

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS
EXATAS E TECNOLÓGICAS
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Sistema alternativo para redução da evaporação e deriva em aplicações de calda de pulverização baseado na utilização de tubo de vórtice

Helio de Souza Queiroz

ANÁPOLIS
GOIÁS
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Catálogo na Fonte

Biblioteca FATEC SENAI Roberto Mange

Vanessa Severo de Moraes – CRB 1806

Q44s

QUEIROZ, Hélio de Souza

Sistema alternativo para redução da evaporação e deriva em aplicações de calda de pulverização baseado na utilização de tubo de vórtice / Hélio de Souza Queiroz – Anápolis: Universidade Estadual de Goiás, Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, 2009.

62 p. il. – (Dissertação/ Universidade Estadual de Goiás, Mestrado em Engenharia Agrícola)

Orientador: Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis

1. Temperatura da Calda. 2. Pulverização. 3. Eficiência de aplicação.
4. Resfriamento do ar. 5. Agroquímicos. 6. Máquinas agrícolas. I. Título.

CDU – 661.16

**SISTEMA ALTERNATIVO PARA REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO E
DERIVA EM APLICAÇÕES DE CALDA DE PULVERIZAÇÃO BASEADO
NA UTILIZAÇÃO DE TUBO DE VÓRTICE**

HELIO DE SOUZA QUEIROZ

ORIENTADOR: Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás –UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

ANÁPOLIS - GO
NOVEMBRO – 2009

Sistema alternativo para redução da evaporação e deriva em
aplicações de calda de pulverização baseado na utilização de tubo de
vórtice

Por
Helio de Souza Queiroz

**Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE
EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Aprovado em 30 de Novembro de 2009

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis - UEG
(Orientador)

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU
(Membro)

Prof. Dra. Sueli Martins Freitas - UEG
(Membro)

DEDICATÓRIA

A Deus pela sua eterna plenitude, a meus pais Marcial Gomes de Souza e Jandira Queiroz de Souza, a minha esposa Andréa Lúcio Queiroz e minha filha Paloma Lúcio Queiroz.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter possibilitado a realização desta etapa de minha vida.

À minha eterna esposa Andréa Lúcio Queiroz.

À minha maior preciosidade, minha filhinha Paloma.

Aos meus pais, Marcial e Jandira e a todos os meus queridos irmãos, Leandro, Aparecida, Joana, Rosa, Carlos, Maria Alice, Ana Maria.

As amizades conquistadas ao longo desses anos.

Ao professor Emerson Wruck pela amizade e orientação nas análises estatísticas.

Ao meu orientador, professor Elton Fialho dos Reis pela amizade, ensinamentos e apoio integral em todos os momentos do curso.

Aos meus colegas do mestrado que sempre me apoiaram durante todas as atividades realizadas no curso.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, ajudaram-me na execução deste trabalho.

...Meus passos não são eternos, mas minha vontade de continuar andando perpetuará por todo o infinito...

SUMÁRIO

ABSTRACT	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE FIGURAS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS	3
2.2 PERDAS NO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE CALDA DE PULVERIZAÇÃO	5
2.3 TEMPERATURA AMBIENTE E DEPOSIÇÃO DE AGROQUÍMICOS	6
2.4 TEMPERATURA DE CALDA NO PROCESSO DE PULVERIZAÇÃO	8
2.5 BICOS DE PULVERIZAÇÃO	9
2.6 TUBO DE VÓRTICE E SUA TERMODINÂMICA	10
2.6.1 Limites e aplicação	10
2.6.2 Caracterização dos tubos de vórtice	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	15
3.2 RESFRIAMENTO DO AR PRÓXIMO AO BICO DE PULVERIZAÇÃO	15
3.2.1 Escolha do tudo de vórtice	15
3.2.2 Proteção do ambiente para aplicação da calda de pulverização	16
3.3 RESFRIAMENTO DA CALDA DE PULVERIZAÇÃO	18
3.4 ESTRUTURA ROLANTE COM BARRA PROTEGIDA	18
3.5 CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	20
3.6 ANÁLISE DO ESPECTRO DE GOTAS	21
3.7 AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO	22
3.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 DEPOSIÇÃO DA CALDA DE PULVERIZAÇÃO	26
4.2 COBERTURA DO ALVO	31
4.3 PERCENTUAL DE GOTAS MENORES QUE 100 MICROMETROS	36
4.4 DIÂMETRO DA MEDIANA VOLUMÉTRICA (DMV)	40
4.5 AMPLITUDE RELATIVA DAS GOTAS (SPAN)	44
4.6 DIÂMETRO DA MEDIANA NUMÉRICA (DMN)	45
5 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICES	52

