e M2 apresentaram os menores valores.

Assim como ocorreu nas variáveis PAL e PES, para o MES a progênie P6 se destacou, apresentando maior valor genotípico (Figuras 3, 4 e 5). Também observa-se que a progênie G27 apresentou menor valor genotípico nas variáveis PAL e MES, ficando em último lugar no ordenamento no período da seca (Figura 3 e 5).

As estimativas dos parâmetros genéticos para as variáveis relacionadas aos feixes vasculares são apresentadas na Tabela 3. Para a variável número de vasos do xilema – NXL, observa-se que a variância genética entre procedências e a variância genética das progênies dentro de procedências foram maiores no período das chuvas, (Tabela 3). Isso indica que, nesse período, as procedências e as progênies apresentaram uma maior variabilidade entre si. Tendo em vista que a função do xilema está relacionada ao transporte de água e nutrientes, a maior variabilidade observada entre as procedências e progênies pode ser justificada pela maior disponibilidade de água nesse período. Contudo, não foram detectadas diferenças entre as progênies no ordenamento para a variável número de vasos do xilema.

Para a variável diâmetro dos vasos do xilema – DXL, observa-se que a variância genética entre procedências e a variância genética das progênies dentro de procedências foram maiores no período de seca (Tabela 3).

Estes resultados indicam que as plantas apresentam maior variabilidade entre si, quando estão submetidas à condições de menor disponibilidade hídrica. Em relação ao ordenamento das progênies para DXL (Figura 6), verifica-se que, no período chuvoso, as progênies são semelhantes entre si, assim como foi observado na variável PES (Figura 4).

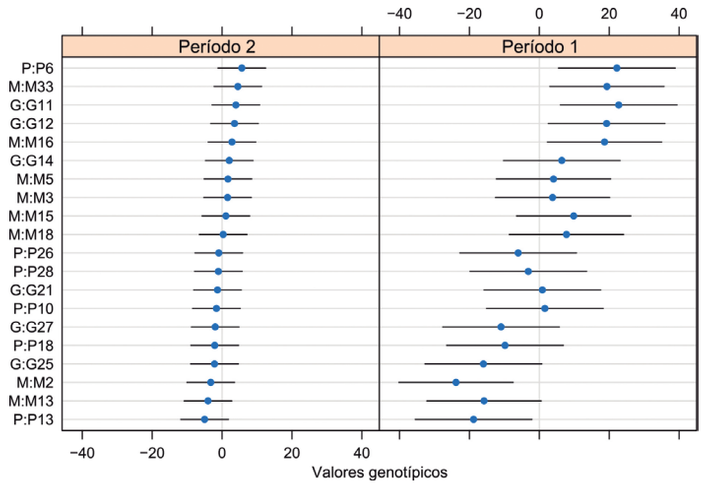

FIGURA 4 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura do parênquima esponjoso, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

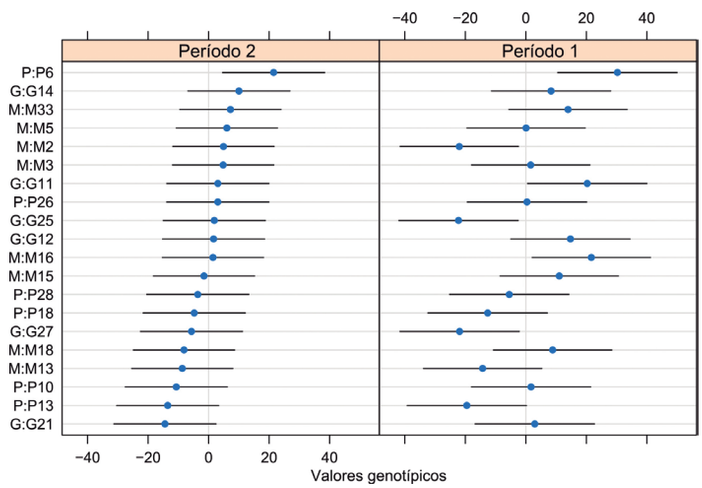

FIGURA 5 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura do mesofilo, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

TABELA 3 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências ($\hat{\sigma}^2_{A/P}$), variância genética entre procedências ($\hat{\sigma}^2_{P}$) e variância residual ($\hat{\sigma}^2_{r}$) para os feixes vasculares. Lavras - MG, 2014.

Parâmetro	Período*	NXL	DXL	FLO
$\hat{\sigma}^2_{A/P}$	2	286,05	0,2190	64,544
	1	97,85	0,4331	3,797
$\hat{\sigma}^2_{P}$	2	236,24	0,3318	2,566
	1	21,97	0,6566	
$\hat{\sigma}^2_{r}$		83,28	0,6768	17.831

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

No período de seca, houve maior variabilidade entre as progênies, sendo que a progênies M15 apresentou maior valor genotípico e a progênie M2 menor valor. Modificações no diâmetro e no número dos vasos do xilema podem representar uma forma de adaptação da planta, quando exposta às condições ambientais que afetam o transporte de seiva.

Para a variável espessura do floema – FLO, nota-se que não houve variabilidade entre os períodos para variância genética entre procedências A variância genética das progênies dentro de procedências foi maior no período de chuva (Tabela 3), ocorrendo um ordenamento inverso das progênies nos períodos (Figura 7), comportamento também observado para EAD (Figura 2). Verifica-se que, no período das chuvas, as progênies M5 e P26 apresentaram maiores valores genotípicos e as progênies M18, G12 e P13 menores valores. Já no período de seca, foi observado o ordenamento inverso (Figura 7).

Plantas com maior espessura do floema podem demonstrar maior potencial para a translocação de fotoassimilados, visto que o floema é um tecido especializado no transporte de fotoassimilados, que são componentes do metabolismo da planta (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Nesse sentindo, as progênies M18, G12 e P13, em condições de seca, podem apresentar características que possibilitam maiores incrementos na produtividade.

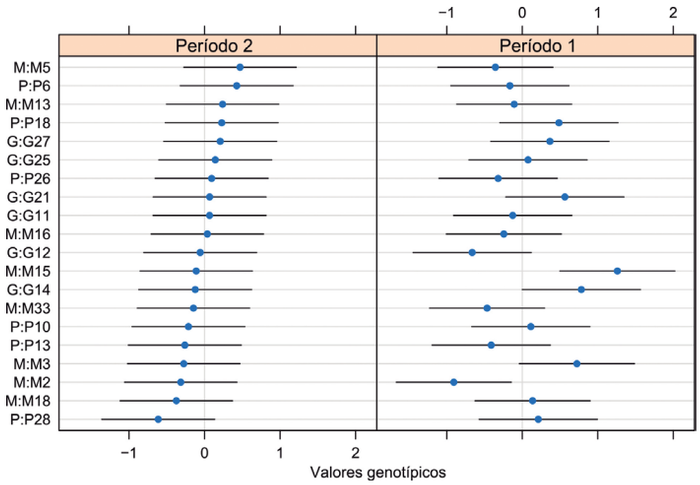

FIGURA 6 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável diâmetro dos vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança ,restrita para o modelo ajustado.

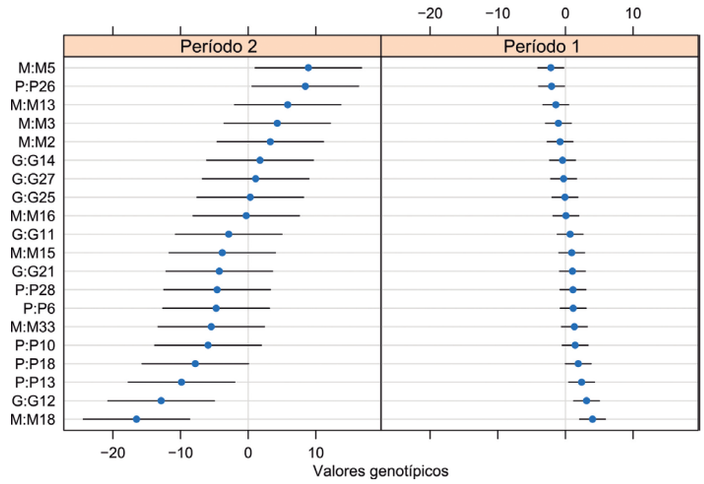

FIGURA 7 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura do floema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

No entanto, no estudo da taxa fotossintética, característica relacionada à produtividade, não houve diferença entre o ordenamento das progênies, em ambos os períodos, sendo as progênies semelhantes entre si.

Para as variáveis densidade estomática - DEN e funcionalidade estomática – FUN, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período de seca, e a variância genética das progênies dentro de procedências foi maior no período das chuvas, (Tabela 4). Para a variável densidade estomática - DEN, no ordenamento das progênies (Figura 8), observou-se um comportamento inverso de acordo com o período, sendo que, no período de seca, a progênie G21 apresentou maior valor e a G27 menor. O aumento da frequência estomática, em folhas expostas à elevada irradiância, pode ser um mecanismo importante de adaptação das espécies à condições mais áridas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Nesse sentido o maior desempenho da progênie G21 na seca (Figura 8) pode indicar melhor adaptabilidade dessa progênie às condições de baixa disponibilidade de água e maior intensidade de radiação.

Para a variável funcionalidade estomática - FUN, na Figura 9 verifica-se o mesmo ordenamento das progênies, nos dois períodos.

A progênie M3 apresentou maior valor genotípico e a progênie G27 o menor valor. Na variável DEN também foi observado o menor valor genotípico para a progênie G27. A maior funcionalidade estomática pode ser relacionada a uma menor transpiração da folha, pois os estômatos se tornam mais elípticos (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010). Essa redução na transpiração pode ainda estar relacionada a uma maior densidade estomática, que é observada em condições de maior intensidade de radiação e de restrições hídricas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

TABELA 4 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências, variância genética entre procedências e variância residual para a variável densidade estomática (DEN) e funcionalidade estomática (FUN). Lavras - MG, 2014.

Parâmetro	Período*	Estimativa	
		DEN	FUN
$\hat{\sigma}^2_{A/P}$	2	267,9725	0,00300
	1	14,8224	0,00012
$\hat{\sigma}^2_{P}$	2	0,3071	0,00012
$\hat{\sigma}^2_{r}$	1	209,5907	0,00025
		813,2747	0,01022

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

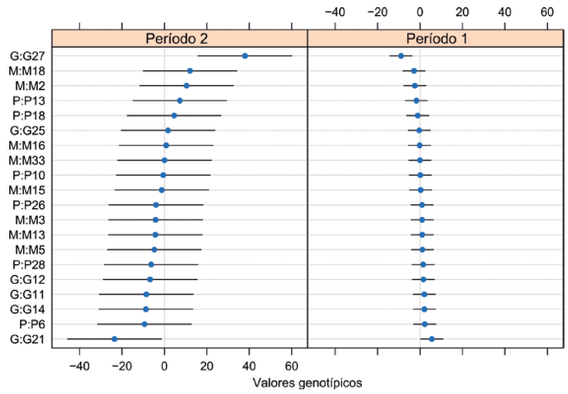

FIGURA 8 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável densidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

Para todas as variáveis fisiológicas: taxa fotossintética - *A*, condutância estomática - *gs* e taxa transpiratória - *E,* observa-se que a variância genética entre procedências e a variância genética das progênies dentro de procedências foram maiores no período da seca, (Tabela 5), indicando que houve uma maior variabilidade entre as procedências e entre as progênies neste período. Também foi observado resultado similar para as variáveis PAL, PES e DXL (Tabelas 2 e 3). Nesse sentido, é possível observar que plantas cultivadas em condições adequadas, como alta disponibilidade hídrica, se comportam de maneira semelhante entre si. Porém, quando as condições deixam de ser adequadas (período seco) surge uma variabilidade, sendo assim possível identificar progênies que se adaptam melhor em condições ambientais desfavoráveis.

Para a variável taxa fotossintética, *A*, não houve diferença no ordenamento das progênies nos dois períodos, sendo as progênies semelhantes entre si. Resultado também observado no ordenamento das progênies para NXL.

Para a variável condutância estomática, *gs*, em relação ao ordenamento das progênies (Figura 10), a progênie M5 mostrou maior desempenho no período de seca. Resultado oposto ao apresentado para FLO, onde a progênie M5 se mostrou superior no período das chuvas e inferior no período da seca (Figura 7). A progênie M5 foi superior no período de seca, o que pode indicar uma maior condutância estomática em condições de restrição hídrica. Segundo Damatta (2004), no cafeeiro arábica a condutância estomática é considerada como o primeiro indicador de falta de água, diminuindo logo que um terço da água do solo é esgotada, de acordo com a duração do déficit hídrico.

Para a variável taxa transpiratória - *E*, verificou-se que, em ambos os períodos, as progênies foram similares entre si. Resultado também observado para NXL e *A*.

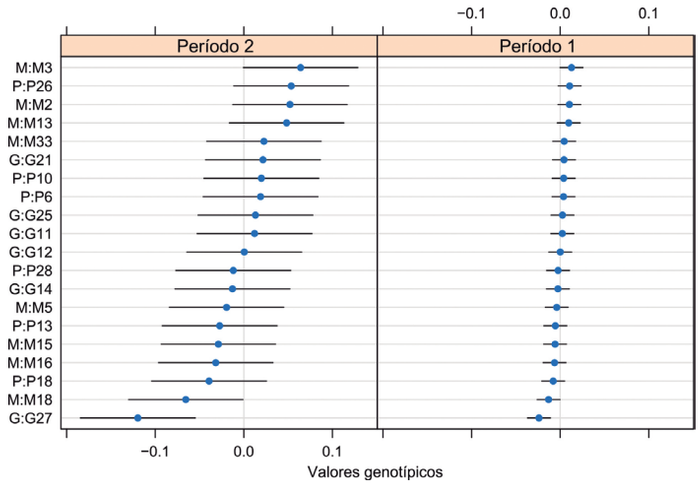

FIGURA 9 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável funcionalidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

TABELA 5 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências , variância genética entre procedências e variância residual para a variável potencial hídrico foliar (PH), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*) e taxa transpiratória (*E*). Lavras - MG, 2014.

Parâmetro	Período*	Estimativa		
		A	*gs*	*E*
$\hat{\sigma}^2_{A/P}$	2	29,39	0,0019	0,00
	1	59,77	0,0633	82,94
$\hat{\sigma}^2_{P}$	2	52,97	0,0050	141,26
$\hat{\sigma}^2_{r}$	1	832,99	0,0166	197,80
		837,88	0,3040	1010,24

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

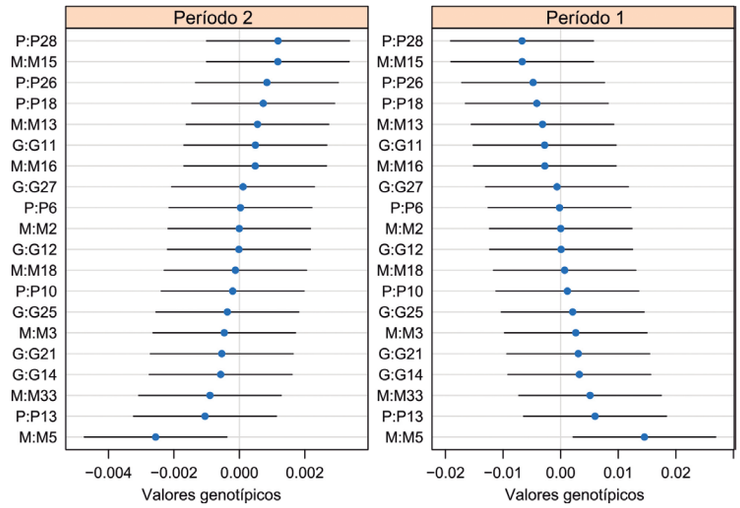

FIGURA 10 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável condutância estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

4 CONCLUSÕES

A variância genética é maior no período de seca, indicando que há maior variabilidade entre as progênies, nesse período. Logo, a avaliação de cafeeiros com tolerância ao estresse hídrico, com base nas características anatômicas e fisiológicas, deve ser feita no período de seca.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro na condução dos experimentos e pela concessão da bolsa de estudo.

6 REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.

BALIZA, D. P. et al. Antecipação da produção e desenvolvimento da lavoura cafeeira implantada com diferentes tipos de mudas. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2013.

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set./dez. 2012.

BATES, D. et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, Linz, v. 67, n. 1, 2015. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/v67/i01/>. Acesso em: 2 dez. 2015.

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

CASTRO, E. M. de; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal:** estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CALVETE, E. O. et al. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 396-401, jun. 2008.

COSTA, J. C. et al. Comportamento agronômico de progênies e cultivares de cafeeiro com resistência específica à ferrugem. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 183-191, abr./jun. 2013.

DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 1-6, jan./abr. 2004.

DÖRR, A. C.; MARQUES, P. V. Exigências dos consumidores europeus em relação à maçã gaúcha, na visão dos exportadores. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2006.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica de porte alto. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café:** origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. cap. 10, p. 227-254.

FREITAS, Z. M. T. S. et al. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 267-275, 2007.

GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. ”Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, jan./fev. 2008.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘Catuaí’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.

NASCIMENTO, E. A. do et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, maio/jun. 2006.

OLIVEIRA, N. K. et al. Anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímero hidrorretentor. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 258-265, abr./jun. 2014.

PEREIRA, A. B. et al. Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em diferentes substratos. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 741-748, jul./ago. 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 12 mar. 2013.

ROÇAS, G.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F. Leaf anatomical variation in *Alchornea triplinervia* (Spreng) Mull.Agr.(Euphorbiaceae) under distinct light and soil water regimes. **Botonical Journal o Linnean Society**, London, v. 136, n. 2, p. 213-238, June 2001.

SARKAR, D. **Lattice:** multivariate data visualization with R. New York: Springer-Verlag, 2008. 280 p.

SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botânica Brasilica**, Feira de Santana, v. 19, n. 1, p. 183-194, jan./mar. 2005.

SOUZA, G. S. et al. Estrutura foliar e de cloroplastídeos em Mikania laevigata Shultz Bip. Ex Baker em diferentes condições de qualidade de luz. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 78-80, jul. 2007. Suplemento 1.

SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of ‘Saracura’ maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiro submetidos a diferentes intensidade luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA SECAFÉ EM SEMENTES DE DIFERENTES CULTIVARES

Alisson Vinicius de Araujo[1], Eduardo Fontes Araujo[2], Haynna Fernandes Abud[3], Izabel Cristina Vaz Ferreira de Araujo[4]

(Recebido: 28 de outubro de 2015; aceito: 14 de abril de 2016)

RESUMO: A retirada do pergaminho acelera a emergência de plântulas de cafeeiro. Quando realizada manualmente, é inviável para grandes volumes de sementes. A técnica SECAFÉ promove a degradação do pergaminho pela ação do hipoclorito de sódio. Objetivou-se verificar os efeitos de cultivares na emergência e na formação de mudas, após a aplicação da técnica SECAFÉ. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 10 x 3, sendo 10 diferentes cultivares e três condições do pergaminho das sementes (intacto; retirado manualmente e imersão em hipoclorito de sódio). O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para aplicação da técnica SECAFÉ, as sementes, ainda com pergaminho, foram imersas em solução de NaClO (4% de cloro ativo), na proporção de 50 mL para cada 100 sementes, a 25 ºC, por 6 h. Foram avaliados o índice de velocidade e a porcentagem de emergência, o diâmetro do caule, o número de folhas completamente expandidas e a altura e a massa de matéria seca da parte aérea das plântulas, aos 150 dias após a semeadura. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Em geral, para todas as características avaliadas, a aplicação da técnica SECAFÉ proporciona resultados superiores para a maioria das cultivares, em relação aos demais tratamentos. A aplicação dessa técnica, que é de baixo custo, fácil execução e rápida, é eficiente na degradação do pergaminho das sementes de diferentes cultivares. Isso possibilita a aceleração da emergência de plântulas e da formação de mudas.

Termos para indexação: Aceleração da emergência, *Coffea arabica* L., endocarpo, hipoclorito de sódio, NaClO.

USING THE SECAFÉ TECHNIQUE IN SEEDS OF DIFFERENT CULTIVARS

ABSTRACT: *The withdrawal of parchment accelerates the emergence of coffee seedlings. When performed manually, it is impractical for large volumes of seed. The SECAFÉ technique promotes parchment degradation by the action of sodium hypochlorite. The objective was to verify the effects of cultivars in the emergence and seedling production, after applying the SECAFÉ technique. The experiment was carried out in a factorial 10 x 3; 10 varieties of coffee and three conditions of parchment seed (intact, removed by hand and removed with sodium hypochlorite) in a completely randomized design with four replicates. For the purposes of SECAFÉ technique, the seeds, although with parchment, were immersed in a solution of NaClO (4% active chlorine) at a ratio of 50 ml for every 100 seeds at 25 ° C for 6 h. We evaluated the speed index and the percentage of emergence, stem diameter, the number of fully expanded leaves and the height and dry matter of the aerial part of seedlings, 150 days after sowing. The results were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey test ($p<0.05$). In general, for all traits, the application of SECAFÉ technique provides superior results for most cultivars, compared to other treatments. The application of this technique, which is low cost, easy and fast implementation, is effective in parchment degradation of seeds of different cultivars. This enables the acceleration of seedling emergence and seedling.*

Index terms: *Coffea arabica L., emergency acceleration, endocarp, sodium hypochlorite, NaClO.*

1 INTRODUÇÃO

A implantação de cafezais com *Coffea arabica* L. é realizada por meio de mudas formadas a partir de sementes, sendo estas comercializadas no interior dos respectivos endocarpos, normalmente denominados de pergaminhos. O endocarpo é um componente fibroso que representa de 28,7 a 38,8% da casca e é composto basicamente por 37% de celulose, 25% de hemicelulose e de 9,3 a 13,5% de lignina em base seca (BARCELOS et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2008) e tais componentes conferem ao pergaminho textura rígida.

Apesar de oferecer proteção ao embrião, o pergaminho tem sido apontado como um dos responsáveis pela baixa velocidade de germinação e pela desuniformidade de emergência das plântulas de cafeeiro (LIMA et al., 2012). Segundo Valio (1980), o pergaminho atua no impedimento físico ao crescimento do embrião, principalmente pela presença da lignina em sua composição, o que torna sua decomposição lenta.

A retirada do pergaminho é uma prática eficiente na aceleração da emergência de plântulas de *Coffea* sp. (SOFIATTI et al., 2009). Dentre as vantagens de uma emergência mais rápida, tem-se a menor exposição das sementes a condições adversas que podem ocorrer logo após a semeadura. A remoção mecânica do pergaminho, normalmente, causa danos ao embrião, levando à queda acentuada do número de plântulas emergidas ao final do processo (FAGUNDES; ROSA; RIBEIRO, 2009). A remoção manual,

[1,4]Faculdade Cidade de Coromandel/FCC - Unidade I: Engenharia Agronômica - Av. Adolfo Timoteo da Silva, 433 - Brasil Novo Coromandel - MG - 38.5500-000 - viniciusnca@yahoo.com.br, izabelcpvfa@yahoo.com.br
[2,3]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia - Av. PH Rolfs, s/nº - Centro- Viçosa - MG -36.570-000 efaraujo@ufv.br, hfabud@gmail.com

por sua vez, é trabalhosa, sendo inviável para produtores que manipulam grande quantidade de sementes (URBAEZV et al., 2014).

