

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM PULVERIZAÇÃO HIDROPNEUMÁTICA NA CULTURA DO CAFÉ

João Eduardo Ribeiro da Silva¹, João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha²,
Quintiliano Siqueira Schrodin Nomelini³

(Recebido: 06 de fevereiro de 2015; aceito: 25 de julho de 2015)

RESUMO: Objetivou-se, com este trabalho, estudar a qualidade e a variabilidade, do ponto de vista do controle estatístico de processo, da deposição de calda pulverizada em folhas de cafeeiro e da perda para o solo, promovida pela aplicação com pulverizador hidropneumático, empregando diferentes volumes de calda e tamanhos de gotas. O experimento foi conduzido em café arábica no esquema fatorial 2x2, com oito repetições, sendo os fatores tamanhos de gotas (jato cônico vazio – ATR - que produziu gotas finas; e jato cônico vazio com indução de ar – TVI – que produziu gotas extremamente grossas) e volumes de calda (200 e 500 L ha⁻¹). Utilizou-se o traçador Azul Brillante para quantificar por espectrofotometria os depósitos de calda nas folhas da parte superior e inferior e em lâminas de vidro localizadas no solo. Avaliou-se a qualidade estatística das pulverizações, utilizando-se controle estatístico de processo. As cartas de controle mostram que não se detectam padrões de não aleatoriedade dentro dos tratamentos, assegurando a boa qualidade das aplicações realizadas na cultura do café. A aplicação utilizando o volume de 500 L ha⁻¹ proporciona flexibilidade na escolha da ponta hidráulica, mantendo qualidade e baixa variabilidade de deposição nas folhas do cafeeiro.

Termos para indexação: cartas de controle, *Coffea arabica*, turbo-atomizador, tecnologia de aplicação.

STATISTICAL PROCESS CONTROL APPLIED TO AIRBLAST SPRAYER ON A COFFEE CROP

ABSTRACT: The objective of this work was to study the quality and variability, from a statistical process control point of view, of the deposition on coffee crop leaves and the loss to the soil promoted by pulverization with an air-blast sprayer using different application volumes and droplet sizes. The experiment was carried out in Arabica coffee crop using the 2x2 factorial design and eight replicates, with the factors being the droplet sizes generated by two types of nozzles (hollow cone - ATR - which produced fine droplets, and hollow cone with air induction - TVI - which produced extremely large drops) and spray application volumes (200 and 500 L ha⁻¹). Brilliant Blue tracer was used to quantify by spectrophotometry the spray deposits on the leaves of the top and bottom halves of the plant and on the ground targets. The statistical quality of sprays was evaluated using statistical process control. Control charts show that there is no detectable patterns of non-randomness within treatments, ensuring the good quality of the pulverizations in the coffee crop. The spraying using the volume of 500 L ha⁻¹ provides flexibility in the choice of hydraulic nozzle, keeping quality and low variability of deposition in the coffee leaves.

Index terms: Control charts, *Coffea arabica*, boom-sprayer, application technology.

1 INTRODUÇÃO

Em lavouras que ocupam extensas áreas, como a cafeicultura empregada no Cerrado Mineiro, o modelo de produção adotado é dependente do uso de produtos fitossanitários, que atuam como importante componente no manejo da cultura (BAUER; RAETANO, 2004), sendo que um dos grandes problemas enfrentados pelos cafeicultores é a suscetibilidade da cultura a várias pragas e doenças (CARVALHO; CUNHA; SILVA, 2012). Nas últimas décadas muito se tem pensado a respeito de desenvolvimento de novas moléculas de produtos, e pouco se tem avançado em relação ao desenvolvimento da técnica de aplicação destes.

Quanto à tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários, o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) apresenta diversos desafios, principalmente no que se refere à penetração da calda no dossel da cultura e à redução da deriva. A arquitetura da planta e o grande índice de área foliar dificultam a boa penetração e cobertura das folhas através da pulverização.

Cunha et al. (2005) observaram que, dentre outras razões, as perdas e desperdícios de produtos se dão por uma não adequação do volume aplicado com as características da cultura. Segundo Viana et al. (2010), obtendo-se uma distribuição uniforme com um determinado diâmetro e número de gotas, seria possível obter sucesso em uma aplicação,

¹Universidade Federal de Uberlândia/UFU - Instituto de Ciências Agrárias/ICIAG - Programa de Pós-graduação em Agronomia/PPGA - Avenida Pará, 1720 - Bairro Umarama - Cx. P. 593 - 38.408-100 - Uberlândia - MG - joaoeduardo@doutorado.ufu.br

²Universidade Federal de Uberlândia/UFU - Instituto de Ciências Agrárias/ICIAG - Avenida Amazonas, s/n - Bloco 2E - Sala 01 - Bairro Umarama - Cx. P. 593 - 38.400-902 - Uberlândia - MG - jpcunha@iciag.ufu.br

³Universidade Federal de Uberlândia/UFU - Faculdade de Matemática/FAMAT - Avenida João Naves de Ávila, 2121 - Bloco 1F - Sala 1F120 - Bairro Santa Mônica - 38.408-100 - Uberlândia - MG - quintiliano@famat.ufu.br

mesmo com volume aplicado menor. Estudos têm sido feitos com o uso de reduzidos volumes de calda em culturas arbóreas (BALAN; ABI SAAB; SILVA, 2006; FERNANDES; FERREIRA; OLIVEIRA, 2010), e esta técnica tem se mostrado promissora.

