

**PULVERIZAÇÃO HIDROPNEUMÁTICA USANDO EQUIPAMENTOS COM E SEM ASSISTÊNCIA ELETROSTÁTICA EM CAFEIEIRO CONILON**Edney Leandro da Vitória¹, Joice Paraguassú Rodrigues², Carla da Penha Simon³ & Raphaela Correia Pereira⁴1- Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto da UFES, Campus São Mateus-ES. e-mail: edney.vitoria@ufes.br2- Engenheira Agrônoma, Mestrando PPGAT/UFES, Campus São Mateus. e-mail: joice_820@hotmail.com3- Engenheira Agrônoma, Mestrando PPGAT/UFES, Campus São Mateus. e-mail: carlasimon2009@hotmail.com4- Engenheira Agrônoma, Mestrando PPGAT/UFES, Campus São Mateus. e-mail: raphaela_correia@hotmail.com**Palavras-chave:**

Tecnologia de aplicação
Coffea canephora
baixo volume de aplicação
pulverização eletrostática

RESUMO

Objetivou-se avaliar a deposição de calda pulverizada e espectro de gotas no cafeeiro Conilon e as perdas proporcionadas com pulverizador hidropneumático, com e sem assistência eletrostática. O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso, com oito tratamentos (volumes de calda) e quatro repetições. Os volumes de calda com e sem assistência eletrostática, após diferirem em todas as características avaliadas no teste Skott-Knott, foram estudados separadamente. Para análise estatística da deposição, utilizou-se o esquema fatorial 4 (volumes de calda) x 2 (posições). Para análise do espectro de gotas, utilizou-se o esquema fatorial 4 (volumes de calda) x 3 (posições). Os volumes de calda pulverizados com a assistência eletrostática mostram resultados promissores para a tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários no cafeeiro Conilon, visto que a endoderiva foi reduzida em até 850%, a exoderiva em 323% e apresentou índices satisfatórios de cobertura e densidade de gotas.

Keywords:

Application technology
hydropneumatic sprayer
low application volume
electrostatic spraying

HYDROPNEUMATIC SPRAYING USING ELECTROSTATIC ASSISTANCE IN COFFEA CANEPHORA**ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate spray deposition and droplet spectra in the Conilon coffee and the losses provided with a hydropneumatic sprayer by applying eight different volumes of spray mixture with electrostatic assistance (234, 255, 273 and 290 L ha⁻¹) and without electrostatic assistance (498, 609, 700 and 782 L ha⁻¹). The experiment was set in randomized blocks design, with eight treatments (spray volumes) and four replications. The volumes of spray mixture with and without electrostatic assistance, after differing in all characteristics evaluated in the Skott-Knott test, were studied separately. Statistical analysis of the deposition was performed using the factorial scheme 4 (volumes of spray mixture) x 2 (positions). For analysis of the droplet spectrum, the factorial scheme 4 (volumes of spray mixture) x 3 (positions) was used. The spray volumes with electrostatic assistance show promising results for the application technology of plant protection products in Conilon coffee, as the endo-drift was reduced by 850%, the exo-drift by 323% and presented satisfactory coverage and density indexes of drops.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do Brasil, apresentando grande importância social e econômica. Cultiva-se basicamente duas espécies, *Coffea arabica* Linnaeus e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. No país, o parque cafeeiro totaliza 2,23 milhões de hectares, com uma produção de 51,37 milhões de sacas beneficiadas em 2016 (CONAB, 2017).

O Estado do Espírito Santo é destaque nacional na produção cafeeira, sendo o maior produtor de café Conilon do país, com produção de 5,03 milhões de sacas beneficiadas em 2016, correspondente a 63% da produção nacional, com um parque cafeeiro de mais de 260 mil hectares, com a maior área do país, seguido de Rondônia (94 mil hectares) e Bahia (58 mil hectares) (CONAB, 2017).

Segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (2017), as lavouras de café Conilon no Espírito Santo vêm sendo renovadas e revigoradas na ordem de 7% a 8% ao ano, sob novas bases tecnológicas, com cultivares clonais mais produtivas, nutrição adequada, poda, irrigação, manejo de pragas e doenças e a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, que, com certeza, poderão contribuir para aumentar de forma significativa a produção e melhoria na qualidade final do produto do café.

Um dos grandes problemas enfrentados pelos cafeicultores é a suscetibilidade da planta de café às várias pragas e doenças, que aparecem desde a fase de viveiro até a lavoura no campo, elevando os custos e reduzindo tanto a produção quanto a qualidade do produto final (CARVALHO *et al.*, 2012).

No modelo agrícola atual, o controle químico tem sido o método mais utilizado entre as táticas de manejo para conter as infestações de pragas e doenças, o que faz com que o produtor rural seja cada vez mais cobrado sobre a correta e criteriosa utilização dos produtos fitossanitários. Contudo, o que se observa no campo é a falta de informação em torno da tecnologia de aplicação.

O cafeeiro apresenta diversos desafios para a tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários, principalmente no que se refere à penetração da calda no dossel da cultura e à redução da endoderiva e exoderiva (GITIRANA NETO

et al., 2016). A arquitetura da planta e o índice de área foliar dificultam a cobertura das folhas pela calda aplicada. Uma das formas de se obter boa deposição em alvos biológicos é a escolha correta da técnica de pulverização e do volume de calda (CUNHA *et al.*, 2011).