A técnica SECAFÉ, cuja patente já foi requerida, é baseada na degradação do pergaminho pela ação do hipoclorito de sódio (NaClO) e tem sido apontada como uma técnica que, além de eficiente, é rápida, de baixo custo e de fácil execução (MEIRELES et al., 2007). O hipoclorito de sódio age por meio de reações de oxidação, substituição ou adição de átomos de cloro ao anel aromático presente na molécula de lignina e tem a capacidade de degradar ácidos graxos e lipídeos (ESTRELA et al., 2002). Em algumas espécies, que apresentam sementes dormentes, o NaClO é utilizado para escarificar o tegumento, aumentando sua permeabilidade à água, ao oxigênio e a solutos (JESUS et al., 2015; LINHARES et al., 2007; RODRIGUES et al., 2012), bem como para facilitar a remoção ou oxidação de inibidores de germinação (HSIAO; WORSHAM; MORELAND, 1981). Pelo fato de o NaClO ser altamente reativo com aminoácidos, ácidos nucleicos, aminas e amidas (ABDUL-BAKI, 1974), a imersão das sementes em concentrações mais elevadas ou por tempo prolongado pode prejudicar ou inibir a germinação.

Por meio de algumas pesquisas, tem sido demonstrado o efeito benéfico da aplicação da técnica SECAFÉ na germinação de sementes (MEIRELES et al., 2007) e na emergência de plântulas de *C. arabica* (LIMA et al., 2012; SOFIATTI et al., 2009) e de *C. canefora* Pierre ex A. Froehner (RUBIM et al., 2010, 2014). Entretanto, nesses trabalhos, foram utilizadas apenas uma cultivar. É de suma importância que essa técnica seja testada em sementes de diferentes cultivares para verificar se sua ação pode ser generalizada ou se possui restrições. Tem-se a hipótese de que a técnica pode ser aplicada em qualquer cultivar de *C. arabica*.

Objetivou-se, neste trabalho, verificar os efeitos de cultivares na emergência e na formação de mudas de *C. arabica*, após a aplicação da técnica SECAFÉ.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 10 x 3, sendo 10 cultivares de *C. arabica* e três condições do pergaminho das sementes, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por 45 sementes.

As sementes foram adquiridas em instituição idônea. As cultivares utilizadas e as respectivas porcentagens de germinação, expressas dentro dos parênteses e avaliadas conforme Brasil (2009), foram as seguintes: Acaiá Cerrado MG1474 (88%); Catigua MG 3 (80%); Catuai Amarelo (F5) (91%); Catuai Amarelo (IAC 62) (94%); Catuai Vermelho (IAC 15) (91%); Catuai Vermelho (IAC 44) (90%); Catucai AM 2SL (85%); Oeiras (MG6851) (97%); Rubi 1192 (92%) e Topázio MG1190 (83%). As sementes apresentavam teor de água aproximado de 13%, determinado pelo método da estufa, a 105 °C, por 24 horas.

As sementes foram submetidas aos seguintes tratamentos: a) presença de pergaminho; b) retirada manual do pergaminho e c) imersão em hipoclorito de sódio (técnica SECAFÉ).

A técnica SECAFÉ foi aplicada conforme recomendações de Meireles et al. (2007), com modificações, onde as sementes de café, ainda com pergaminho, foram imersas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 4% de cloro ativo (SOFIATT et al., 2009). A solução foi obtida por diluição do hipoclorito de sódio comercial com água destilada e a concentração de cloro ativo foi determinada no Laboratório de Química Analítica (LAQUA) do Departamento de Química da Universidade Federal de Viçosa. Para imersão das sementes foram utilizadas caixas tipo gerbox e suas telas metálicas, para que todas as sementes permanecessem imersas na solução de hipoclorito de sódio. Adotou-se a proporção de 2:1 de número de sementes, por volume de solução de hipoclorito de sódio, em mL. As sementes foram acondicionadas em BOD, à temperatura de 25 ºC, por 6 h. Em seguida, foram lavadas em água corrente, por 90 segundos e, então, semeadas.

A semeadura foi realizada em sacos de polietileno (10 x 20 cm), contendo substrato composto de solo peneirado e esterco de curral curtido e peneirado, na proporção de 7:3 e 5 kg m^{-3} de superfosfato simples e 0,5 kg m^{-3} de cloreto de potássio (SOFIATTI et al., 2009). Os saquinhos foram mantidos em viveiro coberto com tela, com 50% de sombreamento e a irrigação foi realizada diariamente.

Foram avaliadas as seguintes características: a)índice de velocidade de emergência (IVE): a cada cinco dias, até o 150° dia após a semeadura, foram computadas as plântulas emergidas. O índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado por meio da equação sugerida por Maguire (1962):

$$IVE = E1/N1 + E2/N2 + ... + En/Nn$$

em que E1, E2 e En é o número de plântulas emergidas computadas na primeira, segunda, até a última contagem; N1, N2 e Nn é o número de dias da semeadura à primeira, segunda até a última contagem. Dessa forma, o maior índice indica o maior vigor.

b)emergência: transcorridos 150 dias após a semeadura, foram computadas as plântulas normais. O resultado foi expresso em porcentagem de emergência de plântulas.

Aos 150 dias após a semeadura, foram escolhidas, aleatoriamente, vinte plântulas normais por parcela, nas quais se avaliaram:

c)diâmetro do caule: com o auxílio de um paquímetro digital, o diâmetro do caule foi mensurado ao nível do solo. O resultado foi expresso em mm plântula^{-1}.

d)altura das plântulas: as plântulas foram cortadas ao nível do solo, aferindo-se, imediatamente, a altura até a gema apical, com o auxílio de um paquímetro digital. O resultado foi expresso em cm plântula^{-1}.

e)número de folhas totalmente expandidas, expressando os resultados em número por plântula.

f)massa de matéria seca da parte aérea: as plântulas foram seccionadas ao nível do solo, acondicionas em saquinhos de papel e secadas em estufa de circulação de ar, a 65 °C, por 72 h. Os dados foram expressos em g plântula^{-1}.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Para a comparação das médias, foi utilizado o teste de Tukey, em nível de significância de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores para todas as características avaliadas (Tabela 1), o que indica que as cultivares se comportaram de maneira diferenciada ao serem submetidas aos diferentes métodos de retirada do pergaminho. Isso pode ser explicado pelas diferenças genéticas entre as cultivares e o consequente reflexo na composição química das diversas estruturas das sementes (MALTA; CHAGAS, 2009; MENDONÇA et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2012).

As plântulas oriundas de sementes submetidas ao método SECAFÉ apresentaram maiores valores de IVE do que aquelas semeadas com pergaminho, com exceção das cultivares Catucai AM 2SL e Rubi 1192, onde não foram verificadas diferenças significativas entre os resultados dos três métodos de remoção do pergaminho (Tabela 2). O maior atraso na emergência das plântulas oriundas de sementes semeadas com o pergaminho pode estar relacionado com o impedimento físico ao crescimento do embrião, estabelecido pelo endocarpo na semente (VALIO, 1980). Durante o processo de germinação, as sementes de café sem pergaminho absorvem água mais rapidamente, o que acelera a protrusão radicular e, consequentemente, a emergência da plântula (LIMA et al., 2012). Em relação à retirada manual do pergaminho, verificou-se que metade das cultivares apresentou IVE inferior àquele observado com a aplicação do método SECAFÉ e, na outra metade, não foi verificada diferença significativa.

Em algumas espécies arbóreas, foi verificado que a exposição das sementes ao NaClO aumentou a velocidade de absorção de água pelas mesmas, sem prejuízos à germinação (NOLETO; PEREIRA; AMARAL, 2010; SMIDERLE; SCHWENGBER, 2011). Em sementes de mamão, a aplicação de hipoclorito de sódio também favorece a germinação, sendo eficiente na remoção da sarcotesta, estrutura causadora da dormência nessa espécie (JESUS et al., 2015). Esses autores também verificaram que a aplicação de hipoclorito de sódio por 24 h, na concentração de 2% de cloro ativo, não afeta o endosperma e o embrião. Pelo fato da germinação das sementes de café não terem sido afetadas de maneira negativa pela aplicação desse composto, provavelmente o embrião também não chegou a ser atingido.

A aceleração da emergência das plântulas é relevante por reduzir o período de permanência das mudas no viveiro, o que gera economia de mão de obra, de produtos químicos e de irrigações e favorece a competição das mudas com as plantas daninhas (SOFIATTI et al., 2009).

Em quatro cultivares, a emergência das plântulas foi maior devido à aplicação da técnica SECAFÉ em relação à semeadura com a presença do pergaminho, não havendo diferenças significativas entre as demais (Tabela 2). Com relação à retirada do pergaminho, a técnica SECAFÉ também favoreceu quatro cultivares, não havendo diferença estatística entre as demais. Quanto maior a emergência de plântulas normais, maior será a quantidade de mudas comercializadas pelo produtor, o que significa maior margem de lucro. Como nenhuma cultivar submetida à técnica SECAFÉ apresentou emergência inferior àquelas submetidas às técnicas tradicionais, sendo superior em algumas, pode-se afirmar que é capaz de gerar maiores lucros ao produtor de mudas de café.

TABELA 1 - Resumo da análise de variância (quadrados médios) para índice de velocidade de emergência (IVE), emergência, diâmetro do caule (DC), altura, massa de matéria seca da parte aérea (MMS) e número de folhas completamente expandidas (NF) de plântulas, em função de métodos de retirada do pergaminho e cultivares de *Coffea arabica.*

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		IVE	Emergência	DC	Altura	MMS	NF
Método (M)	2	37,28***	575,01***	0,63***	3,42***	6,67***	35,03***
Cultivar (C)	9	1,40**	136,72***	0,98***	4,92***	0,69***	4,84***
M x C	18	2,88***	120,77***	0,08***	0,61***	0,49***	1,24**
CV (%)		22,42	5,75	4,90	7,22	12,60	15,56

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; *** e **: significativo a 0,1 e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

TABELA 2 - Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência de plântulas de *Coffea arabica* oriundas de sementes submetidas a diferentes métodos de retirada de pergaminho.

Cultivares	IVE			Emergência (%)		
	CP	RMP	SECAFÉ	CP	RMP	SECAFÉ
Acaic Cerrado MG1474	2,72 Ba	2,88 ABab	3,82 Aabc	94,5 Aa	85,0 Babc	96,1 Aa
Catigua MG 3	1,52 Ba	1,97 Bb	4,37 Aab	82,2 Bbcd	86,1 Babc	97,2 Aa
Catuai Amarelo (F5)	1,74 Ca	2,91 Bab	5,18 Aab	87,2 Babcd	96,1 Aa	97,2 Aa
Catuai Amarelo (IAC 62)	1,99 Ba	3,11 Aab	3,86 Aabc	92,2 Aab	93,3 Aab	96,7 Aa
Catuai Vermelho (IAC 15)	1,85 Ba	2,72 Bab	4,76 Aab	89,4 Aabc	95,6 Aa	96,7 Aa
Catuai Vermelho (IAC 44)	2,08 Ba	2,82 Bab	4,09 Aabc	94,8 Aa	95,8 Aa	94,8 Aa
Catucai AM 2SL	2,64 Aa	2,93 Aab	3,41 Abc	90,6 Aab	75,6 Bc	91,1 Aa
Oeiras (MG6851)	1,37 Ba	2,30 Bab	3,49 Abc	72,2 Bd	89,4 Aab	95,6 Aa
Rubi 1192	1,54 Aa	2,63 Aab	2,63 Ac	77,8 Bcd	92,8 Aab	92,8 Aa
Topázio MG1190	2,34 Ba	3,58 Aa	3,41 ABbc	92,2 Aab	82,8 Bbc	91,7 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). CP: com pergaminho; RMP: retirada manual do pergaminho, SECAFÉ: imersão em hipoclorito de sódio.

Metade das cultivares submetidas à técnica SECAFÉ apresentou diâmetro do caule superior, quando comparadas à semeadura com a presença de pergaminho (Tabela 3). Quando analisados os resultados da retirada manual dessa estrutura, 40% das cultivares apresentaram diâmetro do caule inferior aos resultados obtidos com a aplicação da técnica SECAFÉ.

A altura das plântulas foi inferior em 40% das cultivares semeadas com pergaminho, em

relação às submetidas à técnica SECAFÉ, não havendo diferenças entre as demais cultivares (Tabela 3). Em relação à retirada manual, houve melhoria da altura das plântulas em apenas três cultivares.

A massa de matéria seca da parte aérea das plântulas foi superior em 70% das cultivares, quando submetidas à técnica SECAFÉ, em relação àquelas semeadas com pergaminho (Tabela 4). Em relação à retirada manual, a técnica SECAFÉ favoreceu a formação de plântulas com maior massa em quatro cultivares, não havendo diferença significativa entre as demais.

O diâmetro do caule, a altura e a massa de matéria seca da parte aérea das plântulas são indicativos da qualidade de mudas (DIAS et al., 2009; VALLONE et al., 2010). Nessas características, as cultivares submetidas à técnica SECAFÉ, ora apresentaram valores equivalentes, ora superiores, em relação aos demais tratamentos (Tabelas 3 e 4). Isso indica que a técnica SECAFÉ é eficiente para a formação de mudas de qualidade, o que é extremamente relevante, visto que a longevidade da planta, aspecto desejável por se tratar de cultura perene, depende diretamente da qualidade da muda utilizada (VALLONE et al., 2010).

O efeito mais expressivo da utilização da técnica SECAFÉ, em relação à semeadura com o pergaminho, ao lado do IVE, foi observado no número de folhas aos 150 dias após semeadura, onde 80% das cultivares apresentaram médias significativamente superiores (Tabela 4). O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, por meio da Instrução Normativa nº 35, de 29 de novembro de 2012, estabelece que as mudas de cafeeiro devem possuir, na ocasião da comercialização, no mínimo três pares de folhas verdadeiras (BRASIL, 2012).

TABELA 3 - Diâmetro do caule e altura de plântulas de *Coffea arabica* oriundas de sementes submetidas a diferentes métodos de retirada de pergaminho.

Cultivares	Diâmetro do caule (mm plântula^{-1})			Altura (cm plântula^{-1})		
	CP	RMP	SECAFÉ	CP	RMP	SECAFÉ
Acaic Cerrado MG1474	2,25 Acd	1,99 Bd	2,39 Ad	7,52 Aa	6,45 Ba	7,55 Aa
Catigua MG 3	2,20 Ad	2,33 Ac	2,25 Ad	4,18 Bd	5,14 Abc	5,37 Ab
Catuai Amarelo (F5)	2,38 Babcd	2,76 Aab	2,77 Aab	5,12 Abc	5,54 Aab	5,79 Ab
Catuai Amarelo (IAC 62)	2,63 Ba	2,96 Aa	2,98 Aab	5,22 Abc	5,80 Aab	5,83 Ab
Catuai Vermelho (IAC 15)	2,55 Bab	2,86 Aa	3,05 Aa	4,77 Bcd	5,57 Aab	5,66 Ab
Catuai Vermelho (IAC 44)	2,50 Cabc	2,73 Bab	2,97 Aab	5,38 Abc	5,40 Ab	5,39 Ab
Catucai AM 2SL	2,16 Ad	1,93 Bd	2,27 Ad	5,81 Ab	5,13 Bbc	6,05 Ab
Oeiras (MG6851)	2,60 Aa	2,73 Aab	2,71 Abc	4,85 Bcd	5,50 ABb	5,79 Ab
Rubi 1192	2,30 Bbcd	2,52 Abc	2,46 ABcd	4,51 Bcd	5,35 Abc	5,62 Ab
Topázio MG1190	2,14 Ad	1,92 Bd	2,34 Ad	5,14 Abc	4,45 Bc	5,19 Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). CP: com pergaminho; RMP: retirada manual do pergaminho; SECAFÉ: imersão em hipoclorito de sódio.

TABELA 4 - Massa de matéria seca da parte aérea e número de folhas completamente expandidas de plântulas de *Coffea arabica* oriundas de sementes submetidas a diferentes métodos de retirada de pergaminho.

Cultivares	Massa de matéria seca da parte aérea (g plântula $^{-1}$)			Número de folhas completamente expandidas		
	CP	RMP	SECAFÉ	CP	RMP	SECAFÉ
Acaic Cerrado MG1474	2,89 Aa	2,24 Bbcd	3,14 Aab	4,43 Aa	4,30 Aabc	4,98 Abcd
Catigua MG 3	1,60 Bc	2,59 Aabcd	2,66 Ab	2,28 Bc	4,00 Abc	4,23 Ad
Catuai Amarelo (F5)	2,14 Babc	2,88 Aabc	3,26 Aab	3,98 Bab	5,55 Aab	6,08 Aabc
Catuai Amarelo (IAC 62)	2,24 Babc	2,96 Aab	3,04 Aab	4,23 Bab	5,15 ABab	6,23 Aab
Catuai Vermelho (IAC 15)	2,25 Babc	2,25 Bbcd	3,29 Aab	3,53 Babc	5,85 Aa	6,65 Aa
Catuai Vermelho (IAC 44)	2,80 Ba	3,13 ABa	3,59 Aa	4,08 Bab	4,80 Babc	6,60 Aab
Catucai AM 2SL	2,66 ABa	2,18 Bcd	3,04 Aab	4,5 Aa	4,45 Aabc	5,60 Aabcd
Oeiras (MG6851)	2,17 Babc	2,74 ABabc	3,10 Aab	3,13 Babc	4,43 Aabc	4,50 Acd
Rubi 1192	1,88 Bbc	3,01 Aab	3,19 Aab	2,63 Bbc	4,65 Aabc	5,10 Aabcd
Topázio MG1190	2,48 Aab	1,83 Bd	2,82 Aab	3,78 Babc	3,38 Bc	5,28 Aabcd

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). CP: com pergaminho; RMP: retirada manual do pergaminho; SECAFÉ: imersão em hipoclorito de sódio.

Verifica-se que, aos 150 dias após semeadura, 50% das cultivares submetidas à técnica SECAFÉ já poderiam ser comercializadas, sendo elas a Catucai AM 2SL, a Catucai Amarelo (IAC 62), Catucai Vermelho (IAC 44), a Catucai Amarelo (F5) e Catucai Vermelho (IAC 15). Quando submetidas a retirada manual do pergaminho, apenas 20% das cultivares (Catucai Amarelo (F5) e Catucai Vermelho (IAC 15)) chegaram ao ponto de comercialização e, quando semeadas com a presença do pergaminho, nenhuma cultivar chegou a esse estádio. Dessa forma, a utilização da Técnica SECAFÉ, dentre as demais vantagens já discutidas, contribui para a antecipação da comercialização das mudas. Dentre os benefícios dessa antecipação, tem-se a possibilidade de deslocamento da mão de obra para outras atividades, o que também gera economia, uma vez que, dentre os custos de produção da cafeicultura, 41,78% ocorre com mão de obra (REIS et al., 2001). Em estudo mais recente, Ramirez e Braga (2012) verificaram que, independente do tamanho da propriedade e do nível tecnológico empregado na lavoura, a mão de obra representa a parcela mais significativa nos custos, tanto no Brasil como na Colômbia. Recentemente, isso também foi relatado na Venezuela (URBAEZV et al., 2014).

A emergência (Tabela 2), o diâmetro do caule (Tabela 3), a altura (Tabela 3) e a massa de matéria seca da parte aérea (Tabela 4) das plântulas das cultivares Acaic Cerrado MG1474, Catucai AM 2SL e Topázio MG1190, apresentaram, quando submetidas à retirada manual do pergaminho, médias inferiores não apenas em relação à aplicação da técnica SECAFÉ, mas também com relação à semeadura com a presença do pergaminho. Possivelmente, a retirada manual do pergaminho causou algum tipo de dano ao embrião dessas cultivares. Esses danos, além de afetarem o desempenho fisiológico das sementes, podem ter atraído patógenos após a semeadura. Esse fenômeno também foi observado

em *Copaifera langsdorffii* Desf. (NOLETO; PEREIRA; AMARAL, 2010), onde sementes submetidas à escarificação manual por meio de punções apresentaram redução na emergência em viveiro, quando comparadas àquelas tratadas com hipoclorito de sódio, visando quebra de dormência. Segundo os autores, pode ter havido maior ataque por microrganismos, visto que a testa exerce função protetora da semente contra os mesmos (MOHAMED-YASSEN et al., 1994). Dessa forma, o endocarpo, que é apenas parcialmente degradado pelo hipoclorito, pode ter oferecido maior proteção contra patógenos, após a semeadura.

Além disso, vale ressaltar que hipoclorito de sódio apresenta grande potencial de uso devido à sua disponibilidade no mercado e ao seu baixo custo, sendo já amplamente utilizado em laboratórios como auxiliar na assepsia das sementes e de outras unidades de dispersão. Essa ação desinfestante do NAClO também pode ter potencializado o efeito da técnica SECAFÉ na qualidade das mudas, devido à eficiência na eliminação de microrganismos patogênicos (BEVILACQUA et al., 2011; SOUZA et al., 2011).

A retirada manual do pergaminho anula a barreira física imposta à semente. Alguns autores, que utilizaram apenas uma cultivar em seus trabalhos, verificaram sua eficiência em sementes de café (LIMA et al., 2012; SOFIATTI et al., 2009). Porém, sua utilização requer mais cuidado para algumas cultivares, pois pode causar danos aos embriões, como evidenciado neste trabalho.

Analisando-se todos os resultados, a cultivar Catucai AM 2SL foi a única cujas características avaliadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre a aplicação da técnica SECAFÉ e a semeadura de sementes com pergaminhos. Em nenhuma característica analisada foram obtidos resultados inferiores com a aplicação da técnica SECAFÉ.

Sugere-se mais trabalhos com sementes de diferentes lotes, com diferentes níveis de qualidade, o que possibilitaria maior generalização da aplicação da técnica SECAFÉ.

4 CONCLUSÃO

A técnica SECAFÉ acelera a emergência e a formação de mudas em diferentes cultivares de café.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de 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), pela concessão de bolsas e pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

ABDUL-BAKI, A. A. Pitfalls in using sodium hypochlorite as a seed disinfectant in ^{14}C incorporation studies. **Plant Physiology**, Rockville, v. 53, n. 5, p. 768-771, 1974.

BARCELOS, A. F. et al. Parâmetros bromatológicos da casca e polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 780-790, jul./ago. 2002.

BEVILACQUA, C. B. et al. Desinfestação superficial, germinação e regeneração *in vitro* a partir de sementes de calêndula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 761-766, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 35, de 29 de novembro de 2012. Estabelece normas para a produção e comercialização de material de propagação de cafeeiro (*Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) e os seus padrões, com validade em todo o território nacional, visando à garantia de sua identidade e qualidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 3 dez. 2012. Seção 1, p. 11-23.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

DIAS, R. et al. Fontes e proporção de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 758-764, 2009.

ESTRELA, C. et al. Mechanism of action of sodium hypochlorite. **Brazilian Dental Journal**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 2, p. 113-117, 2002.