Segundo Bauer e Raetano (2004), a ponta de pulverização é de fundamental importância, por determinar diversos fatores relacionados à qualidade da aplicação, como a vazão e a uniformidade de distribuição do líquido. As pontas com indução de ar utilizam o princípio de venturi para induzir ar ao líquido, e têm como característica a geração de gotas de maior diâmetro, com ar em seu interior, as quais normalmente apresentam baixo risco de deriva (GULLER et al., 2007). Ainda segundo Fritz et al. (2012), o tamanho das gotas é indiscutivelmente um fator decisivo na deposição destas, tanto dentro como fora do alvo.

A aplicação de defensivos agrícolas tem como principal objetivo aplicar a dose correta do produto no alvo desejado e a qualidade da operação pode ser crucial para se atingir a produtividade almejada da cultura (SUGISAWA et al., 2007). Uma definição aceita para qualidade é a redução da variabilidade que, quanto menor, melhor será a confiabilidade e a aceitação do produto ou serviço (MILAN; FERNANDES, 2002). A variabilidade, segundo Montgomery (2008), é sinônimo de desperdício de dinheiro, tempo e esforços. Bonilla (1995) e Montgomery (2008) ressaltam que o controle estatístico de processos (CEP) é um conjunto de ferramentas úteis para a resolução de problemas para o alcance da estabilidade do processo e aumento da capacidade através da redução da variabilidade. No contexto da tecnologia de aplicação, a qualidade refere-se à variação dentro de limites estabelecidos, quando um mesmo tratamento é avaliado em suas diversas repetições.

Ainda, o CEP tem como objetivo detectar rapidamente alterações dos parâmetros de determinados processos para que os problemas possam ser corrigidos, antes que muitos itens não conformes sejam produzidos (MINGOTI; FIDELIS, 2001). De acordo com Gupta e Duc (1996), estudos sobre padrões de deposição de pulverizações indicam grande variabilidade de deposição dos produtos fitossanitários ao longo das faixas de aplicação, o que diminuiria a eficácia dos tratamentos.

Objetivou-se, com este trabalho, estudar a qualidade e a variabilidade, do ponto de vista

do controle estatístico de processo, da deposição de calda pulverizada nas folhas do cafeeiro e da perda para o solo promovida pela aplicação com pulverizador hidropneumático, empregando diferentes volumes de calda e tamanhos de gotas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em lavoura de café cultivar Catuai Vermelho IAC 99, com 11 anos de idade, espaçada em 3,5 x 0,7 m, pertencente ao Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Uberlândia. O índice de área foliar das plantas, medido segundo metodologia proposta por Favarin et al. (2002), foi de 5,96 m² m⁻².

Foram realizados quatro tratamentos em esquema fatorial 2x2 com oito repetições, sendo os fatores tamanho de gotas (jato cônico vazio – ATR - que produziu gotas finas; e jato cônico vazio com indução de ar – TVI – que produziu gotas extremamente grossas) e volumes de calda (200 e 500 L ha⁻¹), conforme descritos na Tabela 1. De forma a se obter os tamanhos de gotas dentro da mesma classificação ASAE S572.1, de 2009 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 2009), pontas hidráulicas de diferentes vazões nominais foram usadas, de forma a se manter a velocidade de deslocamento do conjunto trator-pulverizador em 6,2 km h⁻¹, em todos os tratamentos.

As variáveis estudadas foram deposições de calda nas folhas do cafeeiro e nas lâminas de vidro posicionadas no solo.

Utilizou-se em todos os tratamentos um pulverizador hidropneumático (turbo-atomizador) montado, modelo Arbo 360 da empresa Montana, acionado por um trator Massey Ferguson 4x2, modelo 265E, com potência de 47,8 kW (65 cv).

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado em função da homogeneidade da área, sendo que as parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de café com 20 m de comprimento e, como parcela útil foram consideradas as duas linhas centrais.

As variáveis analisadas foram as deposições de calda nas folhas das metades superior e inferior da copa das plantas, sendo que as folhas foram retiradas do terceiro e quarto pares de folhas do ramo plagiotrópico, e o escoamento de calda para o solo, coletado em lâminas de vidro posicionadas sob a copa. Em cada repetição foram coletadas 50 folhas, em cada uma das metades da copa das plantas, em cinco plantas diferentes.

TABELA 1- Descrição dos tratamentos.

Tratamento	Volume de calda (L ha ⁻¹)	Ponta	Pressão de Pulverização (kPa)	Tamanho de gotas DMV* (µm)	Classificação de tamanho de gotas (ASAE)**
1	500	Jato cônico vazio (ATR Laranja)	1207	151 µm (1000 kPa)	Fina
2	500	Jato cônico vazio com indução de ar (TVI 8002)	1158	544 µm (1000 kPa)	Extremamente Grossa
3	200	Jato cônico vazio (ATR Amarelo)	345	148 µm (500 kPa)	Fina
4	200	Jato cônico vazio com indução de ar (TVI 80015)	296	646 µm (500 kPa)	Extremamente Grossa

* Diâmetro da mediana volumétrica, conforme dados fornecidos pelo fabricante da ponta, de acordo com a pressão mais próxima à utilizada no ensaio.