A cultura do café de forma geral apresenta grandes variações em suas lavouras, que ocorrem principalmente devido às diferenças entre genótipos, idade das plantas, manejo de poda e nível tecnológico adotado, resultando em diferenças no porte da planta, na densidade de folhas e arquitetura de copa, o que exige medidas específicas para cada situação, de modo a permitir uma melhor distribuição de calda. Observa-se que em lavouras desfolhadas há uma maior facilidade no recobrimento das plantas, contudo podem ocorrer desperdícios, principalmente onde os pulverizadores são calibrados tendo como base os cafês mais enfolhados. Rosell Polo *et al.* (2009) observaram que, dentre outras razões, desperdícios e perdas de produtos podem ocorrer devido a inadequação do volume aplicado com as características da cultura, destacando os aspectos estruturais da copa.

A distribuição do ingrediente ativo na parte aérea da planta e a deposição dependem de diversos fatores, tais como: tamanho e forma da planta, densidade de plantio, tamanho da gota, volume de aplicação, velocidade de trabalho, velocidade e direção do vento, tipo de equipamento e vazão de ar dos ventiladores (RAETANO, 1996), observando-se também os tipos de adjuvantes, densidade de folhas e índice de área foliar.

Dentro da tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários, a qualidade da cobertura do alvo está relacionada ao diâmetro de gotas e ao volume de calda, bem como a fatores do clima (umidade, vento e temperatura) e da planta (altura, arquitetura e densidade de folhas). Em geral, gotas menores proporcionam melhor cobertura, além de maior capacidade de penetração no dossel da planta, enquanto gotas maiores contribuem para uma aplicação mais segura, com menor risco de deriva. De fato, o tamanho de gota tem sido uma preocupação cada vez mais constante quanto à tecnologia de aplicação, por ser este também um dos principais fatores relacionados com a perda

de defensivos para o ambiente (VITÓRIA E CAMPANHARO, 2016).

Viana et al. (2010) observaram que obtendo-se uma distribuição uniforme com um determinado diâmetro e número de gotas, seria possível obter sucesso em uma aplicação, mesmo com volume aplicado menor. Estudos têm sido feitos com o uso de reduzidos volumes de calda em culturas arbóreas (BALAN et al., 2006; FERNANDES et al., 2010).

O uso de pulverizadores com assistência eletrostática, assistidos por ar, podem melhorar a deposição e distribuição geral na cobertura foliar, reduzindo a deriva de pulverização (MACHOWSKI e BALACHANDRAN, 1997; ESEHAGHBEYGI, et al. 2010), pois os campos de força eletrostática orientam as trajetórias das gotas pulverizadas, embora não necessariamente da maneira desejada (MASKI e DURAIRAJ, 2010).

Alguns estudos têm demonstrado a vantagem do uso do sistema eletrostático, como o realizado por Sasaki et al. (2013) e Gitirana Neto et al. (2016) na cultura do café Arábica, os quais verificaram que o sistema eletrostático aumentou a deposição de líquido em 37% e 159%, respectivamente. Gitirana Neto et al. (2016) ainda demonstraram que as perdas para o solo foram reduzidas com o uso do pulverizador com a assistência eletrostática, demonstrando ser uma técnica promissora.

Pesquisas acerca da tecnologia de aplicação no cafeeiro Conilon ainda são escassas, inclusive sem nenhum relato de estudos da pulverização com assistência para a cultura. Apesar de serem do mesmo gênero, o café Conilon e o Arábica apresentam grandes diferenças em sua arquitetura foliar e conseqüente manejo da cultura, daí a importância da realização de estudos dessa tecnologia no cafeeiro Conilon, apesar de já existirem estudos com o café Arábica.

Dessa forma, objetivou-se avaliar a deposição de calda pulverizada e espectro de gotas no cafeeiro Conilon e as perdas proporcionadas com pulverizador hidropneumático, com e sem assistência eletrostática.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma propriedade rural particular no município de

Montanha, norte do Estado do Espírito Santo, situada na latitude 18° 07' 43,6" S e longitude 40° 17' 13,8" O, a 180 m de altitude. A região é caracterizada pelo clima tropical, apresenta verão quente e úmido e inverno seco, classificado como Aw, de acordo com a classificação proposta por Köppen (ALVARES et al., 2013).

As unidades experimentais foram implantadas em uma lavoura de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), de aproximadamente 2,5 anos de idade e irrigação localizada. A lavoura apresentava altura média de 2,0 metros e espaçamento de 3,50 x 1,0 metros, totalizando um estande de 2857 plantas ha⁻¹.

Utilizou-se nos tratamentos dois pulverizadores hidropneumáticos, ambos modelo Jacto Arbus 2000 TF, com depósito com capacidade de 2000 L. O pulverizador utilizado sem assistência eletrostática possui 14 bicos montados em dois arcos curvos nas laterais, condução de ar comum a todos os bicos, bomba de pistões de 75 L min⁻¹, ventilador axial com diâmetro de 725 mm e vazão de ar de 5,1 m³ s⁻¹, conforme especificações do fabricante. A ponta utilizada em todos os porta bicos foi o J4-2 cone vazio da Jacto. Para acionar o pulverizador, empregou-se um trator YANMAR Modelo 1155-4 SE, com potência de 40,5 kW (55cv).