FAGUNDES, A. V.; ROSA, S. D. V. F.; RIBEIRO, F. L. F. Aceleração da formação de mudas de *Coffea arabica* L., cultivar "Topázio" em função da retirada do pergaminho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 34, p. 1-6, 2009. Especial Café.

FIGUEIREDO, M. P. et al. Parâmetros cinéticos da degradação ruminal da casca de café (*Coffea arabica* L.) tratada com hidróxido de sódio (NaOH). **Ciência Animal Brasileira,** Maringá, v. 9, n. 1, p. 23-29, 2008.

HSIAO, A. I.; WORSHAM, A. D.; MORELAND, D. E. Effects of sodium hypochlorite and certain plant growth regulators on germination of witchweed (*Striga asiatica*) seeds. **Weed Science**, Lawrence, v. 29, n. 1, p. 98-100, 1981.

JESUS, V. A. M. et al. Sodium hypochlorite for sarcotesta remotion from papaya seeds: anatomical studies. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 228-235, 2015.

LIMA, J. S. et al. Uso da reidratação e do hipoclorito de sódio para acelerar a emergência de plântulas de cafeeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 327-333, 2012.

LINHARES, P. C. F. et al. Métodos de superação de dormência em sementes de jitirana. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 61-67, 2007.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

MEIRELES, R. C. et al. Secafé: metodologia para acelerar a germinação das sementes de café. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et Br. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 413-419, mar./abr. 2007.

MOHAMED-YASSEN, Y. et al. The role of seed coat in seed viability. **The Botanical Review**, Illinois, v. 60, n. 4, p. 426-439, 1994.

NOLETO, L. G.; PEREIRA, M. F. R.; AMARAL, L. I. V. Alterações estruturais e fisiológicas em sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) submetidas ao tratamento com hipoclorito de sódio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 45-52, 2010.

RAMIREZ, J. L. M.; BRAGA, M. J. Comparação relativa entre os custos de produção de café na Colômbia e no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 21, p. 38-49, 2012.

REIS, R. P. et al. Custos de produção da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais: Revista de Administração da UFLA**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2001.

RODRIGUES, D. L. et al. Embebição, condicionamento fisiológico e efeito do hipoclorito de sódio na germinação de sementes de alface. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 52-61, 2012.

RUBIM, R. F. et al. Emergence of conilon coffee seedlings originating from seeds treated with a sodium hypochlorite solution. **American Journal of Plant Sciences**, Tuscaloosa, v. 5, p. 1819-1830, 2014.

_____. Tratamento com hipoclorito de sódio para remoção do pergaminho e aceleração da germinação de sementes de café conilon. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 88-98, 2010.

SMIDERLE, O. J.; SCHWENGBER, L. A. M. Superação da dormência em sementes de paricarana (*Bowdichia virgilioides* Kunth.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 407-414, 2011.

SOFIATTI, V. et al. Uso de hipoclorito de sódio para acelerar a emergência das plântulas e o desenvolvimento das mudas de cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 233-240, 2009.

SOUZA, L. S. et al. Desinfestação de sementes e multiplicação in vitro de guabijuzeiro a partir de segmentos apicais juvenis (*Myrcianthes pungens* O.Berg) D. Legrand. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 691-697, 2011.

TEIXEIRA, A. L. et al. Avaliação do teor de cafeína em folhas e grãos de acessos de café arábica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p. 129-137, 2012.

URBAEZ, M. C. et al. Evaluación de métodos químicos y mecánicos para promover la germinación de semillas y producción de fosforitos en café (*Coffea arabica*) var. Catuaí Rojo. **Idesia**, Arica, v. 32, n. 1, p. 43-53, 2014.

VALIO, I. F. M. Inhibition of germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo) by the endocarp. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 5, n. 1, p. 32-39, 1980.

VALLONE, H. S. et al. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan./fev. 2010.

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROSCÓPICA DE 14 MARCAS COMERCIAIS DE CAFÉ TORRADO E MOÍDO

Olívia Reis Teixeira[1], Flávia Regina Passos[2], Fabrícia Queiroz Mendes[3]

(Recebido: 04 de novembro de 2015; aceito: 03 de fevereiro de 2016)

RESUMO: O consumo de café representa um hábito mundial, sendo essa bebida uma das mais consumidas no mundo. Objetivou-se avaliar a qualidade físico-química e microscópica de café torrado e moído destinados ao mercado consumidor brasileiro. Foram realizadas análises de cinzas, pH e acidez titulável em 14 marcas de café torrado e moído e nas suas infusões, além de análise microscópica. Nas análises de cinzas, houve variação entre as amostras de café torrado e moído, entretanto não houve variação entre as infusões. Para pH e acidez titulável houve variação, tanto para o café torrado e moído, quanto para as infusões. A amostra de pó de café Gourmet apresentou menor teor de cinzas, maior acidez titulável e menor pH. Na microscopia, percebeu-se a presença de matérias estranhas em todas as amostras, variando de intensidade de uma marca para outra. O café Gourmet apresentou-se como de melhor qualidade. Quatro marcas de café Tradicional apresentaram alto teor de cinzas e impurezas, sugerindo adição intencional de compostos estranhos.

Termos para indexação: Café Tradicional, café Gourmet, infusão.

PHYSICO-CHEMICAL AND MICROSCOPIC QUALITY OF 14 TRADEMARK ROASTED AND GROUND COFFEE

ABSTRACT: *Coffee consumption is a global habit. Coffee is being one of the most consumed beverage in the world. Aimed to evaluate the physic-chemical and microscopic quality of roasted and ground coffee for the Brazilian market. Ash analysis, pH and titratable acidity in 14 marks roasted and ground coffee and its infusions were performed, and microscopy roasted and milled powder. Chemical analyzes of ash, there was variation between the samples of roast and ground coffee, however there was no change between infusions. To pH and titratable acidity there were variation for both the roast and ground coffee as for infusions. The sample of Gourmet coffee powder showed lower ash content, higher acidity and lower pH. In microscopy, it was noted the presence of foreign materials in all samples, ranging in intensity from one brand to another. Gourmet coffee introduced himself as best quality. Four Traditional coffee brands had high ash content and impurities, suggesting intentional addition of foreign compounds.*

Index terms: *Traditional coffee, Gourmet coffee, infusion.*

1 INTRODUÇÃO

As duas espécies de cafeeiro de de grande importância comercial são *Coffea arábica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froeher, conhecidas, respectivamente, como café arábica e café robusta ou conilon. As espécies possuem diferenças em preço, qualidade e aceitação pelos consumidores. Estas espécies também podem apresentar diferenças, tanto na composição química, quanto no comportamento de seus componentes durante o processo de torração (CONTI et al., 2013; RIBEIRO et al., 2014; SCHOLZ et al., 2011).

C. arabica é caracterizado pela acidez e aroma intenso, além de possuir valor comercial mais elevado. *C. canephora* apresenta amargor e sabor de terra e madeira típicos (MATULOVÁ et al., 2011).

Os cafés brasileiros convencionais torrados e moídos são classificados conforme a proporção de grãos arábica e conilon no blend ou mistura. As misturas de café ou blends são muito utilizadas quando se deseja manter a uniformidade de sabor e a padronização da qualidade do café (FERNANDES et al., 2003).

O Brasil é um grande produtor de café, porém a cafeicultura nacional enfrenta problemas básicos, principalmente no que se refere à qualidade do café torrado e moído. O café é um alimento complexo, e sua composição pode ser afetada por muitos fatores entre eles a genética do grão de café, condições de manejo pré e pós-colheita, torrefação, blend e preparo da bebida (CONTI et al., 2013; MONTEIRO; TRUGO, 2005; SCHOLZ et al., 2011; VAAST, 2006).

O teor de cinzas em café arábica comumente é menor em relação ao café conilon (CONTI et al., 2013). Durante o processo de torrefação, os minerais são separados dos compostos orgânicos e catalisam as reações de pirólise (BICHO et al., 2012).

O aumento do percentual do café conilon no

[1,2,3] Universidade Federal de Viçosa Campus de Rio Paranaíba UFV/CRP - Instituto de Ciências Agrárias - Rodovia MG 230, Km 07, s/n - Caixa Postal 22 - 38810-000 - Rio Paranaíba - MG - oliviareist@gmail.com, flaviapassos1@yahoo.com.br, fabricia.mendes@ufv.br

blend tende a diminuir a acidez do café. O conteúdo final de ácidos em café pode indicar o ponto de torra utilizado sobre os grãos. O incremento na acidez com a torração se deve à formação de ácidos; no entanto, em processo de torrefação mais drástico, o café apresenta menor acidez por destruir ácidos clorogênicos, que se encontram ligados à matriz do grão (FERNANDES et al., 2003; MONTEIRO; TRUGO, 2005; MORAIS et al., 2009; SCHOLZ et al., 2011). Os ácidos clorogênicos reagem durante a torra, produzindo compostos ácidos, lactonas e outros derivados fenólicos que contribuem para o aroma e sabor do café, acidez final e adstringência da bebida (LÓPEZ-GALILEA; PAZ DE PEÑA; CID, 2007).

Na torra ocorrem variações no pH, e este deve apresentar valor no intervalo de 4,95 a 5,2 conferindo à bebida um sabor palatável, sem excesso de acidez ou amargor (LICCIARDI et al., 2005). Moura et al. (2007b) observaram, em grãos torrados de café da espécie arábica que, quanto maior o grau de torra, maior era o pH. Em outro estudo Moura et al. (2007a) relataram que quanto maior o percentual de conilon no blend, maior o pH.

No Brasil, a Associação Brasileira das Indústrias do Café - ABIC (2003) criou o selo de pureza em 1989, visando proporcionar ao consumidor a segurança em adquirir um café livre de impurezas, sem adulteração ou fraudes. Este selo da ABIC, contudo, não garante a qualidade dos aspectos sensoriais da bebida. Em pesquisa nacional de qualidade da ABIC, realizada em 2008, foram identificadas fraudes em 583, de um total de 2.400 marcas de café torrado e moído comercializadas no Brasil, praticamente 25% das amostras. As análises constataram a presença de impurezas como cascas de café, milho, centeio, caramelo (açúcar), sementes de açaí e pedaços de pau (FAGIOLI, 2010).

O aspecto granuloso do café, sua textura oleosa e aderente e a sua cor contribuem para que as impurezas tornem-se quase imperceptíveis, tornando difícil seu reconhecimento sem o auxílio de aparelhos e métodos analíticos especiais (MELO, 2003). Segundo Amboni, Francisco e Teixeira (1999), apesar da microscopia óptica ser usada na detecção de fraudes, a microscopia eletrônica de varredura apresenta-se como um método mais rápido e eficiente, principalmente para detecção de fraudes amiláceas em café torrado e moído.

A qualidade do café torrado e moído está profundamente relacionada com a sua composição físico-química. Desta forma, o setor cafeeiro tem buscado formas de padronizar o produto através de limites estabelecidos pelos órgãos de fiscalização, visto que as torrefadoras têm como maior problema a diversidade da matéria-prima que chega às plataformas de recepção, e dificultam a padronização do produto final. Assim, objetivou-se,neste trabalho, avaliar a qualidade físico-química e microscópica de café torrado e moído, destinados ao mercado consumidor brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de café torrado e moído foram adquiridas no comércio local das cidades de Rio Paranaíba e Carmo do Paranaíba, situadas no Alto Paranaíba e Montes Claros, localizada no Norte de Minas, todas no estado de Minas Gerais. Foram analisadas 14 marcas comerciais (A-N), sendo uma Gourmet (G), uma Extraforte (H) e 12 Tradicionais. De todas as marcas foram obtidos três pacotes, no qual cada um representou uma repetição do experimento.

As análises físico-químicas de cinzas, pH e acidez titulável foram realizadas nas amostras de café torrado e moído e nas suas respectivas infusões, segundo metodologias descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). As análises microscópicas foram realizadas nas amostras de café torrado e moído, de acordo com Matos et al. (2012).

Para a determinação de cinzas no café torrado e moído, aproximadamente 5 g da amostra foram pesadas em uma cápsula de porcelana e levadas à mufla para incineração à 550 ºC, até a completa eliminação da matéria orgânica. Ao fim do processo de incineração, as amostras foram pesadas. Os resultados foram expressos em percentagem.

Para análise de pH foram pesadas 10 g de amostra de café torrado e moído, em um béquer, e diluída com 100 mL de água. O conteúdo foi agitado até que as partículas ficassem uniformemente suspensas. Os resultados foram expressos por meio do valor absoluto encontrado.

A acidez titulável do café torrado e moído consistiu na pesagem de, aproximadamente, 1 g de cada amostra, a qual foi transferida para um frasco erlenmeyer de 125 mL ,com o auxílio de 50 mL de água. Em seguida, foi deixada em repouso por um período de duas horas, agitando-os, manualmente, a cada 10 minutos. A titulação foi realizada com solução de NaOH 0,1 mol L^{-1}. Neste caso, como se trata de uma amostra com coloração escura, o ponto de viragem foi estabelecido por método

potenciométrico, até pH 8,3 e os resultados expressos acidez molar por 100 g de amostra.

A infusão do café consistiu na bebida preparada a partir do café torrado e moído em água fervente seguida de filtração, cujas proporções seguiram de 12 gramas de pó, para 100 mL de água. Para a determinação de cinzas da infusão do café, foram transferidos com uma pipeta volumétrica 20 mL da infusão para uma cápsula de porcelana. Neste caso, como a amostra é líquida, levou-se, primeiramente, a uma estufa, para evaporação, e em seguida à mufla para incineração à 550 ºC, até a completa eliminação da matéria orgânica. Após o término da incineração, as amostras foram pesadas. Os resultados foram expressos em percentagem.

Após o preparo da infusão, mediu-se o pH de cada amostra. Os resultados foram expressos por meio do valor absoluto encontrado. Para a análise de acidez titulável, uma alíquota de 20 mL de infusão de café de cada amostra foi titulada com solução de NaOH 0,1 mol L^{-1}. O ponto de viragem foi estabelecido por método potenciométrico, até pH 8,3 e os resultados expressos em acidez molar por 100 g.

A análise microscópica de café torrado e moído consistiu na pesagem de, aproximadamente, 2 g de amostra, a qual foi levemente espalhada sobre a superfície de 60 mL de clorofórmio. A mistura foi homogeneizada com bastão de vidro, para posterior repouso por 20 minutos. Após este período, a solução foi filtrada em papel filtro e recolhida em erlenmeyer de 250 mL. Após este processo de desengorduramento, o conteúdo do papel filtro foi levado à estufa para secagem. O material seco foi transferido para uma placa de Petri e a amostra foi avaliada em um microscópio, quanto à presença de matéria estranha.

Para as análises físico-químicas, o experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, com quatorze tratamentos (cafés torrados e moídos) e três repetições. Os tratamentos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), utilizando-se o teste F, a 5% de significância. Para os parâmetros que apresentaram valores de F significativos em nível de 5%, foi aplicado o teste de médias *Tukey,* a 5% de significância.

As análises físico-químicas do café torrado e moído e de suas respectivas infusões foram comparadas por Correlação de Pearson, para verificar se há relação linear entre as duas variáveis respostas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 indica uma heterogeneidade nos resultados referentes às cinzas do café torrado e moído.

Para as infusões de cafés estudadas não observou-se diferença no teor de cinzas. Ao realizar a Correlação de Pearson para o teor de cinzas, verifica-se que não há correlação entre os resultados do café torrado e moído e de suas respectivas infusões (valor do coeficiente de variação: 0,2637 e p = 0,3623). A falta de correlação ocorre pelo fato de cinzas ser matéria-seca, com maior dificuldade de ser extraída por água quente e passar através do papel filtro.

O teor de cinzas observado nas diferentes amostras de café torrado e moído variou de 3,99% a 6,10%, sendo a menor média a do café Gourmet. O café Gourmet é composto somente por café arábica, que comumente possui menor teor de cinzas. Os demais cafés são compostos por *blends* e a adição de café conilon contribui para o aumento do teor de cinzas (CONTI et al., 2013).

Conti et al. (2013), ao analisarem diferentes tipos de cafés, encontram valor semelhante para o teor de cinzas em café Gourmet (3,94%) e no café Tradicional (4,66%), sendo este último valor próximo aos resultados encontrados em sete amostras de cafés Tradicionais e também no café denominado Extraforte.

Entretanto, cinco (J, K, L, M, N) das 14 amostras analisadas apresentaram teor de cinzas acima de 5%, limite máximo para o teor de cinzas em café (BRASIL, 2010, 2007). Valores de cinzas acima de 5% podem ser indicativos de quantidade elevada de impurezas na amostra.

O pH das amostras variou entre 5,09 e 6,42 para o café torrado e moído, e 4,81 a 6,02, para a infusão de café (Figura 2).

O café Gourmet, que consiste apenas da espécie *C. arabica*, apresentou o menor valor de pH, 5,09. Este valor está dentro do intervalo recomendado por Fernandes et al. (2003), que afirmam que, valores de pH entre 4,95 e 5,2 garantem uma bebida com sabor palatável, sem excesso de acidez ou amargor.

Moura et al. (2007a), ao avaliarem *blends* de café arábica com café conilon, verificaram que os valores de pH aumentaram de modo proporcional à quantidade de conilon no *blend*. Por isso, as amostras de cafés Tradicionais e Extraforte apresentaram maiores valores de pH, por serem compostas por *blends* de café arábica e conilon.

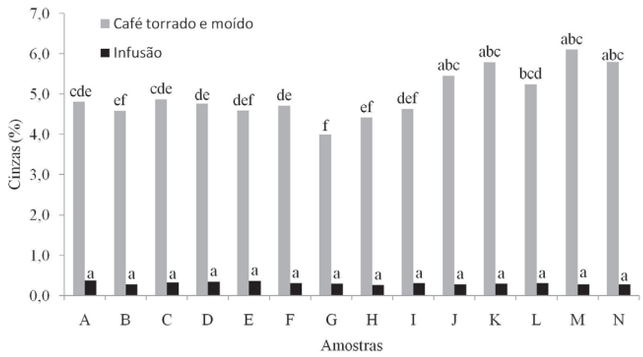

FIGURA 1 - Teores de cinzas das amostras de café torrado e moído e suas respectivas infusões.

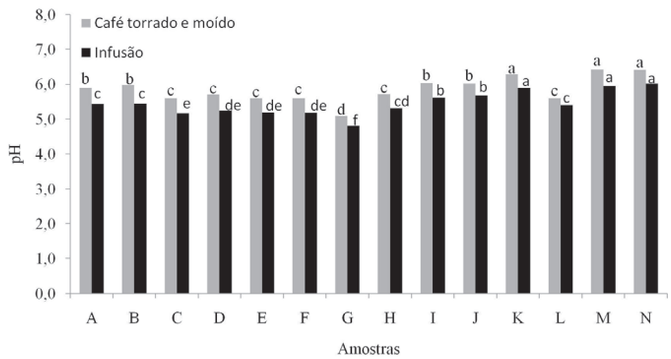

FIGURA 2 - Valores de pH das amostras de café torrado e moído e suas respectivas infusões.

Os cafés mais escuros (B, I, J, K, M, N) apresentaram os maiores valores de pH. Para estes, os valores de pH podem ter sido influenciados pelo grau de torra. Moura et al. (2007b) verificaram que, quanto maior a intensidade da torra, maior o valor do pH, pois ocorre degradação dos ácidos presentes no café verde e também degradação daqueles formados no início do processo de torra. Segundo esses mesmos autores, os cafés brasileiros caracterizam-se por apresentar, em geral, uma torração excessiva. Esta torração definiu um padrão de sabor brasileiro "queimado" e bebida extremamente escura (negra) e amarga.

Observa-se, na Figura 2, que os valores de pH das infusões são sempre menores quanto os cafés torrados e moídos correspondentes. Entretanto, o comportamento de ambos se assemelham, existindo uma Correlação de Pearson significativa ($p<0,0001$), com coeficiente de correlação igual a 0,9752, o que demonstra que as amostras que apresentaram maiores valores de pH, no pó de café torrado e moído, também apresentam maiores valores de pH na infusão.

Quanto à acidez titulável, o café Gourmet (G) apresentou os maiores valores, correspondentes a 17,603 mL de solução molar por 100g para o café torrado e moído e 1,556 para a infusão dos cafés mais escuros (B, I, J, K, M, N), sendo significativamente maior, em ambos os casos, em relação às demais amostras (Figura 3).

O aumento do percentual do café robusta ou conilon no *blend* tende a diminuir a acidez do café (RIBEIRO et al., 2014), uma vez que o café arábica tende a apresentar maior acidez (CONTI et al., 2013) e, consequentemente, menores valores de pH.

E, como na variável pH, a Correlação de Pearson foi significativa para a acidez ($p<0,0001$), com coeficiente de correlação igual a 0,9245, indicando que as amostras que apresentam maior acidez no café torrado e moído também apresentam maior acidez na infusão.

A quantidade de ácidos carboxílicos do café torrado depende da variedade e espécie de café (FERNANDES et al., 2003). A torração aumenta os ácidos voláteis, principalmente com

degradação dos carboidratos. A concentração dos ácidos voláteis chega ao máximo com a torração média, decresce com o aumento da torração, pois a severidade desta diminui a acidez da bebida, por destruir ácidos clorogênicos que se encontram ligados à matriz do grão (MORAIS et al., 2009; SCHOLZ et al., 2011; MONTEIRO; TRUGO, 2005).

Através da microscopia, observou-se que todas as amostras de café torrado e moído analisadas apresentaram presença de fragmentos estranhos, porém em intensidades diferentes. Ao comparar as imagens obtidas com a literatura de referência (MATOS et al., 2012), percebe-se que, dentre as matérias estranhas, há o predomínio de cascas e fragmentos de madeira, conforme observado nas Figuras 4 (A e B).

As cascas e fragmentos de madeira são considerados impurezas, pois parte-se do princípio que são oriundas da colheita e beneficiamento do café e, assim, não são adicionados intencionalmente. No entanto, quando a concentração desses materiais é muito alta, supõe-se que o produto tenha sido fraudado (ASSAD et al., 2002).

Há casos também de fraudes com cereais, sendo o mais comum em milho, cevada e triguilho (AMBONI; FRANCISCO; TEIXEIRA, 1999; ASSAD et al., 2002). Entretanto, estes casos são mais difíceis de detectar devido à forma e coloração que possuem. Após a torra do café, estes cereais também são torrados e depois misturados ao pó (ASSAD et al., 2002). Dessa forma, ao comparar algumas imagens com a literatura de referência, pode-se sugerir a presença de milho e triguilho (Figuras 4C e 4D) em algumas marcas analisadas, tais como milho nas amostras B, D, H e L e triguilho nas amostras A, E, H e L.

O café Gourmet foi o que apresentou menor quantidade de impurezas, prevalecendo as de tamanho menor (Figura 5).

Pelas observações microscópicas, as marcas H e L foram as que apresentaram maior quantidade de impurezas, podendo-se sugerir uma possível adição intencional, o que levaria a danos ao consumidor, principalmente de ordem econômica (ASSAD et al., 2002). Como ambas possuem uma granulometria mais grosseira, muitas impurezas foram perceptíveis visualmente, como apresentadas nas Figuras 6(A) e 7(A), respectivamente. Melo (2003), ao avaliar impurezas de café em pó, observou que o café puro tem uma granulometria fina e partículas macias, enquanto o produto adulterado apresenta granulometria variada, especificamente grossa e partículas duras.