**Classificação de tamanho de gotas da ASAE (2009).

Para a avaliação das perdas de calda para o solo, foram posicionadas cinco lâminas de vidro por repetição, com 36 cm² de superfície sob a área de projeção da copa, a 0,2 m do caule. Para a avaliação da deposição de calda utilizou-se o traçador Azul Brilhante, na dose de 300 g ha⁻¹, em todos os tratamentos. As folhas e lâminas foram acondicionadas em sacos plásticos e dentro de caixas térmicas até o transporte para o laboratório.

No laboratório, adicionou-se água destilada às amostras, sendo 100 mL para os sacos contendo as folhas e 25 mL para os sacos contendo as lâminas, agitando por 30 segundos; efetuou-se, posteriormente, a leitura de absorvância das soluções resultantes da lavagem em espectrofotômetro (Biospectro SP-22), calibrado para leituras no comprimento de onda de 630 nm. As áreas das folhas foram medidas, utilizando-se um medidor de área foliar (ADC BioScientific Ltd., modelo AM 300). Os dados de absorvância foram transformados em concentração (mg L⁻¹) através de curva de calibração, procedendo-se à divisão da massa de traçador pela área de coleta (área foliar ou área da lâmina de vidro) e obtendo-se a variável em estudada deposição (µg cm⁻²).

Utilizaram-se cartas de controle para avaliar a qualidade das deposições proporcionadas por cada tratamento nas folhas das metades superior e inferior e nas lâminas no solo. As cartas de controle utilizadas no estudo das repetições, dentro dos tratamentos, foram as de medidas individuais para cada tratamento, sendo o tamanho

da amostra o número de repetições e medindo-se a variabilidade pela amplitude móvel. Quando os valores das repetições se encontravam dentro dos limites calculados utilizando a amplitude móvel, a variabilidade era considerada aceitável e o processo estava sob controle estatístico.

Segundo Montgomery (2008), a amplitude móvel (*MR*) é calculada subtraindo-se o valor de uma repetição da variável em estudo em um tratamento, pela repetição anterior deste mesmo tratamento, não sendo possível estimar a *MR* para a primeira observação,

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|; \quad i = 2, \dots, n,$$

em que *n* é o número total de repetições do tratamento e *x_i* e cada valor observado.

Os limites superior e inferior de controle (LS e LI), bem como a linha central (LC) dos gráficos de controle para valores individuais, para as três variáveis e nos quatro tratamentos, (Figuras 1 a 4) foram calculados utilizando as seguintes equações (MONTGOMERY, 2008):

$$LS = \bar{x} + \frac{3 \cdot \overline{MR}}{d_2}$$

$$LC = \bar{x}$$

$$LI = \bar{x} - \frac{3 \cdot \overline{MR}}{d_2}$$

Onde $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ é a média amostral das medidas em cada variável, $\overline{MR} = \sum_{i=2}^n \frac{MR_i}{(n-1)}$

é a média das amplitudes móveis e d_2 é um valor tabelado (MONTGOMERY, 2008), que varia em função do número de repetições do tratamento.

No estudo das deposições médias dos tratamentos, foram utilizados os gráficos de deposição média para as variáveis-deposição, nas folhas das metades superior e inferior e nas lâminas no solo, nos quatro tratamentos (Figura 5). Cada figura apresenta a média de cada um dos quatro tratamentos, para aquela variável (pontos no gráfico). Os limites superior e inferior de controle (LS e LI), bem como a linha central (LC) dos gráficos de deposição média, foram calculados, segundo Montgomery (2008), utilizando as seguintes equações:

$$LS = \bar{x} + A_2 \bar{R}$$

$$LC = \bar{x}$$

$$LI = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

Onde \bar{x} é a média das médias amostrais da variável, A_2 é um valor tabelado (MONTGOMERY, 2008), que varia em função do número de repetições do tratamento e

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

é a média das amplitudes ($R = x_{máx} - x_{mín}$)

Já no estudo da variabilidade dos tratamentos, foram utilizados os gráficos de amplitude (Figura 6). Os limites superior e inferior de controle (LS e LI), bem como a linha central (LC) dos gráficos de amplitude média foram calculados utilizando as seguintes equações:

$$LS = D_4 \bar{R}$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LI = D_3 \bar{R}$$

Onde \bar{R} é a amplitude média amostral e D_3 e D_4 são valores tabelados (MONTGOMERY, 2008), que variam em função do número de repetições do tratamento.

Para cada uma das três variáveis em estudo (deposição nas folhas das metades superior e inferior e nas lâminas no solo), em cada um dos quatro tratamentos, foram calculadas as cartas de controle das repetições dos tratamentos e os seus limites inferior e superior e linha central (Figuras 1 a 4), os gráficos de controle para valores médios de deposição dos tratamentos com seus limites (Figura 5) e os gráficos de controle para amplitudes de deposição dos tratamentos com seus limites (Figura 6).

Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Minitab16® (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variâncias e os coeficientes de variação para as deposições, nas folhas das metades superior e inferior e nas lâminas no solo encontram-se na Tabela 2. As variáveis foram testadas quanto à normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e independências dos resíduos, pelos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Durbin Watson, respectivamente.