RESUMO

Entre os vários fatores que influenciam as aplicações de fitossanitários, destacam-se as perdas por deriva, sendo estas influenciadas pelo vento e pela evaporação da água e dos produtos aplicados. Dentre as várias técnicas de aplicação, a pulverização hidráulica apresenta-se como uma das mais utilizadas, neste caso a evaporação da água utilizada no preparo da calda de pulverização é significativa pelo fato de ser influenciada diretamente pelo tamanho das gotas pulverizadas. Este trabalho objetivou estudar a influência da temperatura da calda de pulverização e do ambiente próximo ao bico de pulverização na taxa de evaporação e espectro de gotas. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de protótipos de máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás em Anápolis, Goiás. Utilizou-se um tubo de vórtice para resfriamento do ar no entorno do bico de pulverização em um sistema de aplicação com barra protegida. O tubo de vórtice utilizado é de fabricação norte-americana da empresa Exair Corporation, sendo capaz de gerar até $820,15 \text{ J s}^{-1}$ (2.800 Btu h^{-1}) de energia, já a calda foi resfriada utilizando um refrigerador horizontal convencional. Para alimentar o tubo de vórtice foi necessário um compressor de ar de capacidade de $11,7 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ (20 cfm) de vazão e 8250 kPa de pressão. Para realizar as aplicações da calda foi utilizado um pulverizador tipo costal, com uma barra de um bico, com injeção de gás carbônico mantendo pressão constante de 600 kPa no sistema. Este equipamento foi adaptado a uma estrutura metálica com transportador de esteira interno que permitiu manter também a altura e velocidade de aplicação constantes, respectivamente, 0,5 m e 5 km h^{-1} . O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, sendo as temperaturas do ar em volta do bico de pulverização consideradas como parcelas, as temperaturas da calda de aplicação como subparcelas e 5 repetições. Todos os ensaios foram realizados entre 12h30min e 15h mantendo a umidade relativa do ar entre 41 e 43%. Foram avaliadas a deposição, diâmetro da mediana volumétrica (DMV), diâmetro da mediana numérica (DMN), amplitude relativa (Span), percentagem de gotas menores que 100 micrometros e taxa de cobertura. Os resultados mostraram que a temperatura próxima ao bico de pulverização e a temperatura da calda influenciaram a deposição, apresentando maiores valores para as menores temperaturas. A variação da temperatura da calda e temperatura do ar influenciou significativamente a maioria das características analisadas, destacando a deposição que apresentou redução com o aumento das temperaturas, chegando a diferenças de até 55%. Pode-se concluir que ao reduzir a temperatura do ambiente próximo ao bico de pulverização e a temperatura da calda, aumentou a deposição no alvo, a taxa de cobertura e o

DMV e provocou redução do percentual de gotas menores que 100 micrometros. O Span e o DMN tiveram pouca influência da variação da temperatura do ar e praticamente nenhuma influência da temperatura da calda. A utilização do tubo de vórtice mostrou-se satisfatória para resfriamento do ar entorno do bico de pulverização.

Palavras-chave: temperatura da calda; pulverização; eficiência de aplicação; resfriamento do ar.

ABSTRACT

Among the various factors that influence the application of pesticides, there are the losses due to drift, which are influenced by wind and evaporation of water and applied products. Among the various application techniques, spraying hydraulic presents itself as one of the most used in this case the evaporation of water used to prepare the spray solution is significant because it is directly influenced by the size of the droplet. This study investigated the influence of temperature in spray and the environment near the spray nozzle in the evaporation rate and droplet spectrum. The study was conducted in the laboratory prototypes of agricultural machinery of the State University of Goiás in Anápolis, Goiás used a vortex tube for cooling the air surrounding the spray nozzle in an application system with bar protected. The vortex tube is used in North American manufacturing company Exair Corporation and is capable of generating up to $820,15 \text{ J s}^{-1}$ (2.800 Btu h^{-1}) of energy, the syrup was cooled using a conventional cooler. To feed the vortex tube had to be an air compressor capacity of $11,7 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ (20 cfm) flow and 8.250 kPa pressure. To realize the applications of spray was used a backpack sprayer, a bar with a nozzle with injection of carbon dioxide while maintaining a constant pressure of 600 kPa in the system. This equipment has been adapted to a metal conveyor belt with which they allowed to also maintain the height and speed of application listed, respectively, 0.5 m and 5 km h^{-1} . The experiment was arranged in a randomized block in split plot, with air temperatures around the spray nozzle portions considered, the temperatures of spray application as subplots and 5 repetitions. All tests were conducted between 12:30 and 15h maintaining relative humidity between 41 and 43%. We evaluated the deposition, median diameter volumetric (MDV), median diameter of numerical (MDN), relative amplitude (Span), percentage of droplets smaller than 100 microns and coverage. The results showed that the temperature near the spray nozzle and the temperature of the syrup influenced the deposition, with higher values for lower temperatures. The temperature variation of spray and air temperature significantly influenced most of the traits analyzed, noting that the deposition decreased with increasing temperatures, reaching differences of up to 55%. It can be concluded that by reducing the ambient temperature near the spray nozzle and the temperature of the solution, increased deposition in the target coverage rate and the MDV and caused a reduction in the percentage of droplets smaller than 100 microns. The Span and MDN had little influence of the

temperature of the air and almost no influence of the temperature of the syrup. The use of vortex tube was satisfactory for cooling the air surrounding the spray nozzle.

Keyword: temperature of solution; spraying; efficiency of application; cooling of air.