Em outras marcas, como B, I, J, M e N, não foi possível observar a presença de matérias estranhas logo no início, pois a granulometria mais fina facilita a adesão dos grânulos de café sobre tais impurezas, mascarando-as. Assim, o preparo da amostra com o desengorduramento é muito importante para o processo de detecção. Nessas amostras, houve a presença de muitos fragmentos de madeira e pedaços de cascas como os demonstrados nas Figuras 6(B) e 7(B), respectivamente.

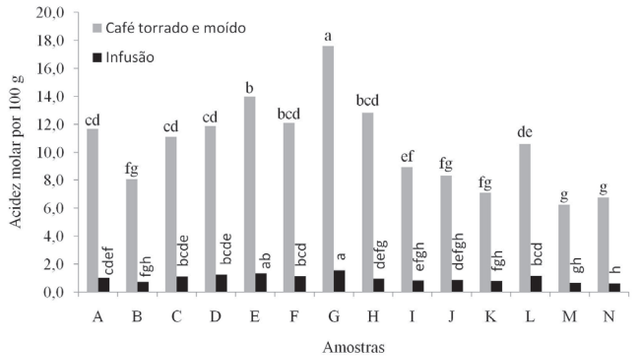

FIGURA 3 - Acidez titulável das amostras de café torrado e moído e suas respectivas infusões.

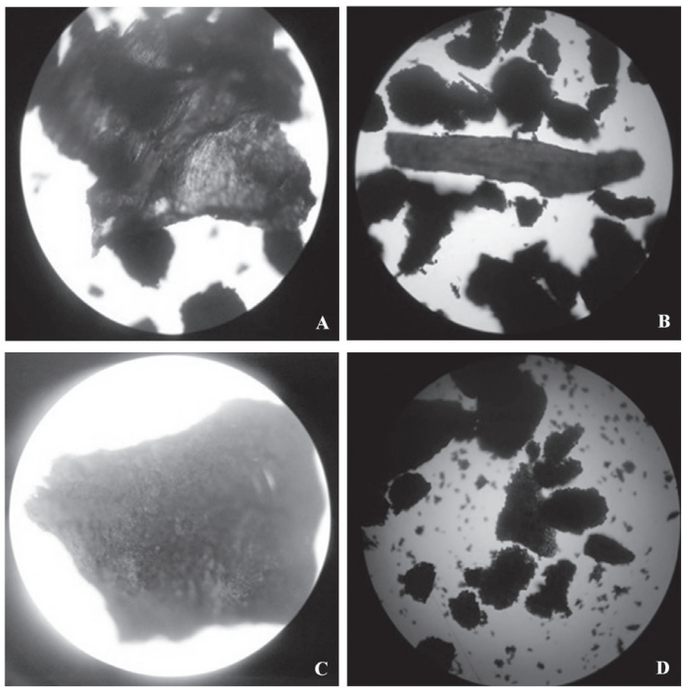

FIGURA 4 - Imagens de impurezas encontradas nos cafés analisados: (A) Fragmento de casca. (B) Fragmento de madeira. (C) Possível fragmento de milho. (D) Possível fragmento de triguilho.

FIGURA 5 - Presença de pequenos fragmentos de impureza em café Gourmet.

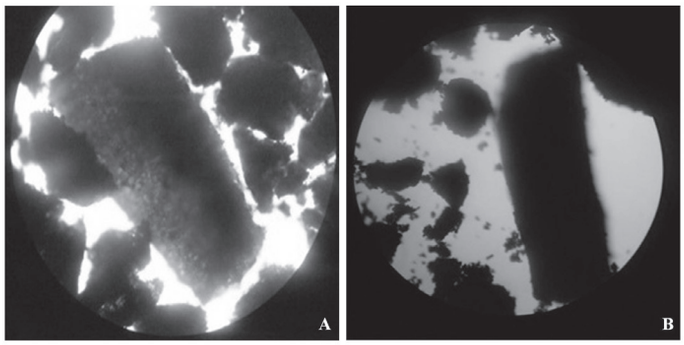

FIGURA 6 - Imagem de fragmentos de madeiras nas marcas H(A) e N(B).

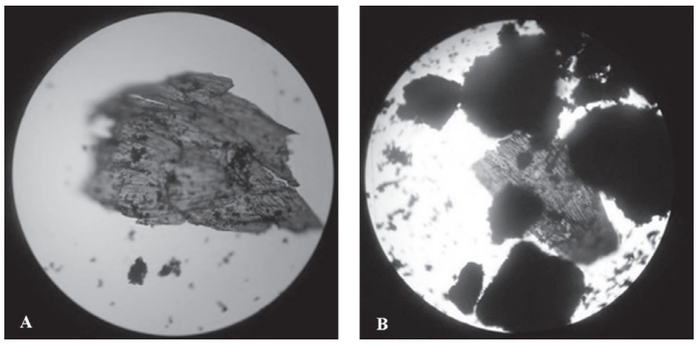

FIGURA 7 - Imagem de fragmentos de cascas nas marcas L(A) e I(B).

4 CONCLUSÃO

O café Gourmet, ao apresentar resultado significativamente diferente dos demais para as análises físico-químicas, caracteriza-se como um produto de melhor qualidade.

Quatro marcas de cafés apresentam elevado teor de cinzas e impurezas, o que pode sugerir uma adição intencional de compostos estranhos ao café.

5 REFERÊNCIAS

AMBONI, R. D. M. C.; FRANCISCO, A. D.; TEIXEIRA, E. Utilização de microscopia eletrônica de varredura para detecção de fraudes em café torrado e moído. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 311-313, 1999.

ASSAD, E. D. et al. Identificação de impurezas e misturas em pó de café por meio de comportamento espectral e análise de imagens digitais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 211-216, fev. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Anos 80: liberdade de preços e combate à fraude. **Jornal do Café**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 138, p. 8-9, 2003.

BICHO, N. C. et al. Use of colour parameters for roasted coffee assessment. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 436-442, 2012.

BRASIL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Resolução SAA nº 19, de 5 de abril de 2010. Norma de padrões mínimos de qualidade para café torrado em grão e torrado e moído - característica: café Tradicional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 120, p. 26, 2010.

BRASIL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Resolução SAA nº 31, de 22 de junho de 2007. Norma de padrões mínimos de qualidade para café torrado em grão e torrado e moído - Característica: Café Gourmet. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 117, p. 24, 2007.

CONTI, M. C. M. D. et al. Características físicas e químicas de cafés torrados e moídos exóticos e convencionais. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 161-172, 2013.

FAGIOLI, M. Que café nós bebemos. **Interural - Revista do Agronegócio**, Uberlândia, v. 38, n. 8, p. 24-25, 2010.

FERNANDES, S. M. et al. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, set./out. 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008. 1020 p.

LICCIARDI, R. et al. Avaliação físico-química de cafés torrados e moídos, de diferentes marcas comerciais, da região sul de Minas Gerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 425-429, 2005.

LÓPEZ-GALILEA, I.; PAZ DE PEŇA, I.; CID, C. Correlation of selected constituents with the total antioxidant capacity of coffee beverages: influence of the brewingprocedure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 15, p. 6110-6117, 2007.

MATOS, E. C. et al. **Atlas de microscopia:** café torrado e moído (*Coffea sp*.). Belo Horizonte: FUNED, 2012. 48 p.

MATULOVÁ, M. et al. Structure of arabinogalactan oligosaccharides derived from arabinogalactan-protein of *Coffea arabica* instant coffee powder. Carbohydrate Research, Amsterdam, v. 346, n. 8, p. 1029-1036, 2011.

MELO, W. L. B. **O medidor fototérmico de impureza de café em pó**. São Carlos: EMBRAPA, 2003. (Circular Técnica, 20).

MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 637-641, 2005.

MORAIS, S. A. L. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café conilon submetido a diferentes graus de torra. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 327-331, 2009.

MOURA, S. C. S. R. et al. Avaliação física, química e sensoriais de *blends* de café arábica com café *Canephora* (robusta). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 4, p. 271-277, 2007a.

_____. Influência dos parâmetros de torração nas características físicas, químicas e sensoriais do café arábica puro. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 17-25, 2007b.

RIBEIRO, B. B. et al. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.

SCHOLZ, M. B. S. et al. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica*L.) do IAPAR. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 245-255, 2011.

VAAST, P. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of Science Food and Agriculture**, Sussex, v. 86, n. 1, p. 197-204, 2006.

OPÇÃO DE CULTIVO INTERCALAR DE CAFEEIRO IRRIGADO COM MILHO E FEIJÃO NO SEMIÁRIDO MINEIRO

Vânia Aparecida Silva[1], Allan Teixeira Pasqualotto[2], Fabrício Teixeira Andrade[3], Luiz Antonio Lima[4], Gladyston Rodrigues Carvalho[5], Ramiro Machado Rezende[6]

(Recebido: 03 de dezembro de 2015; aceito: 07 de abril de 2016)

RESUMO: Objetivou-se indicar uma opção de cultivo intercalar de cafeeiro irrigado por aspersão com milho e feijão. Durante os três primeiros semestres após o plantio, o cafeeiro foi cultivado com diferentes sistemas intercalares: duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas de feijão; uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas de feijão e uma safra de três linhas de milho intercaladas com duas linhas de feijão; duas safras de duas linhas de milho; duas safras de quatro linhas de feijão; duas safras de seis linhas de feijão e cafeeiro em monocultivo. O ensaio foi conduzido em blocos ao acaso, com quatro repetições. A produtividade do cafeeiro em monocultivo foi de 47 sc.ha^{-1}. Os sistemas intercalares que utilizaram três linhas de milho apresentam produtividades médias de milho de 13,73 ton.ha^{-1}e foram prejudiciais ao cafeeiro, cuja produtividade foi 14, 38 sc.ha^{-1}. No sistema com duas safras de duas linhas de milho, a produtividade do milho foi de 8,36 ton.ha^{-1} e do cafeeiro 32 sc.ha^{-1}. Nos sistemas intercalares com duas safras de quatro linhas de feijão e duas safras de seis linhas de feijão, as produtividades do feijão alcançaram 1720 e 2210 kg.ha^{-1}, respectivamente, e não interferiram na produtividade dos cafeeiros (média de 47 sc.ha^{-1}). Os sistemas intercalares apresentam retornos econômicos positivos. O sistema intercalar com duas safras de seis linhas de feijão é a opção técnica e econômica indicada para formação do cafeeiro irrigado por aspersão no semiárido de Minas Gerais.

Termos para a indexação: *Coffea arabica,* desenvolvimento vegetativo, produtividade, indicadores econômicos.

OPTION OF INTERCROPPING FOR IRRIGATED COFFEE WITH CORN AND BEANS IN THE SEMIARID REGION OF MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT: *The objective was to appoint an intercropping option for the cultivation of sprinkler irrigated coffee crops with corn and beans. During the first three semesters after its planting, the cropping coffee was carried out with different intercropping systems: two corn crops planted in 3 rows and one crop of 4 rows of dry beans; one crop of corn in 3 rows followed by one crop of dry beans in 6 rows and one crop of corn in 3 rows together with 2 rows of beans; two crops of corn planted in 2 rows only; 2 crops of 4 rows of beans; 2 crops of 6 lines of dry beans; coffee only. Randomized blocks with four replicates was used. Coffee yield without corn or beans was 47 bags of 60 kg ha^{-1}. The intercropped systems that used three lines of maize resulted in high corn yield of 13.73 Mg.ha^{-1} but it was harmful to growth and coffee yield; the system that used two lines of maize produced 8.36 Mg.ha^{-1} of corn and 32 bags of coffee per hectare. The intercropped system with 2 crops of 4 rows of beans; 2 crops of 6 lines of dry beans didn´t affect coffee development and yield and produced 1.72 and 2.21 Mg.ha^{-1} of beans. The intercrops had positive economic return. The intercropped system with two crops of six lines of beans is the technical and economical option suitable for the formation of sprinkler irrigated coffee crop in the semiarid region of Minas Gerais, Brazil.*

Index terms: *Coffea arabica, vegetative growth, yield, economic indicators.*

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos mais importantes produtos agrícolas comercializados e o Brasil é o maior produtor e exportador mundial (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC, 2015). Minas Gerais responde por 50 % da produção nacional de café arábica, sendo que a cafeicultura encontra-se distribuída em 58 % dos municípios do Estado, localizados principalmente no sul de Minas, no Cerrado, na Zona da Mata e no Norte de Minas/Jequitinhonha/Mucuri (COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB, 2015a).

O norte de Minas tem sido considerado nova fronteira da cafeicultura irrigada, pois o cafeeiro tem apresentado altas produtividades na região (SILVA et al., 2013). Contudo, apresenta altos custos de implantação dos sistemas de irrigação e também despesas de manutenção e manejo associados com mão de obra, água e energia (SILVA et al., 2012). Neste contexto, é

[1,5] Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG/URESM - Campus UFLA - Cx. P. 176 – 37.200-000 - Lavras - MG vania.silva@epamig.ufla.br, carvalho@epamig.ufla.br
[2,6] Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG- Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG pasqualotto.allan@gmail.com, ramiromr@globo.com
[3,4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia Agrícola/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG fabricio.andrade@rehagro.com.br, lalima@deg.ufla.br

essencial que a aplicação dos recursos ambientais e da mão de obra seja eficiente, principalmente, pela agricultura familiar, que normalmente apresenta poucos recursos financeiros e humanos disponíveis.

A irrigação na fase de formação do cafeeiro não tem retorno econômico, portanto o plantio de culturas intercalares é uma estratégia para diversificar, gerar renda e melhorar o aproveitamento dos recursos naturais. Ressalta-se que, na fase de formação do cafeeiro, a análise do desempenho técnico e econômico dos sistemas deve considerar a influência dos ciclos das culturas intercalares, de tal maneira que não prejudique o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro (SILVA et al., 2013).

No semiárido mineiro, o cultivo do milho e do feijão é realizado principalmente pelos agricultores familiares que procuram obter, de uma mesma área, vários produtos (SOUZA et al., 2014), podendo ser opções para o plantio intercalar com o cafeeiro. Nas principais regiões cafeeiras do Brasil, as pesquisas têm indicado o feijão como uma das melhores culturas para intercalação com os cafeeiros novos, por ser menos competitiva, de ciclo curto, semeada em diferentes épocas do ano, um dos alimentos básicos da família e por, frequentemente, alcançar bons preços no mercado (CARVALHO; ANDRADE; GUIMARÃES, 2010).

O milho é uma cultura intercalar utilizada em cafezais em formação, com o objetivo, inclusive, de promover o sombreamento inicial de cafeeiros, melhorando o desenvolvimento das plantas (MATIELLO et al., 2009). Além disso, os grãos colhidos são usados para o próprio consumo das famílias ou para alimentar pequenas criações de animais nas propriedades. O milho se enquadra como uma das alternativas para este sistema, por possuir características benéficas de reciclagem de nutrientes, produzir grande quantidade de material seco, que será deixado na superfície do solo após a colheita, favorecendo o efeito supressor às plantas daninhas e evitando a erosão. Entretanto, relatos de agricultores têm evidenciado prejuízos ao plantio de mudas de café em áreas em que existiu a cultura do milho em anos anteriores, observando efeitos negativos sobre as mudas.

Considerando que não há informações técnicas e econômicas sobre o cultivo intercalar de milho e feijão com o cafeeiro irrigado no semiárido mineiro, objetivou-se identificar entre alguns sistemas intercalares de milho e feijão, aquele que não compromete o crescimento e a produtividade do cafeeiro e possui melhor resultado econômico, podendo ser indicado como uma opção de cultivo intercalar ao cafeeiro irrigado por aspersão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, no Campo Experimental de Mocambinho localizado no norte de Minas Gerais (15°05'S e 44°00'W, a 452 m de altitude). Segundo dados obtidos na Estação Agroclimática de Mocambinho, a precipitação média anual foi de 750 mm, concentrada de novembro a março. As médias da temperatura anual e da umidade relativa foram 28ºC e 48%, respectivamente.

A cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 foi implantada em janeiro de 2010, no espaçamento 3,5 x 0,6 m. Os sistemas intercalares ao cafeeiro com milho e feijão (Tabela1) foram adotados de acordo com sugestões de produtores, tendo como base a disponibilidade de sementes e melhor época de plantio na região. O espaçamento utilizado para o milho 'BR 207' foi de 1,0 x 0,2 m e para o feijão 'Carioca' precoce, de 0,5 x 0,1 m. O sistema de irrigação empregado foi por aspersão convencional, com aspersores do modelo LowFlow. Com 24 mca de pressão, o aspersor aplicava 850 l/h, com raio de alcance de 10,8m. Os aspersores foram espaçados de 12m x 14m, com uma taxa de aplicação de água de 5,05 mm/h.

A irrigação foi feita de modo a repor a evapotranspiração do cafeeiro. Considerando a baixa capacidade de armazenamento de água dos solos do Jaíba, decidiu-se por dimensionar um sistema de irrigação que possibilitasse adotar a frequência diária, isto é, irrigar todos os dias, se necessário. Para a fase inicial, o valor de Kc adotado foi de 0,70 e a eficiência de aplicação do sistema de 80% (Ea = 0,80), devido aos ventos e altas temperaturas. Assim, a lâmina bruta foi calculada pela seguinte expressão:

$$LB\left(\frac{mm}{dia}\right) = Kc\,\frac{ETo}{Ea}$$

Onde ETo refere-se à evapotranspiração de referência, fornecida pela estação climatológica automática VantageProPlus, instalada na fazenda da Estação Experimental de Mocambinho (EPAMIG). Assim, o tempo de irrigação foi calculado como:

$$ti\ (min.) = 60\ \frac{LB}{5{,}05}$$

Onde 5,05 é a taxa de aplicação do sistema em mm/h.

As amostras de solos foram coletadas na área do Campo Experimental de Mocambinho e analisadas no Laboratório de Análise de Solo, na Unidade Regional da Epamig em Janaúba- MG. Utilizou-se o resultado dessa análise de solos para realização da adubação manual do cafeeiro e das culturas intercalares (Camada de 0 -20 cm: pH= 6,3; MO =7 g.kg^{-1}; P=4,3 mg.dm^{-3}; K=35 mg.dm^{-3}; Na=1 mmolc.dm^{-3}; Ca=18 mmolc. dm^{-3}; Mg= 2 mmolc.dm^{-3}; Al=0,0 mmolc.dm^{-3}; H+Al=12 mmolc.dm^{-3} ; SB = 22 mmolc.dm^{-3}; t =22 mmolc.dm^{-3}; T =34 mmolc.dm^{-3} ; V =66%; m = 0 ; B=0,3 mg.dm^{-3}; Cu=1,7 mg.dm^{-3}; Fe= 9,8 mg.dm^{-3}; Mn=31,8 mg.dm^{-3}; Zn=3,2 mg.dm^{-3}; CE 0,3 dS.m^{-1}; Areia =86% ; Silte= 12% e argila =2%. Camada de 20-40 cm: (pH= 6,4; MO = 3 g.kg^{-1}; P=3,4 mg.dm^{-3};K=37 mg.dm^{-3}; Na= 2 mmolc.dm^{-3}; Ca=20 mmolc.dm^{-3}; Mg=2 mmolc. dm^{-3}; Al=0,0 mmolc.dm^{-3}; H+Al=10 mmolc.dm^{-3}; SB = 25 mmolc.dm^{-3}; t =25 mmolc.dm^{-3}; T =36 mmolc.dm^{-3} ; V =71%; m = 0 ; B=0,3 mg.dm^{-3}; Cu=1,0 mg.dm^{-3}; Fe=18,7 mg.dm^{-3}; Mn=20,7 mg.dm^{-3}; Zn=4,1 mg.dm^{-3}; CE 0,2 dS.m^{-1}; Areia =81% ; Silte= 8% e argila =11%). As adubações do cafeeiro foram feitas de acordo Guimarães e Reis (2010). Para as culturas do milho e feijão, os tratos culturais e fitossanitários foram aqueles normalmente recomendados às culturas para a região, obtidos na EPAMIG, Campo Experimental de Mocambinho. Para recomendação de adubação, utilizaram-se as interpretações da análise de solo descritas em Alves, Guimarães e Alvarez (1999) e Chagas et al. (1999). O controle de plantas daninhas foi realizada com capinas manuais, enquanto as culturas estavam consorciadas. Após a retirada das culturas consorciadas (milho e feijão), utilizou-se o controle químico e mecânico de plantas daninhas nas linhas e entrelinhas do cafeeiro, respectivamente. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições e dez plantas úteis por parcela.

As medições de diâmetro do caule, altura da planta, número de ramos plagiotrópicos, comprimento do primeiro ramo plagiotrópico e número de entrenós do primeiro ramo plagiotrópico foram realizadas um ano após o plantio do cafeeiro. Dados de produção do cafeeiro foram obtidos aos 28 meses após o plantio, por meio de análise de produtividade em sacas de 60 kg ha ano^{-1}, renda (%), uniformidade de maturação (%), percentagem de frutos chochos e classificação quanto à peneira (BRASIL, 2003).

TABELA 1 - Sistemas intercalares das culturas milho e feijão, em três períodos (2010/1, 2010/2 e 2011/1),com respectivos meses de plantio e colheita.

Sistemas intercalares	Descrição dos sistemas intercalares	Mês de plantio e colheita
3M-4F-3M	Período 1 : três linhas de milho Período 2: quatro linhas de feijão Período 3: três linhas de milho	Fevereiro-maio Junho – agosto Fevereiro-junho
3M-6F-3M2F	Período 1: três linhas de milho Período 2: seis linhas de feijão Período 3: três linhas de milho e duas de feijão	Fevereiro – maio Junho – agosto Fevereiro-junho
2M-MN-2M	Período 1: duas linhas de milho Período 2: monocultivo Período 3: duas linhas de milho	Fevereiro-maio Fevereiro-junho
MN-4F-4F	Período 1: monocultivo Período 2: quatro linhas feijão Período 3: quatro linhas de feijão	 Junho –agosto Fevereiro-junho
MN-6F-6F	Período 1: monocultivo Período 2: seis linhas feijão Período 3: seis linhas de feijão	 Junho –agosto Fevereiro-junho
MN-MN-MN	Período 1: monocultivo Período 2: monocultivo Período 3: monocultivo	

As avaliações de produtividade do milho (ton.ha^{-1}) e do feijão (kg.ha^{-1}) foram realizadas em cada safra.

Para a análise estatística, verificou-se, inicialmente, se os dados das variáveis analisadas atendiam às pressuposições básicas de normalidade e homocedasticidade. Uma vez atendidos estes parâmetros, os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Skott-Knott, a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2011).