Na Figura 1, têm-se as cartas de controle referentes à aplicação utilizando a ponta ATR e 500 L ha⁻¹. Nelas não foram detectados padrões de não aleatoriedade, pois as repetições estão dentro dos limites de controle, o que significa as igualdades das medidas, em relação à média do processo. A amostra 8 obteve valores elevados nas duas metades da planta, bem como a amostra 1, na variável deposição em lâminas no solo, sendo que as demais amostras apresentaram valores próximos à média geral do experimento. Dessa forma, pode-se afirmar que o processo encontra-se sob controle estatístico.

As cartas de controle referentes ao tratamento com a ponta TVI e 500 L ha⁻¹ (Figura 2) também mostraram que não foram detectados padrões de não aleatoriedade e, portanto, o processo encontra-se sob controle estatístico.

TABELA 2 - Análises de variância das variáveis deposições nas folhas das metades superior e inferior e nas lâminas de vidro no solo.

Deposição nas folhas da metade superior das plantas				
FV	GL	QM	F	Valor-p
Volume	1	0,004714	0,9862	0,3292 ^{ns}
Tamanho de gotas	1	0,084132	17,6008	<0,001
Interação	1	0,121032	25,3205	<0,001
Resíduo	28	0,004780		
CV = 7,64%	$W = 0,9479^{ns}$	$F = 2,393^{ns}$		$DW = 2,0961^{ns}$
Deposição nas folhas da metade inferior das plantas				
FV	GL	QM	F	Valor-p
Volume	1	0,00021	0,0203	0,8877 ^{ns}
Tamanho de gotas	1	0,00330	0,3187	0,5769 ^{ns}
Interação	1	0,03548	3,4266	0,0747 ^{ns}
Resíduo	28	0,01036		
CV = 9,88%	$W = 0,9508^{ns}$	$F = 0,5556^{ns}$		$DW = 1,7349^{ns}$
Deposição nas lâminas no solo				
FV	GL	QM	F	Valor-p
Volume	1	0,0090	0,0355	0,8519 ^{ns}
Tamanho de gotas	1	3,2080	12,7075	0,0013
Interação	1	0,2074	0,8217	0,3724 ^{ns}
Resíduo	28	0,2524		
CV = 45,69%	$W = 0,556^*$	$F = 1,1995^{ns}$		$DW = 2,4552^{ns}$

^{ns} indica resíduos normalmente distribuídos, variâncias homogêneas, resíduos independentes e aceitação da hipótese H_0 , todos à significância de 0,05, pelos testes de Shapiro-Wilk, Levene, Durbin Watson e F, respectivamente.

Na variável deposição em lâminas no solo, a amostra 7 apresentou valor próximo ao limite inferior de controle, no entanto não o ultrapassando. Dessa forma, as repetições em todas as variáveis no tratamento dois se encontram entre os limites, e o processo apresenta uma boa qualidade estatística.

As cartas de controle, na Figura 3 (ponta ATR e 200 L ha⁻¹), também mostram que não foram detectados padrões de não aleatoriedade. Na metade superior da planta, a amostra 1 apresentou valor de deposição elevado, próximo ao limite superior. Na deposição em lâminas no solo, o mesmo ocorreu na amostra 6, sendo que, neste mesmo ponto, a deposição na metade inferior da planta foi próxima ao limite inferior de controle. Oscilações na deposição nas folhas e nas lâminas são esperadas desde que não ultrapassem os limites de controle, sendo que a razão do estudo através de cartas de controle é averiguar a proporção dessas diferenças e classificar o processo como sob controle ou não, do ponto de vista estatístico.

Pelas cartas de controle, apresentadas na Figura 3, as deposições proporcionadas pelo tratamento com ponta ATR e 300 L ha⁻¹ estão sob controle estatístico, pois não excederam os limites inferior e superior.

Na Figura 4 (ponta TVI e 200 L ha⁻¹), observa-se novamente que não foram encontrados padrões de não aleatoriedade para as três variáveis estudadas. No ponto 6, ocorreu aumento expressivo do valor da deposição em lâminas no solo. Observou-se também valor baixo na deposição na metade superior da copa no ponto 7, porém não superando o limite inferior de controle.

Desta forma, analisando-se as variáveis deposições nas folhas das metades superior e inferior da copa e nas lâminas no solo para os quatro tratamentos, confirma-se a baixa variabilidade, o que indica boa qualidade do ponto de vista estatístico e sugere ainda uma maior confiabilidade dos dados gerados a partir de estudos desta natureza.