O segundo pulverizador, equipado com assistência eletrostática em todas as pontas, possui o mesmo número de pontas, no entanto, foi usado o modelo SPE-2 Cinza Jato cônico vazio do Sistema de Pulverização Eletrostático (SPE). O sistema de assistência eletrostática produz um campo elétrico de alta voltagem (5000 V) na base do jato de pulverização, produzido por pontas de jato cônico vazio, carregando eletricamente as gotas. A carga gerada é devido ao campo elétrico produzido por anéis de indução ligados a um gerador de alta voltagem. O trator utilizado para acionar este pulverizador foi um JOHN DEERE Modelo 5425N 4 x 2 TDA, com potência de 57,5 kW (78 cv).

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições (Tabela 1). Cada repetição foi composta por quatro pontos amostrais (quatro plantas).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos.

Volume de Calda (L ha ⁻¹)	Assistência Eletrostática	Ponta	Pressão (kPa)	Velocidade de deslocamento (m s ⁻¹)
234	Com	Jato Cônico vazio (SPE 2 Cinza)	500	1,61
255	Com	Jato Cônico vazio (SPE 2 Cinza)	600	1,61
273	Com	Jato Cônico vazio (SPE 2 Cinza)	700	1,61
290	Com	Jato Cônico vazio (SPE 2 Cinza)	800	1,61
498	Sem	Jato cônico vazio (J4-2)	700	1,65
609	Sem	Jato cônico vazio (J4-2)	1050	1,65
700	Sem	Jato cônico vazio (J4-2)	1400	1,65
782	Sem	Jato cônico vazio (J4-2)	1750	1,65

O ensaio foi conduzido no mês de setembro de 2016, após a realização da colheita do café, feita normalmente de março a agosto. Trata-se de um período no qual é comum a realização de tratamentos fitossanitários.

As condições ambientais durante os ensaios de campo foram monitoradas de tal forma que os ensaios fossem realizados de acordo com a norma ISO 22866 (2005), observando os seguintes requisitos: a) número de medições de vento menor que 1 m s⁻¹ não deve exceder 10%; b) direção do vento deve ser de 90° ± 30° em relação à faixa de pulverização; c) frequência de direção do vento menor que 45° para a faixa de pulverização não deve ser superior a 30% e d) a temperatura média deve ser entre 5° C e 35° C.

Para avaliação da deposição de calda no dossel do cafeeiro e perdas para o solo (endoderiva), por evaporação e carreamento pelo vento (exoderiva), foi utilizado um traçador composto do corante alimentício azul, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1 (Azul brilhante), na dose de 2 g L⁻¹, para ser detectado por absorvância em espectrofotometria. O corante foi previamente pesado em laboratório e acondicionado em sacos plásticos identificados, para que a dose em toda área experimental fosse

mantida.

Foram determinadas as deposições de calda nos seguintes pontos: em folhas da metade superior e inferior da copa, escorrimento da calda da planta para o solo (endoderiva) e exoderiva.

A deposição na copa das plantas foi avaliada após a passagem do pulverizador, onde foram coletadas duas folhas da metade superior da planta e duas da metade inferior. As folhas foram retiradas do terceiro e quarto pares de folhas do ramo plagiotrópico, posteriormente acondicionadas em sacos plásticos, separadamente para cada extrato da planta e acondicionadas em caixa de isopor.

Para quantificação das perdas de calda para o solo, foram colocadas placas de petri com 176,7 cm² cada, sob a copa das plantas de café da parcela útil, dentro da área de projeção, a 0,2 m do caule, sendo uma placa de petri para cada sub-amostra. As placas ficaram na linha do lado esquerdo (em relação à passagem do trator). Após a passagem do pulverizador, as placas foram recolhidas do solo e acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificados em caixa de isopor.

Para avaliação da exoderiva, foram colocadas quatro etiquetas plásticas adesivas, com 64 cm² cada, em estacas que estavam fixadas junto ao caule da planta. As etiquetas ficaram 0,3 m acima da

altura da planta. Após a passagem do pulverizador, as etiquetas foram recolhidas e acondicionadas em sacos plásticos e, posteriormente, foram levadas com os demais materiais coletados ao Laboratório Agrônomo de Análise de Solo, Folha e Água (LAGRO) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (CEUNES/UFES), para análise da deposição do traçador (corante) através de espectrofotometria de UV visível.

Em laboratório, segundo metodologia proposta por Bócoli et al. (2012) adaptada, adicionou-se 50 mL de água destilada a cada saco plástico, que continha as folhas, placas de petri e etiquetas plásticas adesivas, e promoveu-se agitação por 30 segundos no próprio saco para remoção do traçador. O líquido resultante da lavagem foi acondicionado em tubos de ensaio, sendo um para cada saco plástico. Posteriormente, efetuou-se a leitura de absorvância dessas soluções em um espectrofotômetro da marca Thermo Electron Corporation, modelo Genesys 10 UV, regulado para medir a absorvância num comprimento de onda de 630 nm. Para tanto, retirou-se do líquido contido nos tubos de ensaio uma alíquota de 4 mL, quantidade esta que foi colocada em uma cubeta de vidro, na qual se realizou a leitura no espectrofotômetro.