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Resumo da análise de variância das características da deposição, cobertura, percentual de gotas menores que 100 µm, amplitude relativa (Span), diâmetro da mediana numérica (DMN) e diâmetro da mediana volumétrica (DMV).	25
TABELA 2 – Análise de variância do desdobramento da Interação (TA*TC) para deposição nos 05 níveis de temperatura do ar (16, 21, 26, 31 e 36°C).	30
TABELA 3 – Comparação múltipla nos 05 níveis de temperatura do ar (16, 21, 26, 31 e 36°C) com os 07 níveis de temperatura da calda (03, 08, 13, 18, 23, 28 e 33°C) com valores médios de deposição.	31
TABELA 4 – Comparações múltiplas das médias de cobertura nos 05 níveis de temperatura do ar - TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).	35
TABELA 5 – Comparações múltiplas das médias de cobertura nos 07 níveis de temperatura da calda - TC (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C).	35
TABELA 6 – Comparações múltiplas das médias do percentual de gotas menores que 100 µm nos 05 níveis de temperatura do ar - TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).	39
TABELA 7 – Comparações múltiplas das médias do percentual de gotas menores que 100 µm nos 07 níveis de temperatura da calda – TC (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C).	40
TABELA 8 – Comparações múltiplas das médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) nos 05 níveis de temperatura do ar - TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).	44
TABELA 9 – Comparações múltiplas das médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) nos 07 níveis de temperatura da calda - TC (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C).	44
TABELA 10 – Comparações múltiplas das médias do diâmetro da mediana numérica (DMN) nos 05 níveis de temperatura do ar - TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).	46
TABELA 1A – Análise de variância para deposição, em função da temperatura do ar e da temperatura da calda de pulverização.	52
TABELA 2A – Comparação múltipla para deposição nos 05 níveis de temperatura do ar – TA (16, 21, 26, 31 e 36°C) com os 07 níveis de temperatura da calda –TC (03, 08, 13, 18, 23, 28 e 33°C).	53
TABELA 3A – Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para deposição.	54
TABELA 4A – Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão, sem efeito quadrático do tratamento temperatura do ar (TA) para deposição.	55

TABELA 5A – Análise de variância para o modelo de superfície de resposta para deposição, sendo TA – Temperatura do ar e TC – Temperatura da calda	55
TABELA 6A – Análise de variância para a taxa de cobertura em função da temperatura do ar (TA) e da temperatura da calda (TC) de pulverização.	57
Tabela 7A- Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para cobertura.	58
TABELA 8A – Quadro de análise de variância para o percentual de gotas menores que 100 micrometros.	59
Tabela 9A- Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para percentual de gotas menores que 100 micrometros.	60
TABELA 10A – Análise de variância para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV).	61
TABELA 11A- Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV).	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Partes constituintes de um bico de pulverização	10
FIGURA 2. Desenho esquemático do tubo de vórtice de Ranque-Hilsch	12
FIGURA 3. Ilustração do efeito do tubo de Ranque-Hilsch, onde T_{in} e P_{in} são respectivamente a temperatura e pressão inicial do fluxo de entrada, T_c a temperatura do fluxo aquecido, T_f e P_f são respectivamente a temperatura e a pressão do fluxo frio.	13
FIGURA 4. Imagem do tubo de vórtice utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.	16
FIGURA 5. Vista explodida dos componentes do tubo de vórtice utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.	16
FIGURA 6. Desenho esquemático ilustrando o circuito de pulverização utilizado no ensaio para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.	17
FIGURA 7. Imagens internas da estrutura confeccionada para realização do ensaio utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.	19
FIGURA 8. Imagens da estrutura confeccionada para realização do ensaio utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização. a) Vista do motor e painel com inversor de frequência, potenciômetro e chave liga-desliga b) Vista da abertura de entrada e saída das amostras para aplicação da calda de pulverização	19
FIGURA 9. Controlador e medidor de frequência do motor (a); medidor de temperatura e umidade relativa do ar (b); pulverizador de CO ₂ utilizado para aplicação da calda de pulverização (c).	20
FIGURA 10. Bico de pulverização instalado na parte superior da estrutura protegida para a variação da temperatura próxima ao bico de pulverização	21
FIGURA 11. Imagens de uma etiqueta tratada no software Image Tool	22
FIGURA 12. Etiquetas de papel hidrossensível e recipiente para coleta de amostra para deposição nas diferentes temperaturas do ar e temperaturas da calda dentro do ambiente protegido.	23
FIGURA 13. Amostras coletadas para análise de deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) já com a dosagem de 50 mL de água destilada e deionizada.	23
FIGURA 14. Comportamento da deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) em função da temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$) nas diferentes temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$). TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda	27

FIGURA 15. Superfície e contorno representando o efeito da temperatura do ar e temperatura da calda de pulverização sobre a deposição. Deposição (condutividade - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	29
FIGURA 16. Comportamento da cobertura (%) em função da temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$) nas diferentes temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$).	32
FIGURA 17. Estimativa da cobertura em função da variação da temperatura do ar.	33
FIGURA 18. Estimativa da cobertura em função da variação da temperatura da calda.	34
FIGURA 19. Comportamento do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$) nas diferentes temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$).	36
FIGURA 20. Estimativa do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da variação da temperatura do ar.	37
FIGURA 21. Estimativa do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da variação da temperatura da calda.	38
FIGURA 22. Comportamento do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em função da temperatura da calda - TC ($^{\circ}\text{C}$) em diferentes temperaturas do ar - TA ($^{\circ}\text{C}$).	41
FIGURA 23. Estimativa do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em função da variação da temperatura do ar (TA).	42
FIGURA 24. Estimativa do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em função da variação da temperatura da calda (TC).	43
FIGURA 25. Estimativa do diâmetro da mediana numérica (DMN) em função da variação da temperatura do ar (TA).	45
FIGURA 1A. Média dos valores de deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\text{ cm}^{-1}$) e Desvio Padrão (SD) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco. Deposição (condutividade - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$).	52
FIGURA 2A. Superfície de resposta para a deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\text{ cm}^{-1}$) medida em função da temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$) e da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).	56
FIGURA 3A. Média de valores de cobertura e desvio padrão ($\pm\text{SD}$) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco. cobertura (%) e temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$)	57
FIGURA 4A. Média de valores de percentual de gotas menores que 100 micrometros e desvio padrão ($\pm\text{SD}$) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco. Percentual de gotas (%) e temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$)	59
FIGURA 5A. Média de valores de DMV e desvio padrão ($\pm\text{SD}$) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco. DMV (μm) ; temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$)	61