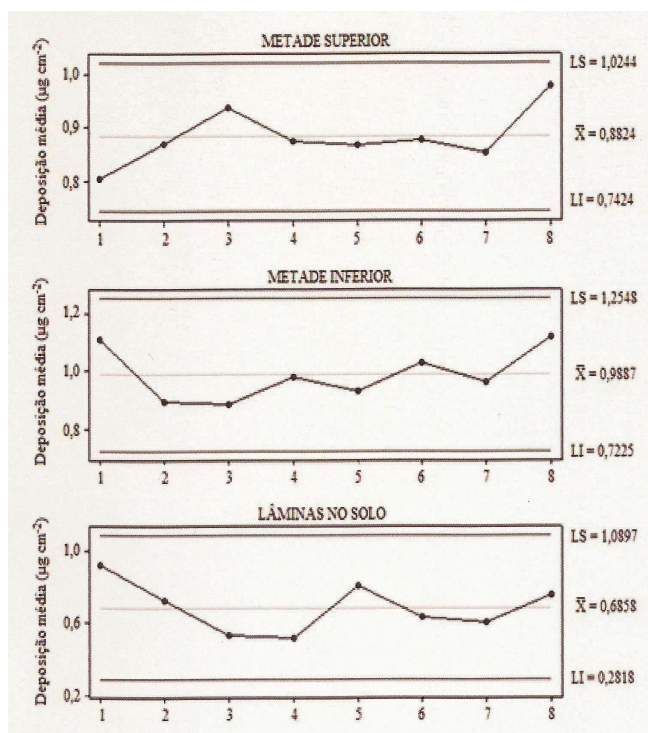


FIGURA 1 - Gráficos de controle de deposição (µg cm⁻²) para valores individuais em cada repetição (1 a 8 no eixo X), após aplicação utilizando a ponta de jato cônico ATR e 500 L ha⁻¹: a) Folhas da metade superior da planta; b) Folhas da metade inferior da planta; c) Lâminas no solo.

*LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle.

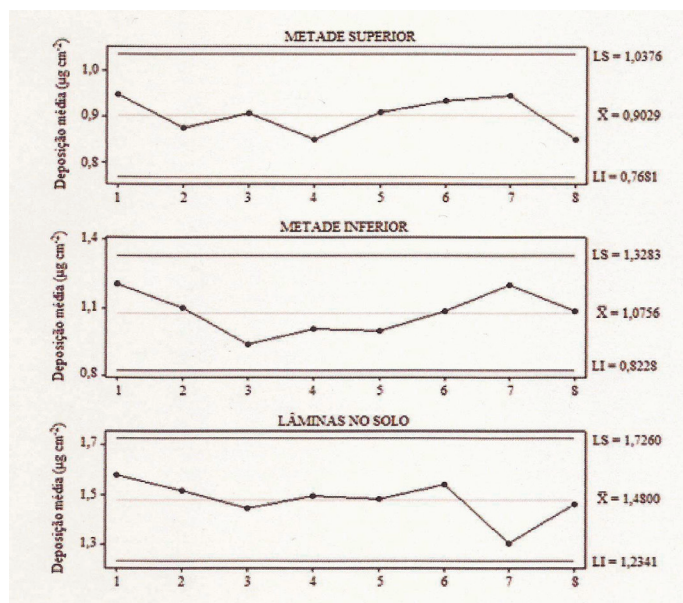


FIGURA 2 - Gráficos de controle de deposição (µg cm⁻²) para valores individuais em cada repetição (1 a 8 no eixo X), após aplicação utilizando a ponta de jato cônico com indução de ar TVI e 500 L ha⁻¹: a) Folhas da metade superior da planta; b) Folhas da metade inferior da planta; c) Lâminas no solo.

*LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle

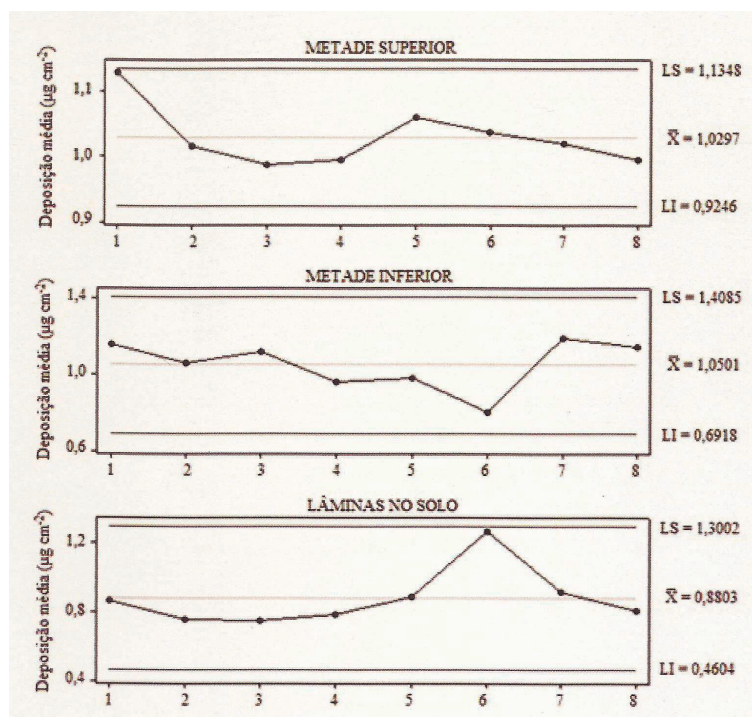


FIGURA 3 - Gráficos de controle de deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) para valores individuais em cada repetição (1 a 8 no eixo X), após aplicação utilizando a ponta de jato cônico ATR e 200 L ha^{-1} : a) Folhas da metade superior da planta; b) Folhas da metade inferior da planta; c) Lâminas no solo.

*LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle.