A área das folhas foi medida posteriormente com um medidor de área foliar Li-Cor Li-3100. As folhas foram medidas individualmente, sendo feita uma média da deposição das duas folhas que representaram a metade inferior e superior da copa de cada planta da parcela útil.

Os valores de absorvância obtidos através da leitura de cada amostra no espectrofotômetro foram transformados em concentração (mg L^{-1}), adotando-se a equação da curva-padrão estabelecida pelas diluições (1/100, 1/200, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000) da amostra da calda coletada no tanque do pulverizador, após a aplicação. De posse da concentração inicial da calda (2000 mg L^{-1}) e do volume de diluição das amostras (50 mL), determinou-se a massa de corante retida no alvo. Então, procedeu-se a divisão do depósito total pela área de remoção, obtendo-se a quantidade em $\mu\text{L cm}^{-2}$.

Para o estudo do espectro de gotas, foram

utilizadas etiquetas de papel hidrossensível, segundo metodologia descrita por Vitória e Campanharo (2016), que ficaram posicionadas nos terços inferiores, médios e superiores da planta. As etiquetas foram previamente fixadas antes da passagem do pulverizador em uma estaca que estava posicionada junto ao caule de cada planta útil. Após a passagem do pulverizador, as etiquetas foram recolhidas e acondicionadas em sacos de papel, para que não houvesse interferência da umidade.

Todas as etiquetas foram digitalizadas a 600 dpi de resolução em uma impressora multifuncional “HP Photosmart D110 Series” e submetidas às análises de cobertura, espectro e densidade de gotas pelo software ImageTool versão 3® (WILCOX et al., 2002), obtendo-se os seguintes parâmetros: diâmetro da mediana volumétrica (DMV ou $D_{v0,5}$): diâmetro de gota tal que 50 % do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor, sendo expresso em micrômetro (μm); densidade de gotas: refere-se ao número de impactos da pulverização por unidade de área, expresso em gotas cm^{-2} , obtido em função do diâmetro de gotas (μm) e do volume de pulverização (L ha^{-1}); cobertura: corresponde à parte da superfície do alvo coberta pela calda pulverizada, sendo expressa em porcentagem (%).

Inicialmente, efetuou-se a análise de variância dos dados de deposição do corante, para as variáveis de deposição em folhas da metade superior e inferior da copa, assim como para exoderiva e endoderiva. Posteriormente, realizou-se o teste de agrupamento de Scott-Knott. Verificado as diferenças entre os volumes de calda com e sem assistência eletrostática, para todas as características avaliadas, procedeu-se o estudo separadamente. Para isso, utilizou-se o esquema fatorial 4×2 , sendo o primeiro fator o volume de calda e o segundo a posição (superior e inferior), tanto para deposição na copa quanto para deriva.

Assim, como no estudo de deposição, para o estudo de espectro de gotas, procedeu-se as análises dos volumes de calda pulverizados com e sem assistência eletrostática, separadamente. Para as características avaliadas (DMV, cobertura e densidade), utilizou-se o esquema fatorial 4×3 , sendo o primeiro fator o volume de calda e o

segundo a posição (superior, média e inferior). Todas as análises estatísticas supracitadas foram feitas com o auxílio do software Assistat 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando-se o teste Scott-Knott às médias de deposição de calda nas folhas da metade superior e inferior da copa do cafeeiro, na placa de Petri no solo (endoderiva) e na etiqueta acima da planta (exoderiva), com a aplicação realizada por pulverizador hidropneumático com e sem assistência eletrostática, observou-se que essas duas formas de pulverização formaram dois grupos distintos, com os valores mais elevados de deposição da calda na pulverização, sem a assistência para todas as características avaliadas (Tabela 2).

Tendo em vista que o teste Scott-Knott agrupou os volumes de calda de acordo com a presença ou ausência da assistência eletrostática, procedeu-se o estudo destes volumes de calda de forma separada, já que para todas as características avaliadas os grupos se mostraram distintos.

Os volumes de calda, nos quais foram feitas as pulverizações nos tratamentos sem assistência eletrostática, foram significativamente maiores que os volumes de calda utilizados com a assistência

eletrostática, o que pode vir a explicar os maiores depósitos do grupo com assistência eletrostática. Isso se dá pelo fato de que os volumes foram definidos através do ajuste entre as pressões permitidas para as pontas de pulverização utilizadas em cada pulverizador, de acordo com dados dos fabricantes. Porém, mesmo sabendo previamente que os volumes de calda por área eram distintos, essa comparação foi necessária entre os dois sistemas de pulverização, para que se pudesse estudar o possível uso da assistência eletrostática em substituição da aplicação convencional no cafeeiro Conilon, visto que o uso dessa tecnologia na cultura em questão carece de estudos. Souza *et al.* (2012) comentam sobre a dificuldade de se avaliar depósitos, em virtude da desuniformidade de um processo de pulverização realizado em condições de campo.

A deposição de calda na copa, com a pulverização sem assistência eletrostática na metade inferior e superior da copa, foi 1,7 e 2,2 vezes, respectivamente, maiores do que a pulverização com a assistência eletrostática. Porém, para este incremento, o volume de calda chegou a ser 3,3 vezes maior, o que acarretou também maiores perdas na endoderiva e exoderiva. Xiongkui *et al.* (2011), testando o sistema eletrostático em pulverizações em pomar, comprovaram que este sistema dobrou a deposição em comparação a deposição obtida pela

Tabela 2. Médias de deposição de calda nas folhas do cafeeiro e deriva ($\mu\text{L cm}^{-2}$), após aplicação utilizando pulverizador hidropneumático com e sem assistência eletrostática.