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial tem exigido a cada dia uma maior produção de alimentos, simultaneamente a agricultura vem sofrendo uma crescente cobrança no que se refere á eficiência e produtividade, principalmente com a escassez de novas áreas para cultivo. Devido a isso, o controle de pragas, doenças e plantas daninhas nas áreas de cultivo vem despertando grande preocupação por parte dos produtores e ambientalistas. E dentre as técnicas de aplicação de agroquímicos, as que se baseiam no uso da pulverização convencional, ainda são as mais utilizadas, principalmente pela flexibilidade que esta oferece. A importância das aplicações de agroquímicos é algo indiscutível no cenário internacional, devido a sua influência nos processos produtivos da área agrícola. Dentre a diversidade de máquinas e equipamentos utilizados nestas aplicações, destacam-se os equipamentos de características hidráulicas devido a sua grande abrangência de utilização.

Para entendimento do processo de aplicação hidráulica é necessário a compreensão do conceito de deriva, que consiste no transporte das gotas pulverizadas pela ação do vento, nas aplicações de agroquímicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura. Mais de um terço do pesticida aplicado nas culturas pode atingir o solo durante a aplicação. Matthews (1982) tem definido essas perdas como “endoderiva” para diferenciar da “exoderiva”, ou seja, para fora da área tratada. A deriva pode ocorrer pelo arraste das gotas pelo vento ou pela evaporação das gotas, sendo que, essas duas formas de deriva contribuem substancialmente, para a redução da eficácia dos tratamentos. Dentre todo o volume de calda de pulverização comumente aplicado, o percentual que não atinge o alvo pode chegar a 70% conforme Chaim, Valarini e Pio (2000), com isso, torna-se necessário a aplicação de maiores volumes de pulverização com o objetivo de se compensar as perdas.

Para a aplicação de agroquímicos é necessário a utilização adequada de equipamentos e acessórios, onde é fundamental a escolha correta da ponta de pulverização e de suas condições de trabalho que irá gerar o tamanho adequado de gotas ao tipo específico de aplicação. O tipo adequado de gota está relacionado com as condições climáticas, principalmente a temperatura, a umidade relativa do ar, a direção e velocidade dos ventos no momento da aplicação, dentre outros fatores.

Estudos mostram que as melhores condições para realizar uma aplicação de agroquímicos são: temperatura ambiente abaixo de 25°C, umidade relativa do ar mínima de 70%, velocidade do vento de 3 a 10 km h⁻¹ e utilizar uma ponta de pulverização compatível com o tipo de produto a ser aplicado e com o tipo de alvo a ser atingido.

Devido ao fato da temperatura alta e a umidade relativa do ar baixa provocarem significativos efeitos sobre a pulverização de produtos agroquímicos, influenciando na evaporação mais rápida das gotas aplicadas, aconselha-se realizar as pulverizações sempre pela manhã e ao final da tarde, com a intenção de minimizar a evaporação. Em muitos casos, o ingrediente ativo se perde devido às estas condições ambientais inadequadas.

Várias pesquisas vêm utilizando a análise de deposição da calda em alvos naturais ou artificiais como um dos meios de avaliar o processo de pulverização hidráulica, onde é feito a recuperação de substâncias na superfície das plantas ou em alvos artificiais específicos. A calda pode ser preparada com traçadores especiais detectados com espectrofotometria ou com solução salina, como cloreto de potássio que pode ser facilmente mensurável através da condutividade elétrica.

A utilização correta de agroquímicos ainda é um dos meios mais eficientes para o controle das doenças do meio agrícola provocadas pelos insetos e plantas infestantes. Porém ainda possuem um alto custo e ainda fornecem um elevado risco ao meio ambiente e à saúde humana, necessitando ampliar os estudos referentes às perdas e desperdícios ocorridos durante a aplicação.

A tecnologia de aplicação dá ênfase à especificação correta e manutenção dos equipamentos e às condições climáticas adequadas para realização das aplicações de calda de pulverização, porém, ainda há muitos casos em que o produto aplicado não chega até o alvo requerido, seja por desconhecimento ou falta de treinamento nesta tecnologia.

Atualmente há uma tendência entre os especialistas da área de aplicação de agroquímicos em diminuir o volume de calda aplicado buscando reduzir custos e maximizar a eficiência no processo, o que aumenta ainda mais a necessidade de novas pesquisas para otimização das perdas por deriva e evaporação.