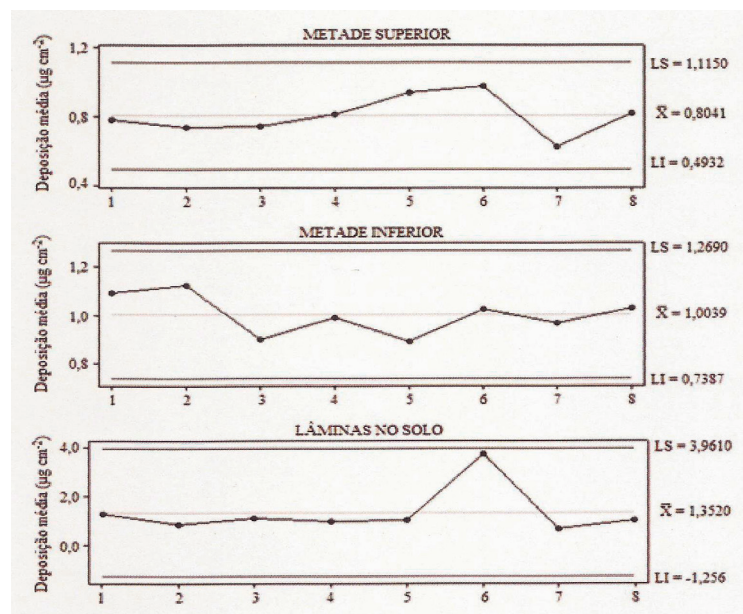


FIGURA 4 - Gráficos de controle de deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) para valores individuais em cada repetição (1 a 8 no eixo X), após aplicação utilizando a ponta de jato cônico com indução de ar TVI e 200 L ha^{-1} : a) Folhas da metade superior da planta; b) Folhas da metade inferior da planta; c) Lâminas no solo.

*LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle.

Segundo a literatura, o uso do controle estatístico de processos em operações agrícolas tem mostrado que resultados fora dos padrões preestabelecidos são frequentemente obtidos (LOPES; MILAN; COELHO, 1995; REIS et al., 2010; SILVA et al., 2007), diferindo dos resultados deste trabalho. Suguisawa et al. (2007), utilizando técnicas de controle estatístico de processo em pulverização tratorizada de herbicida na cultura do trigo, concluíram que essas ferramentas podem ser consideradas eficientes para a caracterização da variabilidade e para a análise da qualidade das operações.

Contudo, são poucos os trabalhos nesta área, com pulverização. Na área de colheita mecanizada, Toledo et al. (2008), trabalhando com controle estatístico para distribuição de palha de soja por colhedoras, verificaram que as cartas de controle foram eficientes na avaliação da qualidade do processo de colheita. Noronha et al. (2011) também chegaram a conclusões semelhantes, avaliando perdas no processo de colheita diurna e noturna da cana de açúcar, com o uso de cartas de controle.

Na Figura 5, têm-se os gráficos de controle para valores médios das variáveis deposições nas folhas das metades superior e inferior das plantas e nas lâminas no solo, para os quatro tratamentos.

Cada ponto no gráfico representa a média das oito repetições do tratamento, para a variável analisada. Os gráficos indicam a tendência de comportamento de cada tratamento, em relação à deposição média experimental para a variável analisada (linha central no gráfico) e aos limites superior e inferior de controle, calculados levando-se em conta o número de repetições dos tratamentos.

Observa-se que a ponta TVI apresentou deposição menor que a ponta ATR na metade superior da planta, quando se usou o volume de 200 L ha⁻¹. Na variável deposição nas folhas da metade inferior das plantas, as médias das duas pontas se apresentaram dentro dos limites de controle nos dois volumes de calda. Na deposição em lâminas no solo, a ponta ATR apresentou deposições menores que a deposição média experimental, em ambos os volumes de calda, sendo ainda menor que o limite inferior de controle no volume de 500 L ha⁻¹.

As maiores diferenças nas deposições nas folhas foram observadas na metade superior das plantas. A conformação do pulverizador utilizado, tendo em vista a disposição do arco com os bicos e a grande distância das pontas até a metade superior da copa das plantas, levou a uma situação em que o porte da máquina era baixo, em relação ao porte da cultura. O pulverizador empregado apresentava o bico mais alto com 1,55 m de altura, enquanto que a altura média das plantas de café, na área experimental, era de 2,00 m.