Volume de Calda (L ha ⁻¹)	Assistência eletrostática	Deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$)			
		Copa		Deriva	
		Superior	Inferior	Endoderiva	Exoderiva
234	Com	0,178b	0,233b	0,019b	0,088b
255	Com	0,217b	0,290b	0,026b	0,057b
273	Com	0,185b	0,266b	0,030b	0,070b
290	Com	0,173b	0,282b	0,030b	0,116b
498	Sem	0,441a	0,509a	0,296a	0,419a
609	Sem	0,501a	0,431a	0,233a	0,359a
700	Sem	0,369a	0,474a	0,195a	0,264a
782	Sem	0,403a	0,399a	0,264a	0,347a
	CV (%)	36,43	21,62	60,73	53,51

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

pulverização convencional. Já Sasaki et al. (2013) relataram nos estudos em café Arábica que o sistema eletrostático foi eficiente na pulverização, proporcionando incremento na deposição de calda de 37%, quando comparado com a aplicação com o sistema eletrostático desligado. Pascuzzi e Cerruto (2015) observaram um incremento de 44% na deposição média foliar em vinhedos com a assistência eletrostática e destacaram que a maior diferença foi observada na camada superior do dossel, local onde praticamente não havia alcance da pulverização.

Analisando a deposição da calda nas folhas do cafeeiro, resultante da pulverização com e sem assistência eletrostática, na metade superior e inferior da copa, notou-se que não houve interação entre os fatores posição de coleta e volume de calda. Porém, para as posições da metade superior e inferior da copa pulverizada, a assistência eletrostática promoveu diferenças significativas.

Dentro de cada grupo em estudo, pulverização com e sem assistência eletrostática, os diferentes volumes de calda não apresentaram significância, mostrando assim que é possível utilizar os menores volumes dentro de cada grupo, sem prejudicar a quantidade e distribuição de depósitos nas folhas do cafeeiro. Este resultado corrobora com os dados obtidos por Miranda et al. (2012) e Ferreira et al. (2013), que nos volumes de calda de 450 e 750 L ha⁻¹ obtiveram depósitos equivalentes.

Na Tabela 3, nota-se que a metade inferior da copa do cafeeiro obteve depósito mais elevado em suas folhas do que a metade superior, na pulverização com assistência eletrostática. A deposição na metade inferior da copa foi 42% maior que a deposição da metade superior. Vários autores já relataram comportamento semelhante no cafeeiro arábica. Cunha et al. (2011), Silva et al. (2014) e

Gitirana Neto et al. (2016), utilizando como no presente estudo o pulverizador hidropneumático, relataram maior depósito e cobertura de aplicação no terço médio e inferior da copa do cafeeiro.

A possível proximidade das pontas do pulverizador com a parte inferior da copa do cafeeiro pode nos auxiliar a explicar os resultados obtidos, provavelmente devido ao local da amostragem, terceiro e quarto pares de folhas dos ramos plagiotrópicos não muito internos na planta. Silva et al. (2014), assim como no presente estudo, também não observaram diferença estatística nos diferentes volumes de calda pulverizados quanto à deposição nas folhas na parte inferior do cafeeiro Arábica. Vale ressaltar que, embora os volumes de calda tenham sido diferentes, a dose do corante empregada por área foi igual.

Com relação à deriva, resultante da pulverização com e sem assistência eletrostática e nas diferentes posições, solo (endoderiva) e para fora da planta (exoderiva), notou-se que não houve interação entre os fatores posição de coleta e volume de calda, o que o implica a não dependência entre estes fatores. Porém, para as posições que representam a exoderiva e endoderiva, a pulverização com e sem assistência eletrostática promoveu diferenças significativas.

Gitirana Neto et al. (2016), comparando a pulverização com assistência eletrostática e a convencional em café Arábica, obtiveram uma redução de perdas para o solo de até 202%. No presente estudo, as perdas para o solo com a assistência eletrostática foram 850% menores, com relação à aplicação convencional e a exoderiva foi reduzida em 323%, como pode se observar na Tabela 6. Esses altos percentuais de redução podem ser atribuídos ao fato de que a assistência eletrostática cria uma diferença de potencial elétrico entre a gota e o alvo, fazendo com que as mesmas sejam atraídas pela planta.

Tabela 3. Deposição em folhas das posições superior e inferior da copa da planta, resultante da aplicação com pulverizador hidropneumático com assistência eletrostática.

Pulverizador Hidropneumático	Deposição do traçador ($\mu\text{L cm}^{-2}$)		DMS*
	Posição na copa da planta		
	Superior	Inferior	
Com assistência eletrostática	0,188b	0,267a	0,040

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. *DMS: Diferença mínima significativa.

Miranda et al. (2016) relataram que a ponta J4-2, ponta utilizada nos volumes de calda pulverizados sem a assistência eletrostática, é a que proporcionou maior quantidade de depósitos de pulverização em folhas de cafeeiro e menor quantidade de deriva de pulverização em placas de petri no solo. No presente estudo, esta ponta também promoveu os maiores depósitos, entretanto proporcionou as maiores perdas para o solo, quando comparada à ponta SPE-2 Cinza utilizada nos volumes de calda com assistência eletrostática.