Para o agricultor é de fundamental importância o avanço nos estudos de técnicas que minimizem as perdas por deriva e evaporação. Dentro deste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência da temperatura da calda e do ambiente entorno do bico de pulverização nas características da aplicação, utilizando uma barra protegida refrigerada por um tubo de vórtice.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS

O aumento da produção agrícola mundial ocorrida nos últimos anos gerou uma demanda por produtos e serviços especializados em aplicação de agroquímicos, demandando um crescimento nas pesquisas de novas tecnologias. As operações de pulverização podem chegar a 60% do custo total de uma lavoura, onde aplicações mais precisas promovem economia e ganhos de produtividade. Vários estudos vêm sendo desenvolvidos para redução de perdas nestes processos de aplicação contribuindo para melhorar a eficiência dos diversos cultivares agrícolas. Dentre as diferentes técnicas de aplicação de agroquímicos disponíveis, as que se baseiam na pulverização hidráulica, são as mais difundidas, graças à flexibilidade que oferecem em distintas aplicações no segmento. Nestas aplicações hidráulicas alguns dos principais conceitos estudados são: tensão superficial, viscosidade e coesão, adjuvantes, surfactantes, espalhantes, adesivantes, umectantes, emulsificantes, dispersantes e deriva que influenciam a deposição do agroquímico no alvo, na quantidade e proporção devida (EMBRAPA, 2002; SANTOS, 2007).

Pesquisas mostraram que a velocidade de ar gerada por ventiladores dos pulverizadores assistidos de ar é um fator importante que influencia na distribuição do líquido aplicado. Com volume muito baixo, ou baixa velocidade do ar produzida pelo ventilador, o produto aplicado alcançará o objetivo irregularmente. Com velocidade muito alta do ar, o produto é soprado através e acima dos alvos. Estas e outras investigações são necessárias para que surjam melhorias na segurança e efetividade dos métodos de aplicação de agroquímicos nas plantas (VEREECKE et al., 2000; CROSS et al., 2003).

A formação das gotas é uma característica essencial no processo de aplicação de caldas de pulverização, muitas vezes é adicionado adjuvante no preparo desta calda, com a intenção de melhorar a eficácia desta aplicação. Este é um processo complexo, pois envolve propriedades físicas, químicas e fisiológicas (SCHAMPHELEIRE et al., 2009), na maioria das vezes é utilizado adjuvantes na constituição da calda de pulverização com a intenção de melhorar esta formação de gotas e sua deposição (EMBRAPA, 2002; SOUZA et al., 2007a), no entanto algumas vezes o efeito pode ser até negativo havendo uma redução na deposição (LAN et al., 2007). Isto pode ocorrer devido a complexidade da interação entre os adjuvantes e os agentes ativos dos agroquímicos utilizados.

A aplicação de calda de pulverização produz gotas de diferentes diâmetros, onde há necessidade de critérios e técnicas para sua análise e, inclusive, para sua quantificação. A distribuição das gotas em porcentagem é feita por classes de tamanhos, formando o chamado espectro de gotas. O diâmetro das gotas influencia diretamente a qualidade da cobertura e, portanto, a eficácia biológica da aplicação, impactando também no deslocamento (deriva), penetração na folhagem e na evaporação da calda (MATTHEWS, 1992; MATUO, 1998).

Nas aplicações de agroquímicos há necessidade de trabalhar com vários tipos e modelos de máquinas, equipamentos e acessórios, destacando os bicos de pulverização que interferem na formação do espectro de gota. Este espectro é a classificação das gotas, em porcentagem de volume ou de número de gotas, o qual é homogêneo quando todas as gotas são do mesmo tamanho, e heterogêneo, quando o tamanho das gotas é diferente. Em muitos casos a posição das folhas existentes no caminho da gota e, também, a maior possibilidade de perda por evaporação ou deriva das gotas menores, no espectro formado de acordo com as características de cada ponta, em condições ambientais adversas e pela maior distância percorrida, implicam menor número de gotas chegando ao alvo e irregularidade no volume depositado (MATTHEWS, 1992; SOUZA et al., 2007b).

A ponta é um dos dispositivos mais importantes nos pulverizadores hidráulicos, visto que permite o controle do volume de aplicação, produz gotas e as distribui de forma mais homogênea possível durante os tratamentos. É fundamental o monitoramento da amplitude relativa (Span) do espectro de gotas produzidas pela ponta utilizada (CUNHA et al., 2003). A amplitude relativa (Span) é determinada utilizando-se da seguinte equação:

$$\text{Span} = (D_{v0,9} - D_{v0,1})/D_{v0,5}, \quad \text{Equação 1}$$

no qual $D_{v0,1}$ significa o diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor; $D_{v0,5}$ o diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor, também conhecido como diâmetro mediano volumétrico (DMV); $D_{v0,9}$ o diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor (CUNHA et al., 2007).

Outro conceito básico, porém importante referente ao espectro de gotas é o coeficiente de homogeneidade (CH) que correlaciona o DMV com o diâmetro mediano numérico (DMN), onde quanto mais próximo de um for o valor de CH mais homogêneas são as gotas. Sendo o DMN o diâmetro que divide a população de gotas em dois grupos numericamente iguais.