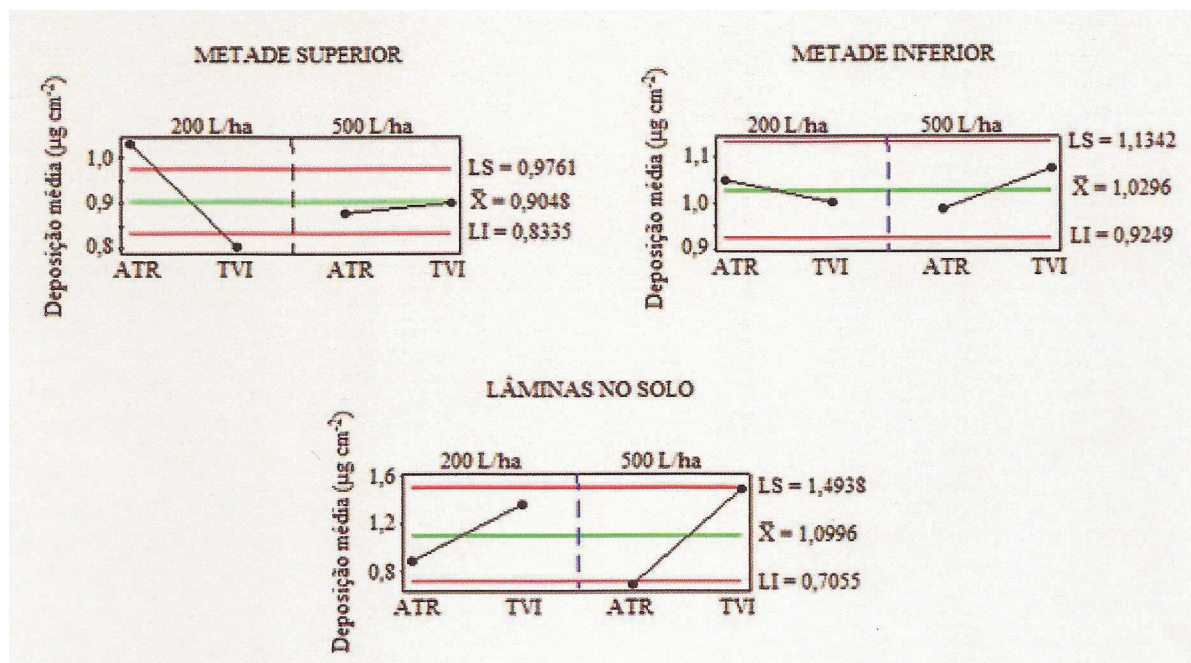


FIGURA 5 - Gráficos de controle para valores médios de deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$), nas partes superior e inferior da planta e em lâminas no solo, em função do volume de aplicação (200 e 500 L ha⁻¹) e pontas de jato cônico, sem e com indução de ar (ATR e TVI, respectivamente).

*LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle; = deposição média experimental.

Quando foi utilizado o volume de 500 L ha⁻¹, a ponta com indução de ar apresentou deposição ligeiramente maior que a ponta convencional nas duas metades da copa das plantas, sendo no entanto essas deposições iguais por estarem dentro dos limites de controle.

O uso dos gráficos com as médias de deposição e limites de controle tem como objetivo principal verificar a qualidade do processo de pulverização. Dessa forma, pode-se afirmar que a pulverização, utilizando o menor volume (200 L ha⁻¹), apresentou deposições médias nas folhas da metade superior fora dos limites de controle para ambas as pontas, diferindo da média experimental. Em relação à deposição nas folhas na metade inferior das plantas, todos os tratamentos apresentaram deposições médias dentro dos limites de controle, nos gráficos de médias.

Os tratamentos nos quais os valores médios de deposição nas folhas das metades superior e inferior mais se aproximaram da deposição média do experimento foram os que utilizaram o volume de aplicação 500 L ha⁻¹. Esse fato mostra que os tratamentos, utilizando o maior volume de aplicação, apresentaram resultados consistentes de deposição nas folhas, independente da ponta

de pulverização utilizada. Entretanto, a ponta TVI produziu maior deposição nas lâminas no solo, no volume de 500 L ha⁻¹, indicando resultado desvantajoso em relação à ponta ATR, neste mesmo volume de aplicação. Resultados semelhantes de perda para o solo também foram relatados em outros estudos com pontas de indução de ar (CZACZYK; KRUGER; HEWITT, 2012; SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2011; WENNEKER; ZANDE, 2008).

Comparando-se a amplitude de cada tratamento com os limites críticos (Figura 6), tem-se que as amplitudes para as deposições nas metades superiores e inferiores, posicionaram-se dentro dos limites de controle, indicando baixa variabilidade experimental.

Observou-se que a ponta TVI, no volume de 200 L ha⁻¹, apresentou amplitude média maior que o limite superior de controle nas deposições em lâminas no solo, como também uma amplitude média alta nas deposições em folhas da metade superior da copa. Isso demonstra que o uso de gotas grandes com o menor volume de calda produziu depósitos, tanto em folhas, quanto no solo, com variações acima das variações médias observadas nos outros tratamentos.