A exoderiva, nas pulverizações com e sem assistência eletrostática, mostrou-se superior com relação à endoderiva, como visto na Tabela 6. Essa informação é importante, pois, sabendo que a maior parte do volume aplicado está sendo perdido através da exoderiva, sugere-se que sejam feitos ajustes no pulverizador hidropneumático, para que esse percentual de perdas seja amenizado.

O DMV é o parâmetro mais estudado nas

pesquisas em tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, apresentando elevada relação com a pressão estabelecida e assim volume de calda, pelos fabricantes de pontas. Este parâmetro diferenciou-se nos terços da planta, sendo o terço médio o que apresentou valores mais elevados quando comparado ao terço inferior e superior, na pulverização com e sem assistência eletrostática (Tabela 7).

Em se tratando da pulverização eletrostática, quanto menor o diâmetro da gota, mais fácil de carregá-las. Entretanto, gotas de tamanho muito reduzido, em condições de baixa umidade relativa e altas temperaturas, podem sofrer a evaporação (VILLALBA e HETZ, 2010). No presente estudo, as gotas geradas pela pulverização com assistência eletrostática tiveram o DMV variando de 70,4 a 201,3 μm , sendo inferiores às da pulverização sem assistência eletrostática, que variaram de 146,5 a 283,7 μm , nos terços avaliados da planta.

Tabela 6. Médias de deposição de traçador nas posições superior (exoderiva) e inferior (endoderiva) da planta, resultante da aplicação com pulverizador hidropneumático com e sem assistência eletrostática.

Assistência eletrostática	Deposição do traçador ($\mu\text{L cm}^{-2}$)		DMS*
	Deriva		
	Exoderiva	Endoderiva	
Com	0,082a	0,026b	0,022
Sem	0,347a	0,247b	0,087

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

*DMS: Diferença mínima significativa.

Tabela 7. Valores médios do diâmetro da mediana volumétrica (DMV), cobertura e densidade de gotas nas posições superior, média e inferior do cafeeiro, resultante da aplicação com pulverizador hidropneumático com e sem assistência eletrostática.

Assistência eletrostática	Posição de coleta			DMS*
	Inferior	Média	Superior	
	DMV (μm)			
Com	70,4 b	201,3 a	120,0 b	161,3
Sem	146,5 b	283,7 a	190,3 b	151,74
	Cobertura (%)			
Com	20,71b	29,32a	21,01b	5,99
Sem	15,48c	47,45a	30,35b	9,20
	Densidade (gotas cm^{-2})			
Com	19,82c	65,44a	52,45b	8,69
Sem	35,66b	50,26a	55,03a	11,35

Os maiores valores de DMV foram observados no terço médio do dossel, tanto na pulverização com assistência quanto na sem assistência eletrostática. Como essa região fica mais exposta e com maior proximidade às pontas do pulverizador, supõe-se que as gotas dessa região podem ter se sobreposto, gerando valores de DMV mais elevados, quando comparados aos terços inferior e superior da planta. O desejável em uma pulverização é que haja uma boa distribuição volumétrica em toda planta, exceto nos casos onde o alvo se encontra em uma parte específica. Gitirana Neto et al. (2016) e Sasaki et al. (2015) observaram em experimentos de pulverização eletrostática no cafeeiro arábica resultados semelhantes de DMV no terço mediano da planta.

Cunha et al. (2007), avaliando as pontas de jato plano (API e ADI) e de jato cônico vazio (ATR), verificaram que essas últimas, como as utilizadas no presente trabalho, apresentaram comportamento de espectro de gota diferenciado. Enquanto nas pontas de jato plano o diâmetro das gotas diminuiu com o incremento da pressão, nas pontas de jato cônico vazio o aumento da pressão e consequente volume de calda não influenciaram o diâmetro das gotas, corroborando com os resultados encontrados para o DMV no presente estudo. O fato ocorre em função da magnitude de variação do tamanho de gotas em função da pressão nas pontas de jato cônico vazio que é menor do que nas pontas de jato plano. Essa pequena magnitude encontrada nas pontas de jato cônico vazio pode auxiliar a explicar a não significância dos volumes de calda pulverizados, com e sem assistência eletrostática.

A porcentagem de cobertura dos terços médio e superior (Tabela 8), resultante da pulverização com e sem assistência eletrostática, apresentaram valores considerados satisfatórios para o controle fitossanitário. Minguela e Cunha (2010) relataram que coberturas entre 20 e 30% são suficientes para um bom controle fitossanitário.

Ferreira et al. (2013) encontraram maior cobertura nas posições inferiores da planta de café arábica. Neste caso, esse terço seria comparado à região mediana do trabalho. Vale lembrar que os maiores percentuais de cobertura foram observados no terço médio das plantas de café, dada a maior exposição desta região das plantas à

calda pulverizada pelo equipamento.

Os volumes de calda não apresentaram diferença significativa no percentual de cobertura no cafeeiro, tanto na pulverização com assistência eletrostática quanto sem a assistência. Resultados semelhantes podem ser encontrados em citros, onde Salyani e Farooq (2003) não encontraram diferença significativa na cobertura, empregando-se volumes de calda de 250 a 3950 L ha⁻¹. Em contrapartida, Scudeler et al. (2004) observaram maiores coberturas com o uso de um maior volume de calda, que em seu estudo o maior foi 686L ha⁻¹, tanto na parte superior quanto na parte inferior das plantas de café. Ferreira et al. (2013), em estudos com café arábica, também encontraram maiores coberturas quando utilizaram maiores volumes de calda.