Ferreira et al. (2007) aborda que a tecnologia de aplicação de agroquímicos tem uma grande abrangência dentro das ciências agrárias, como se destina ao combate de insetos, ácaros, plantas daninhas e agentes patogênicos, os pesquisadores devem desenvolver ações conjuntamente com profissionais de outras áreas como a biologia, a química, a sociologia, a economia, a ecologia e às engenharias.

2.2 PERDAS NO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE CALDA DE PULVERIZAÇÃO

Entre os fatores que influenciam a correta aplicação do agroquímico no alvo destaca-se a deriva, que é influenciada pelo tamanho das gotas pulverizadas e pelo processo de evaporação (CUNHA et al., 2003). Ao evaporar, as gotículas perdem massa, tornando-se mais sujeitas ao arraste por correntes aéreas, disseminando-se no ecossistema, em áreas indesejáveis. Dessa forma, o arraste ou deriva concorre para reduzir a deposição do princípio ativo na área tratada, com reflexos negativos para a cobertura foliar ou do solo, que se traduz no contato entre o princípio ativo e a superfície objeto do tratamento (CORRÊA & HELD, 1982; EMBRAPA, 2002).

Dentre vários estudos realizados, a evaporação da água apresenta-se como um dos meios de perdas por deriva no processo de aplicação agrícola. Neste caso, a superfície do líquido é aumentada quando fragmentada em pequenas gotas, perdendo a porção volátil por essa superfície durante a trajetória. O tempo de vida da gota de água pode ser estimado pela equação:

$$t = d^2 / (80 * \Delta T) \quad \text{Equação 2}$$

e a distância percorrida por esta gota pela equação:

$$D_t = (1,5 * d^4) / (10^3 * 880 * \Delta T) \quad \text{Equação 3}$$

em que: t é o tempo de vida da gota (s), d é o diâmetro da gota (μm), ΔT é a diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre termômetros de bulbo seco e bulbo úmido de psicrômetro e D_t é a distância percorrida pela gota (cm), que está relacionado com altura da queda de gota. A evaporação da água depende da condição edafoclimática (condição de solo e clima) e das características extrínsecas do defensivo (alta volatilidade, alta pressão de vapor), do equipamento utilizado e do tamanho das gotas (MATTHEWS, 1992; EMBRAPA, 2002).

Quanto maior a intensidade dos ventos e menores as gotas produzidas, maior será a quantidade de gotas desviadas. Como a água é o agente de diluição da maioria dos produtos

comercializados, a evaporação tem papel importante numa aplicação. Para que as gotas “desapareçam” deve haver a contribuição do tamanho da gota, da umidade relativa do ar e da temperatura. A cobertura está relacionada com a função do produto utilizado (modo de ação) e com o alvo (tamanho, forma, exposição, capacidade de retenção) que se pretende atingir (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Várias pesquisas foram realizadas buscando minimizar o impacto da evaporação e das perdas por deriva nos processos de aplicação de agroquímicos. Um destes estudos foi realizado com o antievaporante oxietileno docosanol em aplicação de herbicida, onde foi mostrado que admitindo uma taxa de evaporação constante nos intervalos de tempo considerados entre 10 e 1.800 segundos, com 22s, as gotículas de água + bentazone com 100 micrometros de diâmetros, perderam 58% do seu volume, e quando se adicionou docosanol, igual volume foi perdido em 15min, portanto adicionando o antievaporante a evaporação é 41 vezes mais lenta (CORRÊA, 1985).

Outro estudo importante mostrou a influência da variação da temperatura ambiente e umidade relativa na taxa de deposição dos agroquímicos, sendo que este avaliou a variação da deposição da calda de pulverização com três tipos de pontas (jato cônico vazio, jato plano e antideriva) em diferentes horas do dia. De maneira geral as pontas de pulverização de jato plano e antideriva não tiveram a deposição afetada pela variação da temperatura e umidade relativa do ar e não diferiram entre si, mas o mesmo não ocorreu com a ponta de jato cônico vazio (modelo JA-1), onde a variação foi de mais de 100% para uma variação de temperatura entre 30 e 19°C entre os horários de 0 e 21 horas. Os resultados mostraram que a deposição das gotas produzidas pela ponta de jato cônico vazio foi significativamente afetada pela variação das condições meteorológicas, onde a deposição diminui significativamente à medida que temperatura aumenta (BALAN et al., 2008).

2.3 TEMPERATURA AMBIENTE E DEPOSIÇÃO DE AGROQUÍMICOS

A evaporação é um dos meios de perdas nos processos de aplicação de calda de pulverização, sendo influenciada pela variação da umidade e temperatura ambiente. Nas pulverizações hidráulicas, esta evaporação pode ser acentuada devido ao fato da temperatura influenciar no tempo de vida na trajetória das gotas até o alvo (MATTHEWS, 1992).

A cobertura do alvo pela calda de pulverização aplicada está diretamente relacionada com o diâmetro de gotas, onde as de menor diâmetro permitem maior penetração entre as folhas, porém, quando se reduz o diâmetro das gotas para aumentar a cobertura, mantendo o

mesmo volume de aplicação, maior é a interferência do vento e da temperatura e umidade do ar, provocando a deriva e perdas por evaporação, respectivamente (CHRISTOFOLETTI, 1992; SANTOS, 1992; OZEKI & KUNZ, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999; SOUZA et al., 2007b).