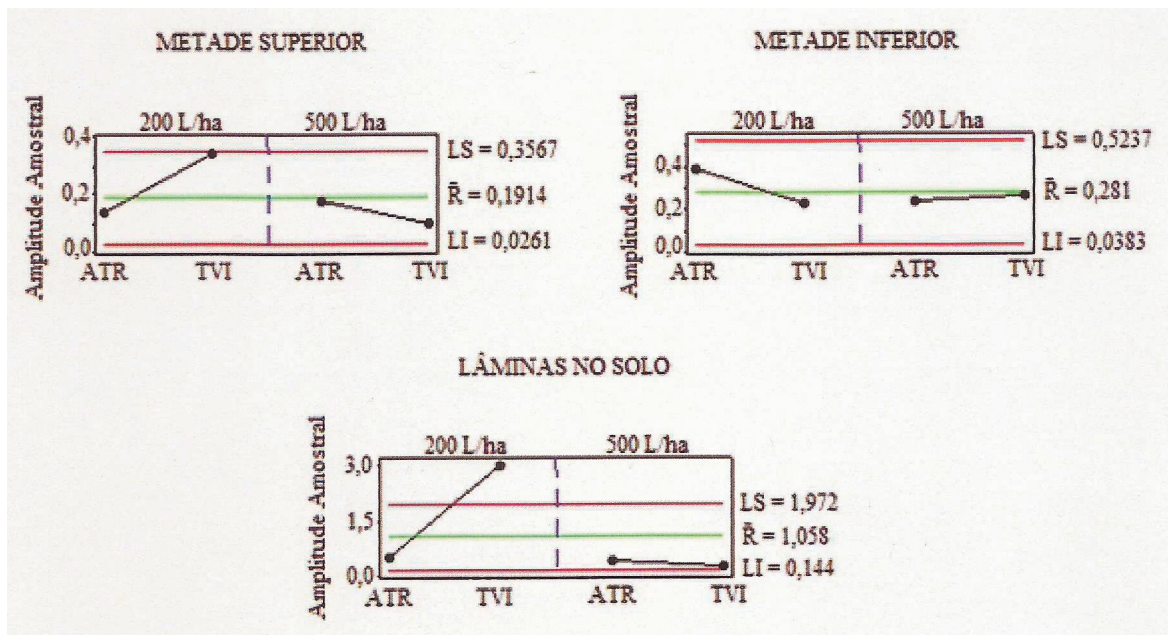


FIGURA 6 - Gráfico de controle para amplitudes de deposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$), nas partes superior e inferior da planta e em lâminas no solo, em função do volume de aplicação (200 e 500 L ha⁻¹) e pontas de jato cônico, sem e com indução de ar (ATR e TVI, respectivamente).

*LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle; : amplitude média experimental.

O baixo volume de calda para a cultura, associado com o maior tamanho de gotas, gerou uma distribuição de gotas insatisfatória, com alta amplitude amostral, ou resultados com alta variabilidade, como pode ser comprovado pelos gráficos de controle para amplitudes de deposição, para esta variável.

No volume de 500 L ha⁻¹, as duas pontas apresentaram amplitudes de deposição em folhas próximas à amplitude média do experimento nas duas metades da planta, bem como amplitude média de deposição nas lâminas no solo também abaixo da amplitude média experimental. Isso indica que a pulverização, produzida por estas pontas no volume de 500 L ha⁻¹ apresenta baixas variações, dentro do processo (BONILLA, 1995; MILAN; FERNANDES, 2002; MONTGOMERY, 2008).

De forma geral, observou-se menor variabilidade dos dados com o volume de 500 L ha⁻¹, devido ao melhor molhamento das plantas. De fato, este volume de calda é mais amplamente utilizado pelo produtor para aplicações foliares na cultura do café. O fato de a ponta com indução de ar apresentar boa qualidade estatística de deposições e baixa amplitude amostral indica a possibilidade de aplicações com baixo risco de deriva, para o ar.

4 CONCLUSÕES

A pulverização hidropneumática na cultura do café, sob o ponto de vista estatístico, apresenta bom padrão de qualidade quanto à repetição das deposições nas folhas e lâminas no solo ao longo da aplicação, significando cobertura consistente independente de tamanhos de gotas e volumes de calda empregados.

A aplicação utilizando o volume de 500 L ha⁻¹ proporciona flexibilidade na escolha do tamanho de gota, mantendo qualidade e baixa variabilidade de deposição nas folhas do cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

À CAPES, à Embrapa e ao CNPq, pela concessão de auxílio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Spray nozzle classification by droplet spectra: S572.1**. Saint Joseph, 2009. 4 p.

BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G. Depósito e perdas de calda em sistemas de pulverização com turbo-atomizador em videira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 470-477, 2006.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-284, 2004.

BONILLA, J. A. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura**. 2. ed. Contagem: Littera Maciel, 1995. 250 p.

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

CUNHA, J. P. A. R. et al. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em função de bico de pulverização e de volume de calda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 133-138, 2005.

CZACZYK, Z.; KRUGER, G.; HEWITT, A. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v. 52, n. 4, p. 415-420, 2012.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; OLIVEIRA, C. A. L. Eficiência de diferentes ramais de pulverização e volumes de calda no controle de *Brevipalpus phoenicis* na cultura do café. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 130-135, 2010.

FRITZ, B. K. et al. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v. 52, n. 4, p. 447-457, 2012.

GULLER, H. et al. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transaction of ASABE**, Saint Joseph, v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007.

GUPTA, C. P.; DUC, T. X. Deposition studies of a hand-held air assisted electrostatic sprayer. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 39, n. 5, p. 1633-1639, 1996.

LOPES, M. B.; MILAN, M.; COELHO, J. L. D. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. **Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, p. 26-30, 1995.

- MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.
- MINGOTI, S. A.; FIDELIS, M. T. Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processo. **Revista Produto & Produção**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 55-70, 2001.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 6th ed. New York: J. Wiley, 2008. 734 p.
- NORONHA, R. H. F. et al. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.
- REIS, E. F. et al. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine max L.*). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 958-966, set./out. 2010.
- SILVA, R. P. et al. Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 742-752, set./dez. 2007.
- SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, p. 1149-1156, 2011. Número especial.
- SUGUISAWA, J. M. et al. Qualidade da aplicação de herbicida em lavoura de trigo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 41-47, 2007. Número especial.
- TOLEDO, A. et al. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 710-719, 2008.
- VIANA, R. G. et al. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.
- WENNEKER, M.; ZANDE, J. C. Drift reduction in orchard spraying using a cross flow sprayer equipped with reflection shields (Wanner) and air injection nozzles. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, Pequim, v. 10, p. 1-10, 2008.