A densidade, assim como a cobertura, apresentou seus menores valores no terço inferior da planta, 19,82 e 35,66 gotas cm⁻², pulverizados com e sem assistência eletrostática, respectivamente (Tabela 7).

Na pulverização com e sem assistência eletrostática, os terços médio e superior da planta foram os que apresentaram maior densidade de gotas por área. Vale lembrar que é nessa região de avaliação que se encontra a copa das plantas, alvo principal de maior parte das pulverizações. A maior densidade de gotas foi encontrada no terço médio da planta (65,44 gotas cm⁻²), pulverizada com a assistência eletrostática. Esse resultado diverge do obtido por Scudeler et al. (2004), que observaram maior densidade de gotas na parte inferior do cafeeiro, ao utilizar pulverizadores hidropneumáticos. Maiores valores de densidade de gotas em posições mais baixas também foram verificadas por Rodrigues et al. (2012), ao simularem a pulverização em cafeeiro com pulverizador hidropneumático operando em diferentes pressões e rotações do ventilador.

Todas as densidades avaliadas, com exceção da densidade do terço inferior da planta, atendem aos critérios estabelecidos por Barthélemy et al. (1990) para o controle de pragas e doenças, em que estabelecem que para inseticida necessita-se de 20 a 30 gotas cm⁻² e, para fungicidas, de 50 a 70 gotas cm⁻².

Para a densidade média de gotas pulverizadas

com assistência eletrostática, foram detectadas diferenças significativas pelo Teste F a 5% de probabilidade entre os volumes de calda. Dessa forma, os dados foram ajustados ao modelo quadrático de regressão (Figura 4) e o ponto de máximo foi obtido no volume de calda de 266 L ha⁻¹, o que resultou na densidade de 46 gotas cm⁻².

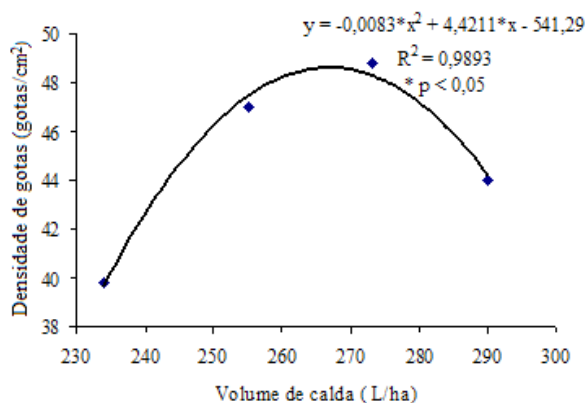


Figura 4. Valores médios de densidade de gotas (gotas cm⁻²) em função dos volumes de calda aplicados com a assistência eletrostática

Entre os volumes de calda estudados na pulverização com a assistência eletrostática, o que mais se aproximou do ponto de máximo foi o volume de 266 L ha⁻¹. Tendo em vista que a densidade de gotas é uma importante característica dentro da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, esse volume mostra-se promissor para pulverização no cafeeiro Conilon.

CONCLUSÕES

- Os volumes de calda aplicados com o pulverizador hidropneumático, sem a assistência eletrostática, apresentaram maiores valores de deposição na copa do cafeeiro, porém também apresentaram maior endoderiva e exoderiva, quando comparados a quaisquer volumes utilizados na pulverização com assistência eletrostática. Contudo, os volumes de calda pulverizados com a assistência eletrostática mostram resultados promissores para a tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários no cafeeiro Conilon, visto que a endoderiva foi reduzida em até 850%, a exoderiva em 323% e apresentou índices satisfatórios de densidade de gotas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, C.B. **Automatização de um pulverizador hidropneumático visando o controle do espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar.** 2012. 128f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711–728, 2013.

BALAN, M.G.; ABI SAAB, O.J.G.; SILVA, C.G. Depósito e perdas de calda em sistemas de pulverização com turboatomizador em videira. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.2, p.470-477, 2006. BARTHELEMY, P. et al. **Choisir les outils de pulvérisation.** Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160p.

BÓCOLI, M.A.; MIRANDA, G.R.B.; CARVALHO, A.R.; ALVES, A.D. Quantificação de depósitos do pulverizador tipo canhão em lavoura cafeeira com espaçamento convencional. *Revista Agrogeoambiental*, v.4, n.2, 2012.

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

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Café.** Brasília: CONAB, v. 4, n. 3, 2017. 98p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2017.

CUNHA, J.P.A.R.; RUAS, R.A.A.; TEIXEIRA, M.M. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar analisada em mesa de prova e simulação computadorizada. *Revista Ceres*, v.54, n.311, p.40-46, 2007.