Na análise econômica foram considerados quatro períodos sendo: período 1 (2010/1); período 2 (2010/2); período 3 (2011/1) e período 4 (2011/2 e 2012/1). Os custos com encargos trabalhistas e o investimento com a propriedade não foram analisados, pois se considerou que há disponibilidade da terra e o uso de mão de obra familiar. Os indicadores de viabilidade econômica utilizados foram o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), conforme metodologia descrita por Silva et al. (2012). A elaboração desses indicadores se estruturou nos fluxos de caixa dos projetos, nesse caso, os sistemas intercalares. Os fluxos de caixa compreendem as receitas e as despesas a partir de 2010, quando o café foi plantado e o sistema de irrigação foi montado. No primeiro período (2010/1), ocorreram apenas despesas em razão da implantação do café, milho, feijão e do investimento em irrigação. Nos período 2 (2010/2) e 3 (2011/1), as receitas foram oriundas do milho e feijão, as despesas, ao plantio e aos tratos culturais das três culturas. No período 4 (2011/2 e 2012/1), as receitas e as despesas corresponderam apenas à cultura do café, pois essa produziu sua primeira safra. As receitas da cultura do café foram calculadas pela multiplicação entre a produtividade e a média dos preços diários do café tipo 6, bebida dura em 2012, coletados pelo Centro de Estudos em Economia Aplicada (CEPEA/USP). Assim, para cada tratamento e em cada período se calculou um saldo de caixa. Os resultados foram relativos ao cultivo de um hectare e os coeficientes técnicos para o milho, feijão e café foram descritos nas Tabelas 2 e 3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas intercalares que utilizaram três linhas de milho foram prejudiciais ao desenvolvimento inicial do cafeeiro (Tabela 4). Consequentemente, teve efeitos negativos sobre a produtividade e rendimento do cafeeiro, sendo que no sistema com duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas de feijão, a produtividade do cafeeiro foi de 19,75 sc.ha^{-1}. Considerando o sistema com uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas feijão e uma safra de três linhas de milho intercalada com duas de feijão, a produtividade foi de 9,00 sc.ha^{-1}, o que representa uma redução de, aproximadamente, 80%, em relação ao monocultivo. As reduções do crescimento e da produtividade do cafeeiro podem ser resultantes da concorrência com o milho na fase de formação do cafeeiro. O milho é uma cultura de porte alto, com grande acúmulo de biomassa e capacidade de competição por espaço (CARVALHO et al., 2011). Outro ponto importante é que a lâmina de água da irrigação foi aplicada para repor a evapotranspiração somente do cafeeiro, portanto a competição por água pode ter contribuído também para a redução do crescimento e, consequentemente, menor produtividade do cafeeiro. Ressalta-se que a concorrência por nutrientes foi minimizada, pois as adubações foram realizadas manualmente, sendo que cada cultura foi adubada de acordo com suas necessidades nutricionais.

Evidencia-se que o cultivo de três linhas de milho, mesmo seguidas do plantio de feijão, é prejudicial à produtividade devido à redução do crescimento do cafeeiro. Porém, ressalta-se que, apesar da primeira produtividade desses sistemas ter sido baixa, essa foi semelhante a valores de primeiras produções de cafeeiro cultivados em sistema de sequeiro, em outras regiões de Minas Gerais (CARVALHO et al., 2012). Além disso, a porcentagem de peneira alta foi maior em relação ao monocultivo, o que o pode ser atribuído ao menor número de frutos e, consequentemente, maior força dreno de frutos individuais, o que resulta em maior enchimento dos grãos.

No sistema intercalar de duas safras de duas linhas de milho, apesar de não verificar efeitos negativos no crescimento do cafeeiro, a produtividade de 32 sc.ha^{-1} foi aproximadamente 30 % menor em relação ao monocultivo e aos sistemas intercalares de duas safras de quatro linhas de feijão e o de duas safras de seis linhas de feijão, que apresentaram média de 47 sc.ha^{-1}. O rendimento também foi menor, entretanto não diferiu quanto à peneira alta do monocultivo. Isso evidencia que, mesmo o cultivo de apenas duas linhas de milho teve reflexo negativo em longo prazo, uma vez que a primeira produtividade foi colhida um ano após a retirada da safra de milho. Neste contexto, a palhada do milho pode ter ocasionado efeitos alelopáticos sobre o cafeeiro devido ao aleloquímico benzoxazolinona, que é capaz de inibir a síntese de clorofila das plantas (FRANÇA et al., 2007).

TABELA 2 - Coeficientes técnicos e operações para implantação e manutenção de 1 ha de cafeeiro, em diferentes sistemas de cultivo intercalares com milho e feijão, do plantio até a primeira produção, em Mocambinho, MG.

Insumos	Sistemas intercalares[1]					
	3M-4F-3M	3M-6F-3M2F	2M-MN-2M	MN-4F-4F	MN-6F-6F	MN-MN-MN
Mudas (unidade)	5238	5238	5238	5238	5238	5238
Adubo orgânico (m³)	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71
Calcário dolomítico (Sc)	4	4	4	4	4	4
Superfosfato simples (kg)	755	755	755	755	755	755
Fórmula 20-05-20 (kg)	238,1	238,1	238,1	238,1	237,1	238,1
Fórmula 20-00-20 (kg)	334	334	334	334	334	334
Sulfato de amônio (kg)	4286	4286	4286	4286	4286	4286
Cloreto de potássio (kg)	1714,4	1714,4	1714,4	1714,4	1714,4	1714,4
Sulfato de zinco (kg)	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
Oxicloreto de cobre (kg)	1	1	1	1	1	1
Inseticida/ Acaricida (kg)	3	3	3	3	3	3
Fungicida (kg)	3	3	3	3	3	3
Ácido fosfórico (L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Espalhante adesivo (L)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Glifosato (L)	2	2	2	2	2	2
Mão de obra no preparo de solo, adubação e plantio						
Gradagem pesada (hM)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Nivelação (hM)	1	1	1	1	1	1
Sulcação (hM)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Plantio (Hd)	25	25	25	25	25	25
Coveamento (Hd)	2	2	2	2	2	2
Marcação da área (Hd)	2	2	2	2	2	2
Adubação de plantio (Hd)	5	5	5	5	5	5
Replantio (Hd)	3	3	3	3	3	3
Mão de obra nos tratos culturais e fitossanitários						
Adubação manual (Hd)	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
Aplicação de esterco (Hd)	1	1	1	1	1	2
Aplicação manual de defensivo (Hd)	14	14	14	14	14	14
Capina manual (Hd)	13	11	31	32	15	68
Capina mecânica (hM)	2	2	2	2	2	2
Capina química (Hd)	2	2	2	2	2	2
Colheita, secagem, beneficiamento (Hd)	58	26	94	137	137	137
Irrigação						

Consumo de energia elétrica (kWh)	4712	4712	4712	4712	4712	4712
Mão de obra (Hd)	32	32	32	32	32	32
Água (1000 m³)	36	36	36	36	36	36

(1) 3M-4F-3M: Sistema intercalar de duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas de feijão; 3M-6F-3M2F: Sistema intercalar de uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas de feijão e uma safra de três linhas de milho intercalada com duas de feijão; 2M-MN-2M: Sistema intercalar de duas safras de duas linhas de milho; MN-4F-4F: Sistema intercalar de duas safras de quatro linhas de feijão; MN-6F-6F: Sistema intercalar de duas safras de seis linhas de feijão; MN-MN-MN: Cafeeiro em monocultivo; Hd, dia homem. hM, hora máquina

TABELA 3 - Coeficientes técnicos e operações para implantação e manutenção de 1 ha de milho e feijão em diferentes sistemas intercalares ao cafeeiro (uma safra).

Milho		
Insumos	2 linhas de milho	3 linhas de milho
Sementes de milho (kg)	12,42	18,63
4-30-10 (kg)	270	405
Sulfato de amônia (kg)	54	81
Cloreto de potássio (kg)	27	40,5
Sulfato de magnésio (kg)	27	40,5
Sulfato de zinco (kg)	5,4	8,1
Uréia (kg)	27	40,5
Thiamethoxam (kg)	0,03	0,05
Clorpirifós (L)	0,16	0,24
Sacaria de nylon (unidade)	137	205
Mão de obra no preparo de solo, adubação e plantio		
Gradagem (hM)	1	1,5
Adubação, marcação, plantio (Hd)	2	3
Mão de obra nos tratos culturais e fitossanitários		
Adubação de cobertura (Hd)	1,2	1,8
Pulverizações pragas e doenças (Hd)	6	8
Capinas (Hd)	12	16
Colheita/classificação/acondicionamento (Hd)	5,4	8,1
Feijão		
Insumos	4 linhas de feijão	6 linhas de feijão
Sementes de feijão (kg)	40	60
Carbendanzin (L)	0,12	0,18
Pencicurom (kg)	0,12	0,18
Imidacloprido (600g/L)(L)	0,1	0,15
4-30-10 (kg)	156	235
Sulfato de amônia (kg)	52,13	78,2
Cloreto de potássio (kg)	33,2	47,8

Sulfato de magnésio (kg)	27,6	41,5
Sulfato de zinco (kg)	11,7	17,44
Sulfato de cobre (kg)	2	3
Ácido bórico (kg)	5,21	7,82
Uréia (kg)	42,9	64,36
Thiamethoxam (kg)	0,05	0,08
Imidacloprido (200g/L)	0,42	0,63
Imidacloprida- ciflutrina (kg)	0,1	0,16
Tiofanato metílico-clorotalonil (kg)	0,78	1,17
Molibdato de sódio (kg)	0,16	0,24
Cal (kg)	3	4,5
Sacaria (unidade)	43	43
Mão de obra no preparo de solo, adubação e plantio		
Gradagem (hM)	1,4	2
Adubação,marcação, plantio (Hd)	3	5
Mão de obra nos tratos culturais e fitossanitários		
Tratamento das sementes (Hd)	0,11	0,11
Adubação de cobertura (Hd)	1,5	2
Pulverizações pragas e doenças (Hd)	6	9
Capinas (Hd)	10	15
Colheita (Hd)	6	8
Secagem (Hd)	1	1
Trilha (hM)	3	4
Transporte (hM)	1,5	2

TABELA 4 - Diâmetro de Caule (DC), Altura de Planta (AP), Número de ramos plagiotrópicos (NP), Comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CPRP), Número de entrenós do primeiro ramo plagiotrópico (NEPRP), produtividade média (sacas de café beneficiado ha^{-1} no ano de 2012), percentual de rendimento, percentual de grãos peneira 17 acima, percentual de grãos chochos de cafeeiros com diferentes sistemas intercalares de milho e feijão.

Sistema Intercalar[1]	DC	AP	NP	CPRP	NEPRP
3M-4F-3M	1,90 b	79,46 b	31,34 b	42,84 b	16,00 b
3M-6F-3M2F	1,73 b	72,68 b	25,29 c	34,00 b	14,25 b
2M-MN-2M	2,54 a	90,36 a	35,48 a	53,28 a	18,00 a
MN-4F-4F	2,61 a	98,46 a	37,98 a	51,69 a	17,50 a
MN-6F-6F	2,84 a	103,73 a	39,81 a	54,30 a	19,00 a
MN	2,65 a	92,25 a	34,73 a	58,58 a	19,00 a
Média	2,38	89,49	34,11	49,12	17,29
CV (%)	9,06	9,41	11,43	12,62	9,32

Sistema Intercalar	Sacas benef. ha^{-1}	Rendimento (%)	Peneira 17 acima (%)	Chochos (%)
3M-4F-3M	19,75 c	47,25 c	50,00 a	8,00 a
3M-6F-3M2F	9,00 c	45,25 c	48,50 a	12,00 a
2M-MN-2M	32,00 b	50,75 b	35,50 b	8,00 a
MN-4F-4F	47,00 a	54,00 a	46,00 a	8,00 a
MN-6F-6F	46,50 a	53,25 a	45,50 a	7,00 a
MN	47,00 a	54,50 a	40,50 b	14,00 a
Média	33,54	50,83	44,33	9,50
CV (%)	23,42	3,36	14,12	47,02

(1)3M-4F-3M: Sistema intercalar de duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas feijão; 3M-6F-3M2F: Sistema intercalar de uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas feijão e uma safra de três linhas de milho intercalada com duas de feijão; 2M-MN-2M: Sistema intercalar de duas safras de duas linhas de milho; MN-4F-4F: Sistema intercalar de duas safras

Os sistemas intercalares de duas safras de quatro linhas de feijão e o de duas safras de seis linhas de feijão não interferiram no crescimento, na primeira produtividade e no rendimento do médio do café, quando comparados ao monocultivo. Nesses casos, a lâmina de irrigação foi aplicada também para atender à demanda evapotranspiratória do cafeeiro e, aproveitada para irrigar o feijoeiro. Isso indica uma baixa competividade de quatro e seis linhas de feijão por água, no espaçamento utilizado de 3,5 m na entrelinha do cafeeiro. As adubações foram manuais e realizadas para cada cultura, pois segundo Carvalho et al. (2008), a ausência de adubação da leguminosa provoca maior mortalidade de plantas de café (Coffea arabicaL.) à medida que se aumenta o número de linhas intercalares de feijoeiro. A porcentagem de peneira alta também foi maior em relação ao monocultivo, porém como não diferiu em produtividade, observa-se que ,quando se cultivou o feijão nas entrelinhas, houve efeito benéfico que resultou em um incremento no enchimento dos grãos. Assim, o melhor desempenho técnico desses sistemas pode ser justificado em função do menor porte do feijão, aliado ao fato de ser uma leguminosa com capacidade de fixação biológica de N (PAULINO et al., 2009).

Não foram detectadas diferenças significativas entre os sistemas de cultivo intercalar, quanto à percentagem de frutos chochos. De maneira geral, observou-se baixa ocorrência de chochos, com uma média de 9,5%, apresentando, portanto, percentual médio dentro dos limites de classificação para frutos bem granados (CARVALHO et al., 2013).

Na análise de produtividade das culturas intercalares, no primeiro e terceiro períodos, verificou-se que não houve diferença entre os diferentes sistemas intercalares que empregaram três linhas de milho, entretanto, a produtividade de três linhas de milho foi maior do que duas linhas de milho, em função da maior densidade de plantas (Tabela 5).

No segundo período, houve colheita de feijão, sendo que a produtividade nos sistemas intercalares de seis linhas superou a produtividade dos sistemas de quatro linhas de feijão, pois o incremento de números de linhas intercalares eleva o rendimento de grãos da leguminosa (CARVALHO; ANDRADE; GUIMARÃES, 2007). Ressalta-se que a produtividade do feijão em uma área cultivada com três linhas de milho anteriormente não diferiu da produtividade do feijão cultivado em uma área onde não havia sido cultivado milho antes.

Já no terceiro período, a produtividade de quatro linhas de feijão não diferiu da produtividade de seis linhas de feijão. Além disso, o cultivo do feijão entre as linhas de milho apresentou produtividade muito baixa. Este resultado pode ser explicado pela competição do milho com o feijão, uma vez que a primeira, sendo uma planta C4, apresenta uma alta vantagem competitiva com o feijão (C3) (SANTOS; ORIVALDO; KOMURO, 2010). Contudo, de maneira geral, os valores de produtividade do feijão obtidos neste estudo foram superiores, quando comparados à média brasileira de 1,0 t ha^{-1} (primeira safra) e 1,5 t ha^{-1} (segunda safra). Os valores observados de produtividade do milho também estavam acima da média de 4,67 t ha^{-1} registrada para o Brasil nos últimos cinco anos, em todos os sistemas intercalares em que foi utilizado o milho (CONAB, 2015b).

TABELA 5 - Produtividade das safras de milho e feijão nos diferentes sistemas intercalares com o cafeeiro, em Mocambinho, MG.

Sistema Intercalar[1]	Período1	Período 2	Período 3	
	Milho (ton/ha)	Feijão (kg/ha)	Milho (ton/ha)	Feijão (kg/ha)
3M-4F-3M	12,30 a	1431,11b	14,75 a	-
3M-6F-3M2F	12,63 a	2594,02 a	15,25 a	176,25b
2M-MN-2M	8,21 b	-	8,50 b	-
MN-4F-4F	-	1360,67 b	-	2080,50 a
MN-6F-6F	-	2473,77 a	-	1946,50 a
MN	-	-	-	-
CV (%)	3,98	6,04	11,4	5,64

(1)3M-4F-3M: Sistema intercalar de duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas feijão; 3M-6F-3M2F: Sistema intercalar de uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas feijão e uma safra de três linhas de milho intercalada com duas de feijão; 2M-MN-2M: Sistema intercalar de duas safras de duas linhas de milho; MN-4F-4F: Sistema intercalar de duas safras de quatro linhas de feijão; MN-6F-6F: Sistema intercalar de duas safras de seis linhas de feijão; MN-MN-MN: Cafeeiro em monocultivo

*Médias seguidas por diferentes letras nas colunas diferem significativamente pelo teste Skott-Knott , a 5% de probabilidade

Considerando a análise econômica, para o cálculo das receitas auferidas com a primeira produção do café, utilizou-se a média aritmética das produtividades para os sistemas intercalares que apresentaram produtividades estatisticamente iguais. O monocultivo de café apresentou valor presente líquido negativo (-R$7.468) (Tabela 6). Esse resultado é compatível com a situação de monocultivo em primeira colheita, visto que há apenas um período de geração de receitas (primeira produção).

O saldo desse período foi positivo (R$7.860), mas inferior ao saldo negativo acumulado nos períodos anteriores. Assim não há VPL positivo e também não se gera TIR. Os sistemas intercalares geraram saldos de caixa positivos isoladamente, mas não foram suficientes para cobrir os investimentos com a implantação do café, em todos os sistemas. Apenas no sistema intercalar de duas safras de seis linhas de feijão é que o saldo acumulado total foi positivo. Esse resultado foi propiciado, devido a dois fatores: maior receita com a produção da cultura intercalar, no caso o feijão, e pela maior produtividade do café. Os saldos de caixa acumulados dos sistemas intercalares foram –R$8.208, (duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas feijão), -R$5.470 (uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas feijão e uma safra de três linhas de milho intercaladas com duas de feijão), -R$6.753 (duas safras de duas linhas de milho), -R$1.237 (duas safras de quatro linhas de feijão), R$4.238 (duas safras de seis linhas de feijão) e -R$6.496 (Cafeeiro em monocultivo).

O sistema intercalar do cafeeiro, com duas safras de seis linhas de feijão que propiciou o melhor resultado econômico apresentou VPL de R$2.582 e TIR de 13%. Esse é um indicador positivo nessa situação, visto que o cultivo do café apresentou apenas uma safra e o cultivo intercalar propiciou que o investimento com a implantação da lavoura fosse recuperado e remunerado à uma taxa de 13% ao ano, como demonstrado pela TIR. Para fins de comparação, o TIR gerado com cultivo de três fileiras de abacaxi intercalar ao cafeeiro, no semiárido, foi menor com 2,26 % (SILVA et al., 2012). Pela perspectiva econômica, o objetivo do cultivo intercalar é contribuir com a recuperação do investimento com a implantação da lavoura de café. No entanto, isso não ocorreu em dois sistemas intercalares (duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas feijão e duas safras de duas linhas de milho), que apresentaram resultados econômicos inferiores, pois apresentaram saldos de caixa acumulados (-R$8.208 e -R$6.753, respectivamente), menores que o cafeeiro em monocultivo.

A causa básica da diferença desses resultados se deveu às maiores receitas auferidas nos sistemas com o cultivo intercalar de feijão.

TABELA 6 - Fluxo de caixa e indicadores de avaliação da viabilidade econômica de diferentes sistemas intercalares de milho e feijão [(1)] ao cafeeiro, em Mocambinho, MG. Valores expressos em reais (R$).

		Sistema intercalar 3M-4F-3M				Sistema intercalar 3M-6F-3M2F			
	Períodos	1	2	3	4	1	2	3	4
	Tratamento	3M	4F	3M	MN	3M	6F	3M-2F	MN
Café	Entrada	-	-	-	5.712,00	-	-	-	5.712,00
	Saída	13.343,98	-	-	11.315,61	13.343,98	-	-	11.315,61
	Saldo	-13.343,98	-	-	-5.603,61	-13.343,98	-	-	-5.603,61
	Saldo Acumulado	-13.343,98	-13.343,98	-13.343,98	-18.947,59	-13.343,98	-13.343,98	-13.343,98	-18.947,59
Intercalar	Entrada	6.000,00	4.293,00	6.000,00	-	6.000,00	7.770,00	6.000,00	-
	Saída	1.944,95	1.663,32	1.944,95	-	1.944,95	2.402,88	1.944,95	-
	Saldo	4.055,05	2.629,68	4.055,05	-	4.055,05	5.367,12	4.055,05	-
	Saldo Acumulado	4.055,05	6.684,74	10.739,78	10.739,78	4.055,05	9.422,17	13.477,22	13.477,22
Total	Saldo	-9.288,93	2.629,68	4.055,05	-5.603,61	-9.288,93	5.367,12	4.055,05	-5.603,61
	Saldo Acumulado	-9.288,93	-6.659,25	-2.604,20	-8.207,81	-9.288,93	-3.921,81	133,24	-5.470,37
	VPL[2]	-7.969,58				-5.350,02			
	TIR[3]	-				-			
		Sistema intercalar 2M-MN-2M				Sistema intercalar MN-4F-4F			
	Períodos	1	2	3	4	1	2	3	4
	Tratamento	2M	MN	2M	MN	MN	4F	4F	MN
Café	Entrada	-	-	-	13.056,00	-	-	-	19.176,00
	Saída	13.681,48	-	-	11.315,61	14.356,48	-	-	11.315,61
	Saldo	-13.68148	-	-	1.740,39	-14.356,48	-	-	7.860
	Saldo Acumulado	-13.681,48	-13.681,48	-13.681,48	-11.941,09	-14.356,48	-14.356,48	-14.356,48	-6.496,09
Intercalar	Entrada	3.940,80	-	3.940,80	-	-	4.293,00	4.293,00	-
	Saída	1.346,89	-	1.346,89	-	-	1.663,32	1.663,32	-
	Saldo	2.593,91	-	2.593,91	-	-	2.629,68	2.629,68	-
	Saldo Acumulado	2.593,91	2.593,91	5.187,82	5.187,82	-	2.629,68	5.259,36	5.259,36
Total	Saldo	-11.087,57	-	2.593,91	1.740,39	-14.356,48	2.629,68	2.629,68	7.860,39

	Saldo Acumulado	-11.087,57	-11.087,57	-8.493,66	-6.753,27	-14.356,48	-11.726,80	-9.097,12	-1.236,73
	VPL	-7.187,15				-2.543,93			
	TIR	-32%				-4%			
		Sistema intercalar MN-6F-6F				Sistema intercalar MN-MN-MN			
	Períodos	1	2	3	4	1	2	3	4
	Tratamento	MN	6F	6F	MN	MN	MN	MN	MN
Café	Entrada	-	-	-	19.176,00	-	-	-	19.176,00
	Saída	14.356,48	-	-	11.315,61	14.356,48	-	-	11.315,61
	Saldo	-14.356,48	-	-	7.860,39	-14.356,48	-	-	7.860,39
	Saldo Acumulado	-14.356,48	-14.356,48	-14.356,48	-6.496,09	-14.356,48	-14.356,48	-14.356,48	-6.496,09
Intercalar	Entrada	-	7.770,00	7.770,00	-	-	-	-	-
	Saída	-	2.402,88	2.402,88	-	-	-	-	-
	Saldo	-	5.367,12	5.367,12	-	-	-	-	-
	Saldo Acumulado	-	5.367,12	10.734,24	10.734,24	-	-	-	-
Total	Saldo	-14.356,48	5.367,12	5.367,12	7.860,39	-14.356,48	-	-	7.860,39
	Saldo Acumulado	-14.356,48	-8.989,36	-3.622,24	4.238,15	-14.356,48	-14.356,48	-14.356,48	-6.496,09
	VPL	2.582,39				- 7648,44			
	TIR	13%				18%			

(1)3M-4F-3M: Sistema intercalar de duas safras de três linhas de milho e uma de quatro linhas feijão; 3M-6F-3M2F: Sistema intercalar de uma safra de três linhas de milho, uma de seis linhas feijão e uma safra de três linhas de milho intercalada com duas de feijão; 2M-MN-2M: Sistema intercalar de duas safras de duas linhas de milho; MN-4F-4F: Sistema intercalar de duas safras de quatro linhas de feijão; MN-6F-6F: Sistema intercalar de duas safras de seis linhas de feijão; MN-MN-MN: Cafeeiro em monocultivo; (2)VPL, Valor presente líquido; (3) TIR , Taxa interna de retorno

Essa causa pode ser decomposta em dois motivos: 1) a produtividade dos cafeeiros nos tratamentos com cultivo intercalar de feijão foram maiores que as produtividades dos cafeeiros consorciados com milho, e estatisticamente iguais à do cafeeiro em monocultivo; 2) a um maior preço do feijão proporcionalmente ao do milho, nos períodos de comercialização desses produtos.