Em geral, gotas finas estão mais propícias à perda por deriva e evaporação, reduzindo a eficiência da pulverização e aumentando os riscos de contaminação ambiental (SALYANI, 1999; SUMNER & SUMNER, 1999; SOUZA et al., 2007b), principalmente sob condições adversas de temperatura e umidade relativa do ar.

Pesquisas feitas por Kirk et al. (1992) realizadas na cultura do algodoeiro apresentaram altos níveis de depósitos de pulverização em aplicações sob condições de baixa temperatura, baixa velocidade do vento e alta umidade relativa do ar.

Os pesquisadores Pessoa & Chaim (1999) verificaram que, em pulverização de herbicida em arroz irrigado, as perdas giram em torno de 50% do produto aplicado. Em tomate estaqueado, Chaim et al. (1999) testaram o fungicida cúprico com traçador e observaram perdas extremamente elevadas de agrotóxicos aplicados em três estágios de crescimentos da cultura. O deslocamento das gotas do bico de pulverização até as plantas é proporcionado unicamente pela força da pressão hidráulica, mas nem sempre ela é suficiente para promover a penetração no interior das plantas. Na maioria das vezes, os agricultores elevam a pressão de pulverização e isso acrescenta uma série de efeitos colaterais, pois aumenta a exposição dos aplicadores, a perda por deriva e evaporação, devido a variação do tamanho das gotas e influência da temperatura ambiente e umidade relativa reduzindo a deposição de produto no alvo.

Estudos realizados por Souza et al. (2007b), também na cultura de algodoeiro, avaliaram diversos tipos de pontas de pulverização, destacando a ponta tipo jato cônico vazio que apresentou menor percentual de cobertura, atingindo perdas na ordem de 72,55%, estando a temperatura do ar no momento da aplicação em 31°C, umidade relativa de 33% e velocidade do vento a 7 km h⁻¹.

A tecnologia de aplicação deve ser aliada às condições climáticas em que a mesma acontece, na grande maioria dos casos deve ser evitado fazer aplicações de calda de pulverização com umidade relativa inferior a 50% e temperatura ambiente maior que 30°C. Para o vento deve-se considerar uma velocidade entre 3 e 10 km h⁻¹, onde ausência de vento pode provocar inversão térmica, dificultando a deposição de gotas pequenas (ANTUNIASSI, 2005).

Existem outros estudos importantes envolvendo a variação da temperatura do ar ambiente em processos de pulverizações, como o estudo que avaliou o efeito da temperatura do ar no momento da pulverização sobre a eficiência biológica de deltametrina em milho armazenado, que mostrou que a redução da temperatura do ar ambiente no momento da pulverização resultou em maior eficácia de aplicação do inseticida (PIMENTEL et al., 2005).

2.4 TEMPERATURA DE CALDA NO PROCESSO DE PULVERIZAÇÃO

Durante as aplicações de agroquímicos podem ocorrer variações nas condições de umidade e temperatura, sendo que a temperatura pode variar entre 0 e 35°C nas situações normais de campo, sendo influenciada pelo horário e pela localização geográfica da aplicação. Propriedades como viscosidade, tensão superficial, PH, condutividade elétrica e densidade interferem na formação do espectro de gotas e podem ser influenciadas pela variação da temperatura (EMBRAPA, 2002).

O aumento da temperatura da água provoca um aumento da condutividade elétrica, nas aplicações de agroquímicos, isto pode significar a presença de grandes quantidades de íons, os quais podem reduzir a eficácia biológica destas aplicações. De acordo com Ramos e Araújo (2006), quanto menor for o volume de água utilizado na preparação da calda (princípio ativo + adjuvante + água), menor será o efeito desta variação de condutividade sobre o princípio ativo do produto utilizado na aplicação.

O aumento da temperatura provoca uma redução da tensão superficial da água, porém na presença de adjuvantes esta situação se torna bastante complexa, não podendo fazer afirmações generalizadas (MATTHEWS, 1992). As forças de coesão entre as moléculas da superfície de um líquido são responsáveis pela tensão superficial. As moléculas da superfície, não tendo moléculas na parte superior, apresentam forças de atração maiores com suas moléculas vizinhas, tendendo a minimizar a área superficial devido ao excesso de energia localizada. Cada substância tem uma tensão superficial característica, onde a tensão superficial da água a 25°C é de $72 \times 10^{-5} \text{ N cm}^{-1}$, com o aumento da temperatura da água, as forças de atração (eletrostáticas) entre moléculas vizinhas na superfície de um líquido diminuem e, conseqüentemente, reduz a tensão superficial.

A tensão superficial é responsável pela forma esférica das gotas pulverizadas. A capacidade um líquido de molhar ou espalhar-se sobre uma superfície sólida (molhamento) dependerá da tensão superficial de cada fase e da tensão superficial da interface (KOGAN &

PÉRES, 2003; SANTOS, 2007), porém, o molhamento não é função somente da tensão superficial, mas também da superfície em que a folha está em contato.