- CUNHA, J.P.A.R.; GITIRANA NETO, J.; BUENO, M.R. Evaluation of a device for the application of pesticides on mechanized coffee crops (*Coffea Arabica* L.). **Interciência**, v.36, n.4, p.312-316, 2011.
- ESEHAGHBEYGI, A.; TADAYYON, A.; BESHARATI, S. Comparison of electrostatic and spinning-discs spray nozzles on wheat weeds control. **Journal of American Science**, v.6, n.12, p. 529-533, 2010.
- 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**, v.54, n.1, p.130-135, 2010.
- FERREIRA, M.C.; LEITE, G.J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café, pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, v.29, supplement 1, p.1539-1548, 2013.
- GITIRANA NETO, J., CUNHA, J.P.A.R., MARQUES, R.S., LASMAR, O., BORGES, E. B. Deposição de calda promovida por pulverizadores empregados na cafeicultura de montanha. **Coffee Science**, v.11, n.2, p.267-275, 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/FDIS 22866: equipment for crop protection – methods for field measurement of spray drift. Geneva: ISO, 2005. 22p
- MACHOWSKI, W.; BALACHANDRAN, W. Design of eletrostatic fog generator using a reverse field modelling technique. **Annual Meeting**, v.5, n.9, p.1784-1789, 1997.
- MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, target height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, v.29, p.134-141, 2010.
- MINGUELA, J.V.; CUNHA, J.P.A.R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 588p.
- MIRANDA, G.R.B.; RAETANO, C.G.; SILVA, V.C.; CUNHA, M.D.Q.; CARVALHO, R.H.; PINHEIRO, J.M.; GONÇALVES, M.P.; REINATO, C.H.R.; PAIVA, L.C.; ARAÚJO, D. Avaliação dos depósitos da pulverização em frutos de cafeeiro utilizando dois equipamentos associados a diferentes volumes de calda. **Revista Agroambiental**, v.4, n.1, p.15-20, 2012.
- MIRANDA, G.R.B.; SILVA, M.R.; ALVES, A.D.; GONÇALVES, E.J. Quantificação de depósitos e deriva de pulverização utilizando diferentes pontas em pulverizador costal no cafeeiro. **Coffee Science**, v.11, n.3, p.290-297, 2016.
- PALLADINI, L.A.; RAETANO, C.G.; VELINI, E.D. Choice of tracers for the evaluation os spray deposits. **Scientia Agrícola**, v.62, n.5, p.440-445, 2005.
- PASCUZZI, S.; CERRUTO, E. Spray deposition in “tendone” vineyards when using a pneumatic electrostatic sprayer. **Crop Protection**, v.68, n.1, p.1-11, 2015.
- RAETANO, C. G. **Condições operacionais de turboatomizadores na distribuição e deposição da pulverização em citros**. 1996. 93f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- RAETANO, C.G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (Org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.
- RODRIGUES, G.J.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; ALVARENGA, C.B. Otimização da pulverização de inseticidas visando o controle do bicho-mineiro do cafeeiro. **Revista Agrotecnologia**, v.3, n.1, p.70-80, 2012.

- Rosell Polo, J. R.; Sanz, R.; Llorens, J.; Arno, J.; Escola, A.; RibesDasi, M.; Masip, J.; Camp, F.; Gracia, F.; Solanelles, F.; Palleja, T.; Val, L.; Planas, S.; Gil, E.; Palacín, J. A tractor mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison with conventional and destructive measurements. *Biosystem Engineering*, v.102, p.128-134, 2009.
- SALYANI, M.; FAROOQ, M. Sprayer air energy demand for satisfactory spry coverage in citrus applications. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.116, p.298-3004, 2003.
- SASAKI, R.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; MONTEIRO, P.M.B.; RODRIGUES, D.E. Deposição e uniformidade de distribuição de calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v.43, n.9, p.1605-1609, 2013.
- SCUDELER, F. et al. Ângulo da barra e ponta de pulverização na deposição da pulverização em soja. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu, SP. Anais... Botucatu: FEPAF, 2004. p.13-16.
- SILVA, J.E.R.; CUNHA, J.P.A.R.; NOMELINI, Q.S.S. Deposição de calda em folhas de cafeeiro e perdas para o solo com diferentes taxas de aplicação e pontas de pulverização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, n. 12, 2014.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The assistat software version 7.7 and its use the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
- SOUZA, L.A.; CUNHA, J.P.A.R.; PAVANIN, L.A. Deposição do herbicida 2,4-D amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.1, p.78-85, 2012.
- THOMSON, S.J.; LYN, M.E. Environmental and spray mixture effects on droplet size represented by water-sensitive paper used in drift studies. **Transactions of the ASABE**, v.54, n.3, p.803-807, 2011.
- VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, M.C.; TEIXEIRA, M.M.; ROSELL, J.R.; TUFFI SANTOS, L.D.; MACHADO, A.F.L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.439-446, 2010.
- VILLALBA, J.; HETZ, E. **Deriva de produtos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales**. In: Tecnología de aplicación de agroquímicos, 1ª edição. Alto Valle, 2010, 196p.
- VITÓRIA, E.L.; CAMPANHARO, A. Amostra de etiquetas hidrossensíveis para determinação de espectro de gotas em pulverização no cafeeiro canephora. **Coffee Science**, v.11, n.3, p.367-373, 2016.
- WILCOX, D.; DOVE, B.; MCDAVID, D.; GREER, D. **UTHSCSA ImageTool for Windows Version 3**. The University of Texas Health Science Center in San Antonio, USA, 2002.
- XIONGKUI, H.; AIJUN, Z.; YAJIA, L. JIANLI, S. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.4, n.1, p.35-40, 2011.