O sistema intercalar do cafeeiro com duas safras de seis linhas de feijão pode contribuir para minimizar o investimento inicial na irrigação, em obras e aquisição de equipamentos, além dos gastos adicionais com água, energia e mão de obra para operação do sistema de irrigação. Dessa forma, há a maximização da utilização dos recursos ambientais e da mão de obra. Além disso, representa alternativa para produção de grãos destinados ao consumo pela agricultura familiar e/ou fornecimento para a agroindústria local.

4 CONCLUSÃO

O sistema intercalar com duas safras de seis linhas de feijão é uma opção técnica e econômica indicada para formação do cafeeiro irrigado por aspersão no semiárido de Minas Gerais.

5 AGRADECIMENTOS

Ao MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA), por meio da Secretaria de Agricultura Familiar (SAF), ao MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT), por meio da Secretaria de Ciência e Tecnologia, para Inclusão Social (SECIS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (Consórcio Pesquisa Café), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT/CAFÉ), pelo suporte financeiro.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, V. M. C. et al. Milho. In: ALVES, V. M. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 314-317.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, de 11 de julho de 2003. Regula os procedimentos para apuração de infrações administrativas por condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, a imposição dassanções, a defesa ou impugnação, o sistema recursal e a cobrança de créditos de natureza tributária e não tributária para com esta Autarquia. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 ago. 2003. Seção 1, p. 22-29.

CARVALHO, A. J. de; ANDRADE, M. J. B. de; GUIMARÃES, R. J. de. Sistemas de produção de feijão intercalado com cafeeiro adensado em período de formação ou após recepa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 383-392, maio/jun. 2010.

_____. Sistemas de produção de feijão intercalado com cafeeiro adensado recém-plantado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 133-139, 2007.

CARVALHO, A. J. de et al. Desempenho técnico-econômico de sistemas de consórcio do feijoeiro-comum com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) adensado recém-plantado. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, p. 133-142, 2008.

CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agronômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 481-487, 2012.

CARVALHO, F. P. et al. Alocação de matéria seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 373-382, abr./jun. 2011.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies f4 de cafeeiros arábica, antes e após a poda tipo esqueletamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 33-42, jan./mar. 2013.

CHAGAS, J. M. et al. Feijão. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. (Ed.). In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em **Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 306-307.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015, primeiro levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_14_11_57_33_boletim_cafe_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2015.

_____. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras de grãos, 2010 a 2015 de milho e feijão**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 1 jun. 2015.

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

FRANÇA, A. C. et al. Efeito de restos culturais de milho no desenvolvimento inicial de cafeeiros. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 247-255, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (Ed.). **Café arábica:** do plantio à colheita. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 343-414.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de café**. Disponível em: <http://www.ico.org/>. Acesso em: 10 jan. 2015.

PAULINO, G. M. et al. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico de mangueira e gravioleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1598-1607, dez. 2009.

MATIELLO, J. B. et al. Proteção com sombra, no pós-plantio, favorecendo o desenvolvimento inicial de cafeeiros conillon em zona de altitude elevada, no Sul de Minas. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, Varginha, v. 5, n. 16, set./dez. 2009. Disponível em: <http:///fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/revista/Revista%2016_0.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

SANTOS, N. C. B. dos; ORIVALDO, A. R. F.; KOMURO, L. K. Consórcio de feijoeiro e milho-verde na entressafra II: comportamento das cultivares de milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 873-881, nov./dez. 2010.

SILVA, V. A. et al. Sistemas intercalares com abacaxizeiro como alternativa de renda durante a formação de cafezais irrigados. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1471-1479, out. 2012.

_____. Viabilidade técnica e econômica da cafeicultura consorciada com mamão no norte de minas gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 519-529, out./dez.2013.

SOUZA, H. A. et al. Níveis críticos para atributos do solo pela distribuição normal reduzida em culturas anuais de subsistência. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 425-430, abr. 2014.

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA DO CAFÉ

João Paulo Barreto Cunha[1], Fabio Moreira da Silva[2],
Rodrigo Elias Batista Almeida Dias[3], Cristiane Fernandes Lisboa[4], Tulio de Almeida Machado[5]

(Recebido: 23 de dezembro de 2015; aceito: 04 de abril de 2016)

RESUMO: Objetivou-se, no presente trabalho, analisar a viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de colheita em lavouras de café, localizadas na região Sul do estado de Minas Gerais. Na safra 2014, foram avaliados os parâmetros de desempenho operacional de três sistemas de colheita mecanizada do cafeeiro, como também suas produtividades e os custos operacionais, posteriormente comparados aos sistemas manual e semimecanizado. Com base nos resultados obtidos é possível afirmar que a colheita mecanizada do cafeeiro promove grandes reduções de custos e aumento da produtividade, em relação aos demais sistemas, demonstrando ser o mais viável economicamente. A declividade é um fator que influencia na produtividade dos sistemas mecanizados, e as máquinas que trabalham em áreas, nessas condições, têm reduzidas sua eficiência operacional e produtividade devido ao maior tempo desperdiçado na operação de colheita.

Termo para indexação: Eficiência operacional, tempos e movimentos, custos operacionais, mecanização agrícola.

ECONOMIC VIABILITY FOR DIFFERENT COFFEE HARVEST SYSTEMS

ABSTRACT: *This study was conducted to analyze the technical and economic viability for different coffee crops harvest systems, applied in Southern Minas Gerais, Brazil. In the harvest of 2014, the operational performance of three mechanic harvest systems for coffee trees were evaluated, as well as their productivity and operational costs, compared to manual and semi-mechanic systems. Based on data outcome, it is possible to assure that the mechanic harvest for coffee trees yields greater cost reduction and an increase in productivity in relation to other systems, and it is either economically viable. Soil declivity is an influencing factor on productivity for mechanic systems, and harvesters that work under such conditions suffer a decrease in operational efficiency and productivity, due to a higher demand of time during harvest.*

Index terms: *Operational efficiency, time and moves, operational costs, agricultural mechanization.*

1 INTRODUÇÃO

O uso da mecanização como ferramenta de produção, permite maior eficiência nas operações e proporciona a viabilidade das lavouras cafeeiras, que atualmente depende principalmente da redução dos custos. No caso específico da operação de colheita mecanizada, em relação à manual, podem proporcionar reduções de custo de até 67%, refletindo em maiores rendimentos para o produtor (SILVA et al., 2013; TAVARES et al., 2015).

De acordo com Oliveira et al. (2007), a colheita do café é a operação mais complexa e importante pois, o café é um dos produtos agrícolas que tem seu preço baseado em parâmetros qualitativos. Dentre os maiores benefícios da colheita mecanizada, a rapidez e eficiência da operação implicam numa maior qualidade do produto e redução de perdas no processo, diminuindo consideravelmente o custo de produção da saca de café (SILVA et al., 2006).

Atualmente, diferentes sistemas de colheita são empregados na cafeicultura, e sua adoção depende de inúmeros fatores, dentre eles o nível tecnológico do produtor, as características das plantas e a topografia das áreas. Dessa maneira, a colheita do café pode ser realizada de diferentes formas, sendo os três tipos principais: a colheita manual, a manual-mecânica ou semimecanizada, e a colheita mecanizada (SILVA, 2004).

Segundo Barbosa et al. (2005), o sistema de colheita mecanizada apresenta menor custo operacional, comparativamente ao sistema de colheita manual, para a cultura cafeeira. Dessa forma, a colheita mecanizada vem se tornando uma prática constante em decorrência dos benefícios diretos gerados pela redução de custos e, às vezes, pelo aumento da qualidade de bebida.

[1] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ - Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia - Rod. BR 465, km 7 - 23.890-000 - Seropédica - RJ- engbarretocunha@gmail.com
[2]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG famsilva@deg.ufla.br
[3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG rodrigoodias@hotmail.com
[4]Universidade Estadual de Goiás - Campus Anápolis - BR 153 n. 3.105 - Fazenda Barreiro do meio -75.132-400 - Anápolis - GO cflisboa.engenharia@hotmail.com
[5]Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos BR 153, km 633, Cx. P. 92 - 75.650-000 - Morrinhos - GO - machado.tulio@gmail.com

O planejamento operacional das atividades tem por objetivo estabelecer alternativas que propiciem o cumprimento das metas de produção determinadas por um planejamento global, por meio do conhecimento da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e equipamentos utilizados na colheita.

A decomposição das tarefas, por meio da determinação de de tempos de trabalho e ociosos permite permite obter informações sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas, sendo parâmetros de grande importância no gerenciamento de sistemas agrícolas mecanizados, auxiliando na tomada de decisões e visando a máxima eficiência dos sistemas (MOLIN et al., 2006).

Concomitante ao desempenho operacional dos conjuntos mecanizados, a determinação do custo de produção agrícola é uma importante ferramenta de controle e gerenciamento das atividades produtivas e de geração de informações para subsidiar as tomadas de decisões pelos produtores rurais.

Na determinação dos custos de produção, segundo Simões, Silva e Fenner (2011), o desempenho econômico de máquinas agrícolas é estimado pelos custos operacionais, os quais se dividem em custos fixos e custos variáveis. De acordo com Rocha et al. (2009), os custos fixos englobam a depreciação, juros sobre o capital investido além dos custos de seguro e alojamento, enquanto os custos variáveis, que são aqueles dependentes do uso do maquinário, são os custos com os combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenção e mão de obra.

A mecanização no processo de colheita do café é um processo relativamente novo e informações sobre sua viabilidade são escassos. Neste contexto, o estudo de tempos e movimentos tem grande importância como ferramenta de auxílio para o dimensionamento adequado da utilização de sistemas mecanizados.

Já foram estudadas empregando tais ferramentas como: tomate, cana-de-açucar e citricultura. No caso da silvicultura o uso dessas técnicas vem apresentando resultados satisfatórios. Assim,objetivou-se, no presente trabalho, realizar uma análise técnica e econômica da colheita mecanizada do cafeeiro e comparar aos sistemas manuais, permitindo determinar a viabilidade da utilização de conjuntos mecanizados, nas etapas de produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado durante o período de colheita da safra 2014, em áreas localizadas na região Sul de Minas Gerais, nos municípios de Alfenas e Lavras, cultivadas com cafeeiros (*Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474). As informações referentes ao espaçamento, tamanho da área e carga pendente das áreas estudadas se encontram na Tabela 1.

A determinação da carga pendente foi realizada com derriça manual em cada tratamento, com dez plantas aleatórias por talhão avaliado, com o volume medido em recipiente graduado em litros, expressando a produtividade em litros por planta. Com relação ao volume de café colhido, o mesmo foi expresso em litros e determinado por meio do volume de café efetivamente colhido nos talhões e enviado para as caçambas alocadas na entrada do talhão. Com base nos dados obtidos foi possível fazer a comparação entre os diferentes sistemas avaliados.

Para a realização do experimento, utilizou-se como sistemas mecanizados de colheita do café três tipos de colhedoras, reguladas para a colheita plena de frutos do cafeeiro, conforme Oliveira et al. (2007). Dessa forma, possíveis variações de velocidade operacional no momento do ensaio ocorreram devido à limitações e características das máquinas usadas, sendo: 1) colhedora automotriz, com potência nominal de 61,8 kW (82 cv), apoiada sobre quatro rodados e trabalhando em uma velocidade operacional de 1200 m h^{-1} e vibração de 950 ciclos por minuto; 2) colhedora automotriz, com potência nominal de 49,3 kW (67 cv), apoiada sobre três rodados, com graneleiro de 2600 litros e trabalhando em uma velocidade operacional de 900 m h-1 e vibração de 950 ciclos por minuto; 3) colhedora tracionada acoplada ao trator cafeeiro com tração dianteira auxiliar, potência nominal de 55,0 kW (75 cv) e acionada pela TDP à 540 rpm, trabalhando em uma velocidade operacional de 1000 m h^{-1} e vibração de 950 ciclos por minuto. Com relação aos tratores e transbordos usados para o transporte do café colhido para o terreiro, no presente trabalho não foram considerados.

No caso do sistema semimecanizado foi utilizado um derriçador portátil motorizado, disponível no mercado, com motor de combustão interna monocilíndrico do ciclo Otto, dois tempos a gasolina, permitindo assim a colheita do frutos por vibração e posterior avaliação e sua comparação com os demais sistemas avaliados.

TABELA 1- Caracterização das áreas avaliadas no experimento e os tipos de colheita utilizados.

	Área (ha)	Espaçamento (m)	Declividade	Carga pendente (L plantas^{-1})
Lavras				
Colhedora automotriz 1	3,91	3,8 x 0,7	< 7%	5,8
Colhedora automotriz 2	3,56	3,8 x 0,7	< 17%	4,3
Colhedora tracionada	3,16	3,8 x 0,7	< 10%	4,7
Semimecanizado	1,73	3,8 x 0,7	-	4,5
Manual	1,45	3,8 x 0,7	-	4,2
Alfenas				
Colhedora automotriz 1	7,09	3,8 x 0,5	< 5%	5,2
Colhedora automotriz 2	4,34	3,8 x 0,5	< 15%	4,1
Colhedora tracionada	5,63	3,8 x 0,5	< 8%	4,6
Semimecanizado	1,57	3,8 x 0,5	-	4,0

Viabilidade técnica do sistema mecanizado

A viabilidade técnica do sistema mecanizado foi obtida em função da determinação dos tempos de trabalho nas diferentes colhedoras utilizadas e foi realizada por meio de um cronômetro digital. Os tempos coletados foram em escala de segundos e separados em: tempo produtivo e tempo improdutivo.

O tempo produtivo caracterizou-se pela ação dos conjuntos mecanizados em campo, sendo determinado a partir dos deslocamentos dos conjuntos, durante a execução das operações. Os tempos de deslocamento para as operações estudadas foram mensurados a partir do momento em que os conjuntos estavam em regime estável de trabalho.

Para a determinação dos tempos improdutivos foram considerados o tempo auxiliar, tempo para manobras e tempo para reparos e manutenção. O tempo auxiliar foi composto pelas operações de transbordo de todo material colhido pelas máquinas estudadas, pelo horário de almoço dos operadores e suas necessidades fisiológicas.

O tempo para manobras foi composto pela soma dos tempos de manobra de cada conjunto mecanizado e também pelo tempo de deslocamento dos conjuntos mecanizados, desde o abrigo das máquinas até o campo e os deslocamentos referentes à mudança de frente de trabalho dentro das glebas. Já os tempos referentes à reparos e manutenção foram obtidos por meio da soma dos tempos para abastecimento de combustíveis de cada colhedora automotriz e do trator utilizado para tracionar a colhedora tracionada, o tempo gasto para a lubrificação das máquinas utilizadas e o tempo de possíveis reparos realizados *in loco* nas áreas estudadas. A partir dos tempos produtivos e improdutivos que constituíram cada operação mecanizada estudada, foram consideradas as médias dos tempos gastos e as mesmas foram utilizadas para a determinação dos rendimentos e capacidade operacional.

A disponibilidade mecânica, segundo Simões, Iamonti e Fenner (2010), foi definida como o percentual do tempo de trabalho, delineada a máquina mecanicamente apta a desenvolver suas operações, o qual consiste em desconsiderar o tempo despendido para efetuar reparos ou manutenção, conforme Equação 1.

$$Dm = \left(\frac{Tprod}{Tprod + Trep}\right).100 \quad (1)$$

Onde:

Dm- Grau de disponibilidade mecânica (%);

Tprod- Tempo produtivo (h);

Tred- Tempo de interrupção para realizar reparos e manutenções (h).

De acordo com Simões e Silva (2012), a eficiência de utilização apresenta equivalência com relação às horas utilizadas e às horas totais, por conseguinte, advém do tempo improdutivo da máquina agrícola, conforme Equação 2.

$$Eu = \left(\frac{Tprod + Taux}{Tprod + Timp}\right).100 \quad (2)$$

Onde:

E_u- eficiência de utilização (%);
Tprod- tempo produtivo (h);
Taux- tempo auxiliar (h);
Timp- tempo improdutivo (h).

Para determinar a percentagem de tempo efetivamente trabalhado, foi determinada a eficiência operacional, de acordo com a metodologia proposta por Oliveira, Lopes e Fiedler (2009), conforme apresentado na Equação 3.

$$Eo = \left(\frac{Tprod}{Tprod + Taux}\right).1 \quad (3)$$

Onde:

E_o- Eficiência operacional (%);
Tprod- Tempo produtivo (h);
Taux- Tempo auxiliar (h).

Custos operacionais e viabilidade econômica dos sistemas de colheita

Na Tabela 2, são apresentados os valores iniciais relativos aos equipamentos empregados nos sistemas de colheita mecanizada e o sistema de colheita semimecanizada, a partir dos quais, foram determinados os custos operacionais para a determinação da viabilidade econômica dos mesmos. Dessa maneira, foram considerados os custos fixos (depreciação, juros, seguro e alojamento) e variáveis (mão de obra, combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenção), conforme a metodologia proposta por Silva e Carvalho (2011) para a atividade cafeeira, em função dos valores de aquisição das máquinas, praticados na região de estudo.

Dessa forma, no presente estudo, o valor mínimo considerado de sucata foi de 25% para tratores, 30% para colhedoras e 10% para os equipamentos, como os derriçadores portáteis, usados no presente trabalho (SILVA et al., 2013).

Os juros representam o valor de remuneração do capital empregado na aquisição da máquina. Atualmente, a grande maioria das máquinas é adquirida por meio de financiamentos dentro do Programa de Sustentação do Investimento (PSI) ou "Mais Alimentos", com amortização entre 6 a 10 anos. Dessa forma, no caso das máquinas estudadas, foi utilizada a taxa de financiamento de 4,5% ao ano – Financiamento de Máquinas e Equipamentos (Finame) - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO, 2014).

No Brasil, atualmente, é obrigatório fazer o seguro de máquinas agrícolas, assim é de suma importância a análise deste componente de custos, visto que, caso o proprietário não repasse o custo do seguro à uma seguradora, este é bancado pelo mesmo. Dessa forma, a taxa depende do modelo da máquina e a quantidade de horas trabalhadas, sendo a taxa regional adotada no presente estudo de 1,5% (SILVA et al., 2013).

Os custos com combustíveis foram obtidos por meio das cadernetas de campo e relatórios das áreas estudadas. Já os custos com lubrificantes foram determinados fazendo-se a relação direta com o custo de combustível em que, segundo Silva et al. (2013), para tratores cafeeiros, foi considerado 8,4% do custo do combustível, 20% para as colhedoras automotrizes e tracionada avaliadas e 20% para os derriçadores portáteis, pela adição do óleo dois tempos sobre na gasolina.

Os custos com manutenção são os mais difíceis de serem determinados. No caso da manutenção preventiva, aquela que trata de gastos com componentes trocados em intervalos regulares, é fácil de ser computado. Já o custo com manutenção corretiva trata-se de um gargalo na determinação dos custos em operações agrícolas, visto que, depende de outros fatores como histórico de quebras das máquinas, passando a ser algo gerencial, nem sempre observado por parte de alguns produtores. No presente estudo, como referência, foram adotados 50% do valor de aquisição para colhedoras e tratores cafeeiros, valores esses referentes a todos os tipos de manutenção realizadas (SILVA; CARVALHO, 2011).

Os custos referentes à mão de obra levaram em conta o salário, bem como outros benefícios e encargos sociais. Para os encargos sociais, somaram-se os valores de FGTS, INSS, férias, décimo terceiro, abono de férias além de um valor referente à rescisão contratual, totalizando 45,6 % sobre o salário base praticados pelos produtores na região de estudo, conforme Cunha et al. (2015). Os salários praticados na região do estudo, em média, um salário mínimo e meio para operadores de trator e dois salários mínimos para operador de colhedora.

TABELA 2- Valores iniciais, em reais, fornecido pela revenda local das máquinas que compuseram os conjuntos mecanizados empregados nas diferentes operações estudadas.

Máquinas e implementos	Valor inicial (R$)	Vida útil (anos)	Horas trab/ano
Trator cafeeiro	90.000,00	10	1000
Colhedora automotriz 1	676.000,00	10	1000
Colhedora automotriz 2	631.000,00	10	1000
Colhedora tracionada	426.000,00	10	1000
Derriçador portátil	2.230,00	3	400

*Valores obtidos no mercado local de máquinas, na safra avaliada.

No caso dos sistemas de colheita semimecanizado e manual, os custos foram determinados baseados na prática de um salário e meio para cada trabalhador, uma vez que a equipe do sistema semimecanizado foi composta de dois funcionários, um operador do derriçador e o outro encarregado de repassar e levantar o café, enquanto a equipe do sistema manual também constou de dois funcionários, onde os mesmos eram encarregados de realizar todas as etapas, servindo assim como parâmetros de comparação com os sistemas mecanizados de colheita.

Análise estatística dos dados

Quando necessárias para entender as diferenças entre o desempenho operacional e os custos dos sistemas de colheita avaliados, foram realizadas em delineamento inteiramente causalizado as análises estatísticas utilizando-se o programa SISVAR 4.0 (FERREIRA, 2000), sendo realizada a análise de variância fator único pelo teste F, 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.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Viabilidade técnica do sistema mecanizado

A constituição média dos ciclos operacionais das três colhedoras avaliadas está presente na Figura 1. Verificou-se que, o tempo auxiliar foi o que apresentou maior representatividade no tempo total de operação, equivalendo a 15, 19, 16 % nas condições operacionais para a colhedora automotriz 1, colhedora automotriz 2 e a colhedora tracionada, respectivamente. Os valores obtidos estão relacionados principalmente aos tempos que a colhedora ficou em esperaenquanto os transbordos transferiam o café colhido nas áreas para as caçambas posicionadas nos carreadores para serem processados na pós-colheita.

Em relação aos tempos desperdiçados com manobras, os sistemas avaliados apresentaram valores entre 10 e 16%. Foram notados maiores valores para as colhedoras tracionada e a automotriz 2, em relação à colhedora automotriz 1, sendo possível explicar o resultado por meio das características das máquinas utilizadas e as áreas em que estavam operando. No caso da colhedora automotriz 2, o resultado foi explicado pela declividade das áreas (Tabela 1) em que a mesma atua, fazendo com que o operador necessite de um maior cuidado no momento da manobra. Com relação à colhedora tracionada, ocorre um maior dispêndio de tempo, devido à necessidade de realização de manobra, não só da colhedora, como do trator , o que acabou gerando um maior tempo.

No caso dos tempos improdutivos com reparos e manutenção, percebeu-se uma grande diferença da colhedora automotriz 2, para as demais. Trata-se de uma colhedora de menor relação peso/potência em relação às outras máquinas avaliadas, o que explica o resultado obtido. Atrelado a este fato, a distância entre os cilindros de derriça nessa máquina são menores, fazendo com que os cafeeiros, no momento da colheita, passem de forma apertada, o que gerou uma maior quebra das partes vegetativas da planta e "embuchamento" dos mecanismos de colheita da máquina, necessitando sempre da realização de algum reparo, limitando também a produção da máquina na jornada de trabalho.

Com base na identificação dos tempos necessários para cada etapa operacional, de acordo com a Tabela 3, a disponibilidade mecânica das três colhedoras avaliadas apresentaram valores acima de 70%, tendo valor mais baixo encontrado para a colhedora automotriz 2, o que o diferiu estatisticamente dos demais. Concomitante a esse resultado, foi possível observar que o mesmo sistema apresentou o menor valor para a eficiência de utilização, visto que, trata-se de um parâmetro diretamente relacionado à maior quantidade de tempos improdutivos, ou seja, tempos perdidos durante a operação, como reparos e manobras.

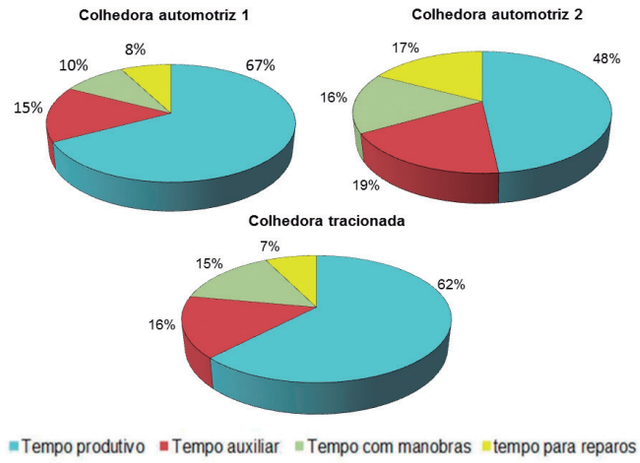

FIGURA 1- Composição do tempo total (%), do ciclo operacional dos diferentes sistemas de colheita mecanizada avaliadas.

TABELA 3- Determinação da disponibilidade mecânica (D_m), eficiência de utilização (E_u) e eficiência operacional (E_o) dos diferentes sistemas de colheita mecanizada.

	D_m(%)*	E_u(%)*	E_o(%)*
1. Colhedora automotriz 1	89,8 a	82,6 a	72,9 a
2. Colhedora automotriz 2	73,7 b	66,7 b	58,3 b
3. Colhedora tracionada	89,4 a	77,9 a	67,2 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey, a 5% de significância. *Significativo.

Com relação à eficiência operacional das máquinas avaliadas, a colhedora automotriz 2 diferiu estatisticamente das outras duas colhedoras avaliadas, apresentando valor de eficiência de 58,3%, acima dos padrões de 50%, descritos por American Society of Agricultural Engineers - ASABE (2003), como o mínimo aceitável. Tais resultados eram esperados pela menor eficiência de utilização e a disponibilidade mecânica, devido às maiores quantidades de tempos perdidos com abastecimento de combustível, reparos e manutenção durante a operação, em relação às outras duas colhedoras avaliadas. Em contrapartida, a colhedora automotriz 1 foi a única a apresentar um valor aceitável para a eficiência operacional, conforme Molin e Milan (2002), que preconizam valores entre 70 e 90%.

Seixas, Barbosa e Rummel (2004), consideram o estudo de tempos e movimentos uma técnica muito importante no desenvolvimento de operações mecanizadas, pois o tempo consumido, para cada um dos elementos do ciclo operacional permite, a organização do trabalho e, deduzir a produtividade e o custo por unidade produzida. Sendo assim, todos os estudos realizados com a utilização dessa técnica podem ser aplicados em diversas áreas, apresentando, assim, a polivalência desses trabalhos para a otimização dos processos. No caso específico da cafeicultura, a obtenção de tais informações permite um melhor dimensionamento e gerenciamento das atividades mecanizadas.

A produtividade dos sistemas mecanizados foi comparada aos sistemas manual e semimecanizado, e expressas em volume de café colhido por hora efetivamente trabalhada no turno de trabalho, conforme a Figura 2. Durante uma jornada de oito horas, observou-se que, o sistema semimecanizado colheu 1.727 litros de café, apresentando produtividade 50,6% superior ao sistema manual, que colheu, no final da jornada 874 litros de café.

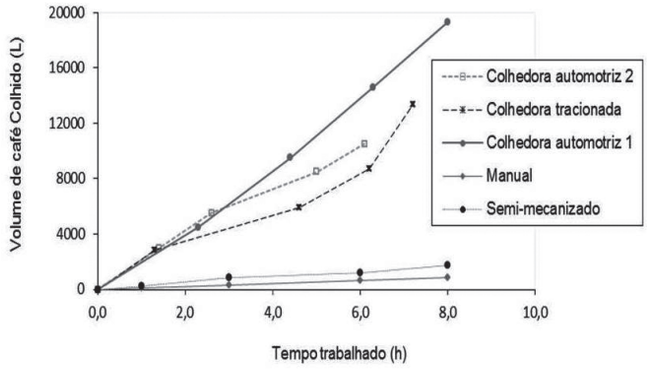

FIGURA 2- Produtividade dos diferentes sistemas de colheita de café avaliados.

O resultado obtido corrobora com Barbosa et al. (2005), que verificaram que o sistema semi-mecanizado foi 64% mais produtivo que o sistema de colheita manual.

Com relação às diferentes colhedoras avaliadas, os mesmos apresentaram produtividades muito superiores aos sistemas manual e semimecanizado. Segundo Silva et al. (2006), a mecanização do processo de colheita torna-se ponto de vital importância, tendo em vista a possibilidade de otimização das atividades de campo, visto que, deve ser efetuada o mais rápido possível, o que implicará na melhor qualidade do produto e redução de perdas, aumentando os lucros do cafeicultor.

A colhedora automotriz 1 foi a que apresentou maior rendimento operacional (19.300 L de café), sendo superior em 45,6 e 30,8 %, em relação às colhedoras automotriz 2 e a tracionada, respectivamente, ao final da jornada de trabalho. O maior tempo produtivo é explicado pela maior quantidade de tempo que essa máquina opera durante o turno, refletindo diretamente na quantidade de café colhido. Com relação a menor rendimento da colhedora automotriz 2, os resultados indicam que a produtividade está muito relacionada também com as características de operação da máquina, visto que é um sistema mecanizado utilizado em talhões irregulares e com declividade.

A declividade é um fator que influencia diretamente no rendimento operacional da colheita, principalmente pela questão do nivelamento da máquina. Trabalhos que abordam o efeito da declividade na produtividade são bastante explorados na silvicultura e podem servir de comparação com os obtidos no presente estudo pela similaridade em relação às áreas cultivadas, entre esta atividade e a cafeicultura. Segundo Leite et al. (2014), a declividade é um fator que influencia diretamente na produtividade de máquinas, observando assim que, com a diminuição da declividade do terreno, o rendimento operacional tende a aumentar, chegando a produtividade maiores em 28%, quando comparadas a áreas com declividade mais acentuada (BIRRO et al., 2002).

Custos operacionais e viabilidade econômica dos sistemas de colheita

Na Tabela 4, podem ser observados os valores para os custos horários dos conjuntos mecanizados avaliados. Verificou-se que, o fator depreciação, dentre aqueles que compõem os custos horários das máquinas, foi o que apresentou maior representatividade. De acordo com Oliveira, Lopes e Fiedler (2009) isso ocorre principalmente pelo fator valor inicial, ou de aquisição, dos equipamentos utilizados. Com relação aos fatores reparos, manutenção e combustíveis os mesmos também apresentaram grande participação na composição, corroborando com os resultados encontrados por Jasper e Silva (2011) e Simões, Silva e Fenner (2011).

Na mesma tabela percebe-se também que a participação da mão de obra nos custos horários é bastante significativa. Porém, é possível verificar que utilizando máquinas tracionadas o custo da mão de obra apresentou valores 42,8% maior que na utilização de máquinas automotrizes. Tal fato é explicado pela necessidade de dois operadores, um responsável pelo nivelamento e ajustes da colhedora, enquanto outro operador fica encarregado de operar o trator que traciona a colhedora.

TABELA 4- Custos de produção dos conjuntos mecanizados estudados em reais, por hora.

	Colhedora automotriz 1	Colhedora automotriz 2	Colhedora tracionada
Depreciação	60,84	56,79	46,44
Juros	16,73	15,62	12,77
Seguro e alojamento	10,14	9,47	7,74
Combustível	22,38	18,29	26,61
Reparos e manutenção	33,80	31,55	25,80
Lubrificantes e graxas	4,47	3,66	9,31
Mão-de-obra	12,20	12,20	21,34
Custo horário total (R$)	160,57	147,57	150,02

O custo operacional expressa a relação do custo e a capacidade de trabalho ou produção (PIACENTINI et al., 2012). De acordo com a Tabela 5, no sistema manual o desempenho operacional médio para as áreas estudadas foi de 7,5 medidas (60 L), por homem, para uma jornada de 8 horas diárias, totalizando 450 L de café colhido. No caso desse sistema foi utilizada mão de obra temporária, sendo o valor médio da diária praticado na região de estudo é de R$115, por dia, com todos os encargos sociais, gerando um custo operacional de R$ 15,33, por medida.

No caso do sistema de colheita semimecanizado, a colheita é realizada geralmente por duplas onde, um trabalhador opera o derriçador e o outro fica responsável pelo repasse, levantamento e abanação do café colhido. Nas áreas estudadas, o desempenho operacional foi, em média, de 29 medidas de 60 litros por dia, divididas pela dupla, resultando em uma média de 14,5 medidas/homem/dia. Na operação com o derriçador portátil foi da ordem de R$ 11,54 por dia, já inclusa a mão de obra, o custo foi de R$ 92,30 por dia que, somado ao custo do ajudante totalizou R$ 172,3/dia. Portanto, o custo total da colheita semi-mecanizada seria de R$ 11,88/ medida, com redução de 22,4 %, concordando com diferentes afirmações como Barbosa et al. (2005) e Silva et al. (2013) que, comparando diferentes sistemas de colheita manual apresentam custos superiores, na faixa de 28 a 41%, em relação ao sistema semimecanizado.

Sistemas de colheita mecanizados de café são empregados, em sua maioria, por médios e grandes produtores, utilizando-se de colhedoras automotrizes ou tracionadas, ambas as situações estudadas no presente estudo. De acordo com os resultados, foi possível observar que as operações que constituem a colheita mecanizada do café apresentaram custos diários de R$ 1926,80; R$ 1770,80 e R$ 1800,24 para as colhedoras automotrizes 1, 2 e a colhedora tracionada, respectivamente.

Quando analisado sob a perspectiva dos custos operacionais, apesar de apresentar os menores custos diários de operação, a colhedora automotriz 2 apresentou o maior custo operacional, em relação aos outros dois sistemas mecanizados avaliados (R$ 10,12/medida). O resultado já era esperado, devido a menor eficiência operacional desse sistema, o que acabou refletindo diretamente na produtividade do mesmo, aumentando assim seu custo. Efeito contrário foi verificado na colhedora automotriz 1, onde a mesma apresentou produtividade muito superior aos demais avaliados, apresenta custo operacional de R$ 5,99/medida, valor 40,8 e 25,9% inferior a colhedora automotriz 2 e a colhedora tracionada, respectivamente.

Segundo Peloia e Milan (2010), a medição do desempenho de suas atividades de modo sistêmico ainda é um conceito pouco utilizado na agricultura, seja em grandes propriedades, como em pequenas, e o setor de mecanização se insere nesse contexto. Dessa maneira, comparando os três sistemas mecanizados com o custo operacional da colheita manual, observou-se que, a mecanização da colheita do café é um processo viável, tanto tecnicamente, como economicamente. No presente estudo, a redução dos custos operacionais variou em média de 34 a 61%, dependendo da máquina utilizada e condições da lavoura, corroborando com os dados obtidos por Oliveira et al. (2007) que encontraram reduções de até 62% realizando uma ou duas passadas da colhedora.

TABELA 5- Custos de produção dos conjuntos mecanizados estudados, em reais.

	Prod. diária (medidas 60 L)*	Custo diário total (R$)*	Custo por medida (R$)*
Colhedora automotriz 1	322 a	1926,8 a	5,99 a
Colhedora automotriz 2	175 b	1770,8 b	10,12 c
Colhedora tracionada	223 b	1800,2 b	8,09 b
Semimecanizado	14,5 c	172,3 c	11,88 c
Manual	7,5 d	115,2 c	15,36 c

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey, a 5% de significância.
*Significativo.

Diante dos resultados obtidos, o uso de máquinas, autopropelidas ou tracionadas, no processo de colheita promove a redução dos custos, refletindo diretamente a viabilidade técnica e econômica de sistemas mecanizados, em comparação aos sistemas manuais. Tais resultados ainda, segundo Silva et al. (2009), são acompanhados por benefícios indiretos, como a maior rapidez no processo e a colheita seletiva, resultando assim em melhor qualidade do café produzido.

4 CONCLUSÕES

Os fatores que mais influenciam na composição dos custos de colheita mecanizada do cafeeiro, gastos com depreciação, combustíveis, reparos e manutenção.

O sistema mecanizado de colheita do cafeeiro se apresentou mais viável tecnicamente e economicamente, aumentando a produção e reduzindo custos, independente da máquina utilizada, em comparação aos sistemas manuais e semi-mecanizado.

5 REFEREÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management data**. Saint Joseph, 2003. 6 p.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Finame agrícola Moderfrota Pronamp novos café. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br>. Acesso em: 31 out. 2014.

BARBOSA, J. A. et al. Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 129-132, 2005.

BIRRO, M. H. B. et al. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com "track-skidder" em região montanhosa. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 525-532, 2002.

CUNHA, J. P. B. et al. Análise técnica e econômica de diferentes sistemas de transplantio de café (*Coffea arábica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 289-297, 2015.

_____. Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 87-96, 2016.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

JASPER, S. P.; SILVA, R. A. P. Estudo comparativo do custo operacional horário da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo. Nucleus, Ituverava, v. 10, n. 2, p. 119-126, 2013.

LEITE, E. S. et al. Desempenho do Harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 1-6, 2014.

MOLIN, J. P. et al. Utilização de dados georreferênciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.

MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p. 409-436.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder na extração de toras de pinus. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009.

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

_____. Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1466-1470, 2007.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.

PIACENTINI, L. et al. Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícolas - MAQCONTROL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 609-623, 2012.

ROCHA, E. B. et al. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009.

SEIXAS, F.; BARBOSA, R. F.; RUMMER, R. Tecnologia protege saúde do operador. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 14, p. 68-73, 2004.

SILVA, F. M. Colheita mecanizada e seletiva do café: cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 75 p.

SILVA, F. M.; CARVALHO, G. R. Evolução da mecanização na cafeicultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 52-65, 2011.

SILVA, F. M. et al. Desempenho operacional e econômico da derriça do café com uso da derriçadora lateral. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 119-125, 2006.

_____. Uso do ethrel na colheita mecanizada e seletiva de café arábica (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science,** Lavras, v. 4, p. 178-182, 2009.

_____. Viabilidade técnica e econômica da colheita mecanizada do café. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 13, p. 98-101, 2013.

SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com feller-buncher em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656, out./dez. 2010.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 164-170, 2012.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692-700, 2011.

TAVARES, T. O. et al. Qualidade do recolhimento mecanizado do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 455-463, 2015.

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO SUPERFOSFATO TRIPLO REVESTIDO POR POLÍMEROS NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEEIRO

Wantuir Filipe Teixeira Chagas[1], Douglas Ramos Guelfi[2], André Luiz de Carvalho Caputo[3], Anderson William Dominghetti [4], Valdemar Faquin[5], Raphael Machado Lopes[6], Rafael Mattioli Rezende Chagas[7]

(Recebido: 06 de abril de 2016; aceito: 26 de abril de 2016)

RESUMO: Grande parte do P aplicado ao solo, na forma de fertilizantes, é fixado com óxidos de ferro e alumínio, tornando-se indisponíveis às plantas. Uma opção para contornar esse problema é agregar compostos aos fertilizantes, fosfatos convencionais para reduzir a intensidade das reações de precipitação e adsorção. Para quantificar a eficiência agronômica e avaliar características de crescimento e nutricionais como altura, massa seca de plantas, área foliar, teor e acúmulo de P nas folhas do cafeeiro, conduziu-se o experimento, em casa de vegetação da Universidade Federal de Lavras, em vasos preenchidos com 14 kg de solo e duas mudas de café cultivar Acaiá IAC 474-19. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, esquema fatorial 2x5, sendo os tratamentos constituídos por duas fontes de P (Superfosfato triplo revestido por polímeros e Superfosfato triplo convencional) e cinco doses de P_2O_5 (0; 5; 10; 15; 20 g vaso^{-1}), com quatro repetições. Ao final do experimento, concluiu-se que a adubação fosfatada influenciou as características avaliadas, onde a aplicação de fósforo promoveu aumento no crescimento inicial do cafeeiro. O revestimento do fertilizante fosfatado com polímeros aumentou a altura, a massa seca, o acúmulo de fósforo nas folhas do cafeeiro e a eficiência agronômica, em relação ao SFT convencional.

Termos para indexação: Fósforo, fertilizantes, *Coffea arabica* L.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF TRIPLE SUPERPHOSPHATE COATED BY POLYMERS IN THE INITIAL GROWTH OF THE COFFEE

ABSTRACT: *The phosphate fertilizer in coffee has been widely discussed in recent years for research due to the problems facing the match reaction (P) in the culture of farming soils. Much of the set P is applied with iron and aluminum oxides, becoming unavailable to plants. One way to get around this problem is the use of slow or controlled release fertilizer that slowly release the nutrients to the soil solution. In order to find the agronomic efficiency and evaluate phytotechnical and nutritional characteristics such as height, dry weight of plants, leaf area, content and P accumulation in coffee leaves was carried out the experiment in a greenhouse at the Federal University of Lavras, in pots filled with 14 kg of soil and two coffee seedlings 'Acaiá IAC 474-19'. The experiment design was randomized block arranged in a factorial 2x5 scheme. The treatments were constituted for two P sources (Triple superphosphate coated polymers and superphosphate conventional triple) and five doses of* P_2O_5 *(0, 5, 10, 15, 20 g vaso*$^{-1}$*) by each of the sources, with four replicates. At the end of the experiment, we concluded that phosphate fertilizer influenced in all characteristics evaluated, where the phosphorus application promoted increase in coffee growth. The coating the fertilizer with polymers increased height, dry mass, phosphorus accumulation in coffee leaves and agronomic efficiency compared to conventional ST, being more efficient.*

Index terms: *Phosphorus, fertilizers, Coffea arabica L.*

1 INTRODUÇÃO

A cultura do café é um dos principais suportes da economia agrícola brasileira e componente importante do Produto Interno Bruto (PIB). O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. No ano de 2015, a produção foi estimada em 43.235 mil sacas de café beneficiado, em uma área de 1,92 milhões de hectares, sendo o Sul e Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, a maior região produtora do País (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

Para atingir esses valores, um dos aspectos mais importantes da produção é a nutrição do cafeeiro (DOMINGHETTI et al., 2014). Ou seja, uma nutrição adequada e equilibrada associada a outros fatores como temperatura, umidade do solo e cultivar adequada definem uma boa produtividade. Nesse sentido, por exemplo, o fósforo (P) é apontado como um dos nutrientes que mais limita o desenvolvimento das culturas, principalmente em solos tropicais, com alto grau de intemperismo (DIAS et al., 2015). O baixo aproveitamento do P no solo, proveniente dos fertilizantes, é resultado de reações indesejadas

[1,2,3,5,6,7]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG wantuirfilipe@gmail.com, douglasguelfi@dcs.ufla.br, caputoandre@gmail.com, vafaquin@dcs.ufla.br, raphaelml2@hotmail.com, rafaelmrc@gmail.com
[4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG -Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG andersonwd10@yahoo.com.br

do nutriente com cátions como alumínio e ferro em solos ácidos das regiões de clima tropical (MACHADO et al., 2011).

Entre as várias maneiras de avaliar o aproveitamento dos fertilizantes pela planta destaca-se a eficiência agronômica (EA). A EA do fertilizante representa a quantidade de aumento na produção da cultura, em função do tipo de dose do fertilizante aplicado, o que pode refletir o impacto dos fertilizantes na produtividade da cultura (SILVA et al., 2011). Alguns trabalhos apontam diferenças nos valores de eficiência agronômica para o P, em diferentes culturas. Dorahy et al. (2008), avaliando a eficiência agronômica na cultura do algodão, com uso de P marcado, encontraram valores de 1,2 a 3,4%; já Takashi e Anwar (2007) aplicaram 65 kg ha^{-1} de P na cultura do trigo, utilizando como fonte o superfosfato triplo e obtiveram eficiência agronômica de 17%.

Devido aos baixos valores de eficiência agronômica encontrados com o uso do P, cuidados com o uso racional e eficiente deste nutriente é importante, o que torna essencial o aprofundamento dos estudos e pesquisas voltadas para o conhecimento dos fertilizantes fosfatados e sua dinâmica no sistema solo-planta. Uma saída para tal problema seria o uso de fertilizantes fosfatados de liberação lenta ou controlada, que libera gradativamente o nutriente para a solução do solo, o que pode reduzir as perdas por fixação com óxidos de ferro e alumínio e, com isso, aumentar a eficiência do fertilizante.

Um fertilizante convencional (sem revestimento) está mais suscetível às alterações ambientais, uma vez que o nutriente sofre liberação sem controle para a solução do solo. Por outro lado, o fertilizante que é recoberto por enxofre ou polímero sintético, exemplos de tecnologias utilizadas para produção dos fertilizantes protegidos, fica protegido e o tempo de liberação aumenta, sendo denominado fertilizante de liberação lenta ou controlada. Esses fertilizantes liberam lentamente o nutriente para a solução do solo, incrementando a sua disponibilidade ao longo do tempo, por mecanismos diferentes de liberação, com a finalidade de criar um sincronismo entre a liberação do nutriente pelo fertilizante e a demanda pela planta (ZAVASCHI, 2010).

Entretanto essa é uma tecnologia recente e ainda demanda muita pesquisa, principalmente quando se trata do cafeeiro. Para outras culturas, maiores valores de eficiência no uso do P estão sendo encontrados com o uso de fertilizantes fosfatados revestidos, como o estudo de Chagas et al. (2015) em alface, que encontraram 15,33 mg de massa seca por mg de P_2O_5 aplicado com o uso do MAP revestido por polímeros, enquanto que, para o MAP sem o revestimento, esse valor foi de 3,05 mg de massa seca, por mg $P_2O_5^{-1}$.

Objetivou-se, com esse trabalho, quantificar a eficiência agronômica e avaliar características de crescimento e nutricionais, durante o crescimento inicial do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavras – MG, latitude 21º 14’ 43” S, longitude 44º 59’ 59” W e altitude de 919 m, no período de 15 de fevereiro a 10 de novembro de 2014. Utilizou-se o Latossolo Vermelho distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013), de textura argilosa, coletado no horizonte B, cujas características químicas e físicas estão descritas na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizado e, os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2 x 5, sendo eles: Superfosfato Triplo (ST) e Superfosfato Triplo revestido com polímeros (Policote) (ST + P), aplicados em cinco doses: 0; 5; 10; 15; 20 g P_2O_5 $vaso^{-1}$, com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por um vaso preenchido com 14 kg de solo e duas mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Acaiá IAC 474-19),

O revestimento utilizado no recobrimento dos grânulos de ST é composto por polímeros aniônicos solúveis com biodegradabilidade de 93,7%, que reduzem a atividade de ferro e alumínio (CHAGAS et al., 2015). Tal redução de atividade tem como consequência uma menor fixação de fósforo no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas. O polímero também tem a finalidade de melhorar as qualidades físico-químicas de fertilizantes, tais como aumento de dureza, redução de acidez livre, redução da higroscopicidade e redução do teor de pó de fertilizantes (REIS JUNIOR; SILVA, 2013).

Realizou-se calagem no solo para elevar a saturação por bases para 70% (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG, 1999) e o calcário utilizado foi formado pela mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (P.A), na equivalência de Ca:Mg de 4:1, passando por um período de incubação de 30 dias.

TABELA 1 - Atributos químicos[(1)] e físicos[(2)] do solo utilizado no estudo.

Atributos químicos[(1)]																		
$pH_{água}$	P	K^+	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	T	T	m	V	M.O
	mg dm^{-3}								cmol$_c$ dm^{-3}						%		g kg^{-1}
5,0	0,84	10	13,1	0,50	2,19	3,98	0,04	25,1	0,9	0,1	0,1	4,04	1,13	5,07	8,9	20,2	1,64

Atributos físicos[(2)]		
Areia	Silte	Argila
%		
16	17	67

pH (1:2,5): água; H+AL: $Ca(OAc)_2$ a 0,5 mol L^{-1}, pH 7; Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+}: extrator KCl 1 mol L^{-1}; P , K, Zn, Mn e Cu: extrator Mehlich-1; Carbono Orgânico: oxidação com dicromato de potássio.

Os tratamentos, juntamente com adubação de 5,33 g de nitrogênio + 6,72 g de K_2O vaso^{-1} (utilizando nitrato de amônio e cloreto de potássio como fontes), foram homogeneizados no solo da parcela experimental em 15/02/2014, seguido pelo transplantio das mudas do cafeeiro (duas plantas por vaso), após a poda da região apical do sistema radicular das mesmas (para impedir entortamento do peão e garantir bom pegamento). A umidade do solo das parcelas experimentais foi mantida na capacidade de campo, ao longo do experimento. Foi realizada adubação foliar com B e Zn (utilizando Ácido Bórico e Sulfato de Zinco como fontes), conforme as recomendações de Garcia et al. (2005).

Ao término do experimento (nove meses após transplantio) foram avaliados: altura (AP), massa seca de plantas (MSP), teor (TP) e acúmulo (AcP) de fósforo nas folhas e a área foliar (AF). Após avaliações de AP, as folhas foram retiradas para determinação da AF com auxílio do aparelho integrador de área foliar, da marca Li-cor, modelo LI 3100.

Posteriormente, as plantas foram retiradas dos vasos e, com auxílio de água corrente, a parte aérea e as raízes foram lavadas sobre peneiras e, em seguida, acondicionadas em sacos de papel e secadas a 75 °C em estufa, com circulação de ar forçada até peso constante, para a determinação do peso da massa seca. Em seguida, a massa seca foi moída, sendo dela retiradas amostras equivalentes a dois gramas, as quais foram submetidas à digestão nitroperclórica, seguida de determinação do fósforo por colorimetria.

Os valores de acúmulo de P foram determinados pelo produto entre o peso seco e o teor de P, na parte aérea das plantas de café. Após a obtenção desses dados, foi calculado índice de eficiência agronômica da adubação fosfatada:

Eficiência Agronômica (EA) = massa seca da planta com adubação fosfatada (g) –massa seca sem adubação fosfatada (g)/Dose de P_2O_5 (g); em g de massa seca de planta /g de P_2O_5 aplicado (FAGERIA; SANTOS; MORAES, 2010).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, na presença de diferenças significativas pelo teste F, foi realizada análise de regressão dos dados referentes às doses de P_2O_5 e comparação simples no caso das fontes, utilizando-se o software SISVAR 4.3® (FERREIRA, 2014). Escolheu-se, dentre os modelos linear, quadrático, logarítmico e exponencial, aquele de maior coeficiente de regressão, significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura, massa seca de plantas, o acúmulo de fósforo nas folhas, área foliar e a eficiência agronômica foram significativamente influenciados pelas fontes e doses de fósforo (Tabela2).

Para estas características, a média observada com o ST+Polímero foi superior àquelas observadas com o ST sem revestimento. O teor de P foi significativamente influenciado, apenas pelas doses de fósforo.

A altura de plantas aumentou com a adubação fosfatada, alcançando os valores máximos de 75,1 e 92,9 cm, com as doses de 20 e 13,4 g vaso^{-1} de P_2O_5 ao utilizar ST e ST+Polímero, respectivamente (Figura 1).

Vilela (2014), estudando o crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, encontrou altura máxima de 34,8 cm na dose de 73,6 g de P_2O_5 aplicados na cova, condições diferentes do presente trabalho, realizado em casa de vegetação. Estes estudos mostram a relevância da adubação fosfatada, na característica altura de plantas.

Nota-se, no presente estudo, que o valor de altura máxima encontrado após aplicação do superfosfato triplo revestido por polímeros foi maior em 23,7%, comparado com o valor após aplicação do superfosfato triplo sem revestimento, e isso, aplicando-se uma dose menor em 33%.

O revestimento do grânulo do fertilizante fosfatado com polímeros reduz a atividade de Fe e Al e, com isso, evita-se a formação de novos minerais menos solúveis devido à precipitação desses cátions com o P, o que aumenta o crescimento inicial do cafeeiro e a eficiência da adubação fosfatada.

A massa seca de plantas aumentou com a adubação fosfatada, alcançando os valores máximos de 188,0 e 233,8 g vaso^{-1}, com as doses de 20 e 18,9 g vaso^{-1} de P_2O_5, ao utilizar ST e ST+Polímero, respectivamente (Figura 2).

Utilizando-se fertilizantes fosfatados de liberação controlada, na cultura da soja, Santini et al. (2011) compararam o uso de superfosfato triplo, revestido por polímeros, com diferentes fontes de P na produção de massa seca, na cultura da soja, e notaram similaridade, em ambas as fontes, na produção de massa seca.Isso foi diferente deste trabalho,em que a maior produção de massa seca nas plantas de café foi encontrada com o uso do superfosfato triplo, revestido por polímeros, na maior dose aplicada, como mostrado anteriormente nos resultados. O que pode ser explicado pelo ciclo da cultura, no trabalho de Santini et al. (2011) onde utilizou-se uma cultura anual com ciclo de, aproximadamente, 120 dias; já neste trabalho com o cafeeiro (cultura perene), o período de duração do experimento foi de 270 dias. Segundo Novais, Smyth e Nunes (2007), após aplicação do P no solo é formado primeiramente o P-lábil (ainda disponível às plantas) e, com maior tempo de contato do fertilizante com o solo, forma-se o P não lábil (indisponível às plantas).

O teor de P na folha aumentou linearmente com a adubação fosfatada, alcançando o valor máximo de 1,3 g kg^{-1}, com a dose de 20 g vaso^{-1} de P_2O_5 (Figura 3).

TABELA 2 - Valores médios e teste F para altura (AP) e massa seca (MSP) de plantas, teor (TP) e acúmulo (AcP) de fósforo nas folhas, área foliar (AF) e índice de eficiência agronômica do fósforo (EAP), em função de doses e fontes de fósforo.

	Fonte	AP (cm)	MSP (g vaso^{-1})	TP (g kg^{-1})	AcP (mg vaso^{-1})	AF (cm^2)	EA (g MS/g P_2O_5)
	ST	64,2b	142,0b	0,95	65,96b	2232,4b	6,62b
	ST+Polímero	78,0a	179,7a	0,98	90,44a	3308,4a	10,7a
CV (%)		7,21	9,20	9,85	9,90	38,0	22,1
Fcalc (ANOVA)	Fonte	54,0**	48,6**	0,68^{ns}	68,79**	51,7**	38,6**
	Dose	34,2**	72,5**	29,88**	116,74**	28,9**	17,7**
	Fonte*Dose	6,34**	6,3**	1,23^{ns}	10,38**	3,78*	1,34*
	Dose/ST	9,34**	19,6**	-	30,97**	7,21**	-
	Dose/ST+Polímero		59,2**	-	96,15**	25,4**	-

^{ns} – não significativo; * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$. Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si.

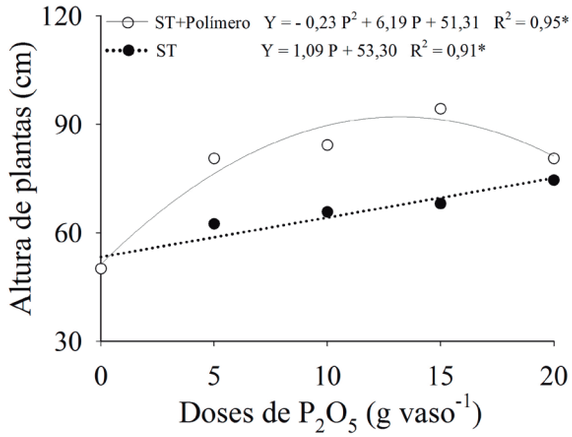

FIGURA 1 - Efeito da aplicação do Superfosfato triplo (ST) e Superfosfato Triplo revestido por polímeros (ST+Polímero), em diferentes doses de P_2O_5, na altura de plantas após nove meses de cultivo do cafeeiro.

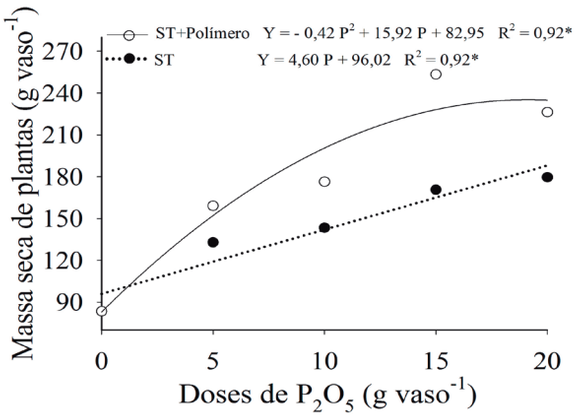

FIGURA 2 - Efeito da aplicação do Superfosfato triplo (ST) e Superfosfato Triplo revestido por polímeros (ST+Polímero), em diferentes doses de P_2O_5 na massa seca de plantas, após nove meses de cultivo do cafeeiro.

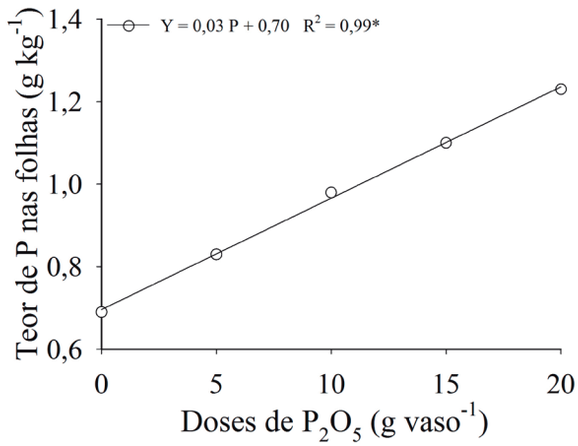

FIGURA 3 - Efeito da aplicação do Superfosfato triplo (ST) e Superfosfato Triplo, revestido por polímeros (ST+Polímero), em diferentes doses de P2O5, no teor de P nas folhas, após nove meses de cultivo do cafeeiro.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Dias et al. (2015), em que avaliando a nutrição do cafeeiro, após aplicação de diferentes doses de fósforo, obtiveram aumento linear no teor de P nas folhas. O teor de P foliar aumentou até a aplicação de 600 kg ha^{-1} de P_2O_5. Embora os trabalhos apresentem diferenças quanto à metodologia de execução (campo e casa de vegetação), nota-se que, em ambos, o teor de P nas folhas sofre influência direta ao aumento das doses de P.

O acúmulo de P na folha aumentou linearmente com a adubação fosfatada, alcançando os valores máximos de 98,64 e 147,36 mg vaso^{-1}, utilizado ST e ST+Polímeros, respectivamente, como fontes, com a dose de 20 g vaso-1 de P_2O_5 (Figura 4).

O maior acúmulo de P nas folhas do cafeeiro, com a aplicação do superfosfato triplo revestido por polímeros (147,36 mg vaso^{-1}) foi superior em 49,4% comparado ao valor máximo encontrado após aplicação do superfosfato triplo sem revestimento (98,64 mg vaso^{-1}).

Reis et al. (2013) avaliando o estado nutricional e frações de P no cafeeiro, a fim de relacionar com a produtividade da cultura, utilizando como fonte o superfosfato triplo convencional, concluíram que a adubação fosfatada aumentou a produtividade de forma linear, com as doses crescentes de P (máxima dose = 400 kg ha de P_2O_5). Concluíram também que a reserva de P, nas folhas do cafeeiro, garante aumento da atividade metabólica nas plantas, o que possibilita maior produtividade.

A área foliar aumentou com a adubação fosfatada, alcançando os valores máximos de 3004,2 e 4269,8 cm^2, com as doses de 20 e 15,6 g vaso^{-1} de P_2O_5, ao utilizar ST e ST+Polímeros, respectivamente (Figura 5).

A área foliar é influenciada pela adubação fosfatada, como menciona Souza et al. (2014), que avaliaram doses de P no desenvolvimento inicial de cafeeiro. Os autores notaram que havia um crescimento da área foliar até a dose de 501 g vaso^{-1} de P_2O_5, chegando a 800 cm², e que, com o incremento das doses não havia respostas, quanto ao aumento da área foliar. A mesma tendência de resposta é observada neste trabalho, onde o crescimento foi linear utilizando superfosfato convencional, porém o maior valor foi encontrado na dose de 15,6 g vaso^{-1} de P_2O_5 de superfosfato triplo revestido com polímero, 4269,8 cm^2, mostrando que a liberação lenta de P influenciou o aumento da área foliar.

A adubação fosfatada reduziu linearmente a eficiência agronômica até os valores de 4,30 e 7,43 g de matéria seca de planta/g P_2O_5 com a dose, na dose de 20 g P_2O_5 vaso^{-1}, utilizando ST e ST+Polímero, respectivamente (Figura 6).

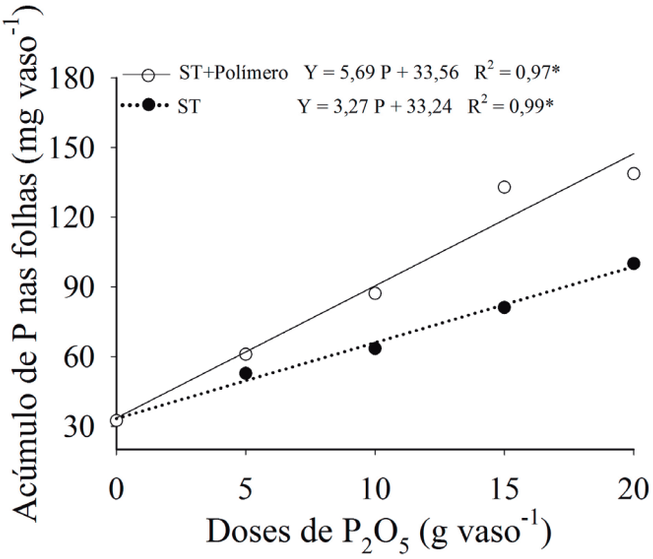

FIGURA 4 - Efeito da aplicação do Superfosfato triplo (ST) e Superfosfato Triplo, revestido por polímeros (ST+Polímero) em diferentes doses de P_2O_5, no acúmulo de P nas folhas, após nove meses de cultivo do cafeeiro.

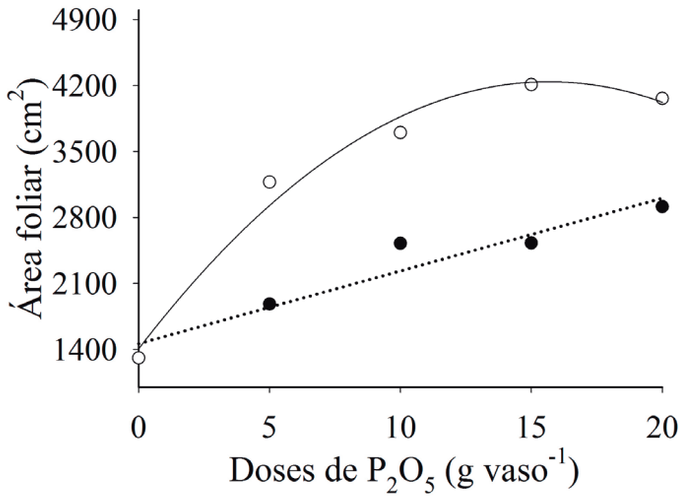

FIGURA 5 - Efeito da aplicação do Superfosfato triplo (ST) e Superfosfato Triplo, revestido por polímeros (ST+Polímero), em diferentes doses de P_2O_5 na área foliar, após nove meses de cultivo do cafeeiro.

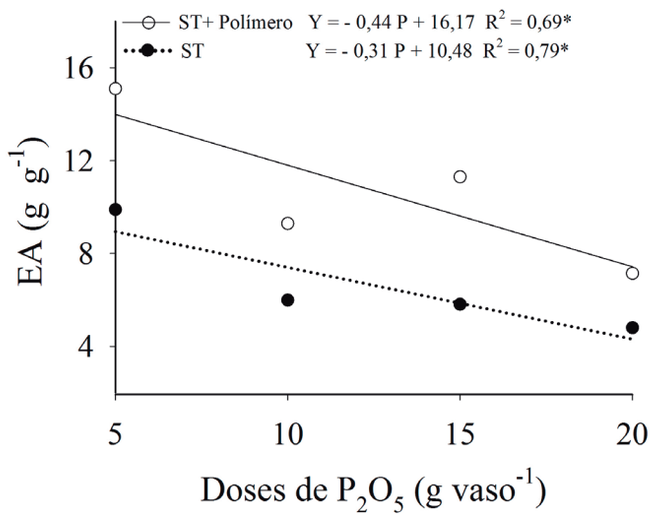

FIGURA 6 - Efeito da aplicação do Superfosfato triplo (ST) e Superfosfato Triplo, revestido por polímeros (ST+Polímero), em diferentes doses de P_2O_5 na eficiência agronômica (EA), após nove meses de cultivo do cafeeiro.

Relacionados à eficiência agronômica, ainda faltam trabalhos com fertilizantes fosfatados de liberação lenta ou controlada, no cultivo do cafeeiro. Fageria, Santos e Reis Júnior (2014), estudando a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados, revestidos por polímeros, na cultura do arroz, encontraram a seguinte sequência decrescente: superfosfato simples revestido com polímeros = superfosfato triplo > superfosfato triplo revestido com polímeros > superfosfato simples amoniado revestido com polímeros > superfosfato simples > MAP > superfosfato simples amoniado.

Chagas et al. (2015), estudando a eficiência agronômica do MAP revestido com polímeros na cultura da alface, encontraram diferenças entre as fontes, notando que o MAP revestido com polímero foi superior ao MAP convencional, em uma faixa de dose de 100 a 400 mg de P_2O_5 aplicado e, o mesmo ocorre neste trabalho, em que

o superfosfato triplo revestido por polímeros foi superior ao superfosfato triplo convencional, em todas as doses, como mencionado anteriormente. Machado e Souza (2012) reportam que o uso de fontes de P de liberação controlada faz com que a disponibilidade no solo aumente ao longo do tempo e relatam que o efeito é mais pronunciado em solo de textura argilosa, como o solo deste estudo.

Estes estudos mostram como o revestimento do grânulo de fertilizantes com polímeros pode trazer benefícios a diferentes tipos de culturas e, no caso do crescimento inicial do cafeeiro, fase importante do desenvolvimento da cultura e que determina a produtividade das futuras safras.

4 CONCLUSÕES

O revestimento do superfosfato triplo com polímeros promoveu maior crescimento inicial e eficiência agronômica, em comparação ao superfosfato triplo convencional.

5 REFERÊNCIAS

CHAGAS, W. F. T. et al. Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of polymer-coated MAP in lettuce crops. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 2, p. 266-276, 2015.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, MG, 1999. 310 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos, safra2014/15, nono levantamento, junho2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_3 _boletim_graos_junho_2015.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2015.

DIAS, K. G. et al. Coffee yield under different phosphorus sources and levels. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 2, p. 110-120, mar./abr. 2015.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Phosphorus doses and irrigation on nutrition of coffee leaf. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1235-1240, 2014.

DORAHY, C. G. et al. Phosphorous use efficiency by cotton grown in an alkaline soil as determining using 32P and 33P radioisotopes. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 31, n. 11, p. 1877-1888, 2008.

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

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; MORAES, M. F. Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 41, n. 22, p. 2676-2684, 2010.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; REIS JÚNIOR, R. A. Agronomic evaluation of phosphorus sources in lowland rice production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 45, p. 2067-2091, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, p. 109-112, 2014.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2011.

MACHADO, V. J. et al. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2012.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 471-550.

REIS, T. H. P. et al. Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 765-773, jul. 2013.

REIS JUNIOR, R. A.; SILVA, D. R. G. Avaliação das características físicas e físico químicas de fertilizantes nitrogenados e fosfatados revestidos por polímeros. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 24, n. 2, p. 145-150, 2012.

SANTINI, J. M. K. et al. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, jul./ago. 2011.

SILVA, D. R. G. et al. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 516-523, maio/jun. 2011.

SOUZA, A. J. J. et al. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial de cafeeiros em solos com diferentes texturas. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 284-288, 2014.

TAKASHI, S.; ANWAR, M. R. Wheat grain yield, phosphorous uptake and soil phosphorous fration after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. **Field Crops Research**, Canberra, v. 101, n. 2, p. 160-171, 2007.

VILELA, D. J. M. **Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de Nitrogênio, Fósforo e Potássio**. 2014. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

ZAVASCHI, E. et al. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1200-1206, 2014.

ISSN 1809-6875