Nas condições normais de aplicação (temperatura, umidade relativa e vento) as gotas geradas pelas pontas de pulverização que possuem diâmetro menor 100 micrometros são perdidas por evaporação e deriva. O tempo de vida de uma gota depende do seu tamanho e das condições em que está sendo aplicada. A água possui uma grande capacidade de evaporação, limitando a utilização de gotas muito pequenas, principalmente em regiões de clima que apresenta temperatura ambiente elevada. Em pulverizações hidráulicas, para que haja uma boa cobertura do alvo pela calda de pulverização aplicando pequenos volumes de calda (abaixo de 50 L ha⁻¹) é extremamente necessário controlar a evaporação da água, ou então utilizar outro diluente que não seja volátil, como os óleos minerais, por exemplo (FERREIRA et al., 2006).

Estudo realizado no laboratório de tecnologia de aplicação de agrotóxicos (LPCAT) em Ohio, EUA, avaliou o efeito da temperatura na formação de gotas de líquidos de calda de pulverização para a faixa de temperatura de 3°C a 40°C, onde foram preparadas diferentes caldas de pulverização, a água, um surfactante, dois adjuvantes, duas formulações de inseticidas e dois surfactantes organo-silicone. No geral, o potencial para a evaporação (% do volume < 150 micrometros) foi aumentado devido ao aumento da temperatura da calda de pulverização, porém, isto não ocorreu para todos os líquidos ensaiados, o que não permite que seja feita generalizações. É necessário avaliar as características físico-químicas dos ingredientes ativos e dos demais componentes utilizados na calda de pulverização, principalmente quando se está utilizando surfactantes e adjuvantes. A aplicação feita com água apresentou aumento significativo do DMV quando houve redução da temperatura da calda (DOWNER et al., 1998).

2.5 BICOS DE PULVERIZAÇÃO

Os bicos são componentes integrantes dos pulverizadores, possuem a função de criar e dispersar gotas numa certa posição e com determinada disposição, gerando um padrão de pulverização. As pontas permitem determinar a quantidade de produto a ser aplicado e a maneira de distribuir o agroquímico no alvo. Os bicos apresentam as seguintes partes constituintes (EMBRAPA, 2002):

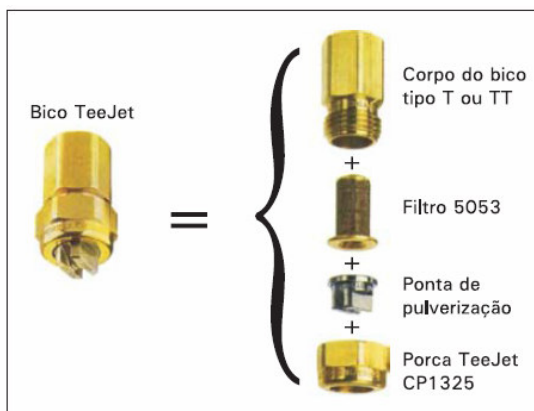


FIGURA 1. Partes constituintes de um bico de pulverização
 Fonte: Catálogo Spraying Systems

Além da especificação correta da ponta é necessário definir a pressão de trabalho e a vazão nominal da ponta, pois, a produção de gotas muito grandes pode provocar escorrimento do produto aplicado, além de não obter uma boa cobertura superficial do alvo, nem uma boa uniformidade de distribuição (EMBRAPA, 2002; CUNHA, 2003; SOUZA et al., 2007a).

Quase todos os bicos possuem um amplo espectro de diferentes tamanhos de gotas, onde estes tamanhos de gotas são normalmente resumidos por análises estatísticas baseadas em sofisticados equipamentos para medição de tamanho de gotas, tais como laser e análises de imagens. As gotas são classificadas segundo as normas BCPC (Conselho Britânico de Proteção de Cultivos) e a ASAE (Associação Americana de Engenheiros Agrícolas), que estabeleceu a norma S572. Esta norma é referência mundial em medição de gotas, pois trabalha com bicos de referências específicas para atender aos critérios exigidos para comparação de tamanhos de gotas entre bicos diferentes, permitindo resultados com grande exatidão (SCHICK, 2006).

2.6 TUBO DE VÓRTICE E SUA TERMODINÂMICA

2.6.1 Limites e aplicação

Existe na bibliografia extensas relações de pesquisas que retratam o impacto da evaporação em processos de pulverizações agrícolas (AMSDEN, 1962; CUNNINGHAM et al., 1962; AKENSSON & YATES, 1964; BEHLEN, 1968; GOERING et al., 1972; MAKSYMUK & NEISESS, 1975; apud CORRÊA, 1985; CHRISTOFOLETTI, 1999; SOUZA, 2007), mas pouca investigação sobre o seu controle e redução. Os autores CORRÊA

& MAZIERO (1980), apud CORRÊA (1985) estudaram a evaporação de gotícula e seu controle empregando produtos antievaporantes. A maior parte dos produtos utilizados mostrou-se ineficiente para controle da evaporação, o que deixa ainda um grande espaço para pesquisas de fatores que podem impactar na redução de perdas por deriva. Buscando correlacionar a variação da temperatura da calda e da temperatura do ar em volta do bico de pulverização com a taxa de evaporação, pode-se utilizar de tubo de vórtice como meio de refrigeração de ambientes de pulverização agrícola.

Os tubos de vórtices são dispositivos mecânicos que operam através da introdução de um fluxo de ar comprimido, sendo que ele possibilita a divisão deste fluxo em duas parcelas: um fluxo de alta temperatura e um fluxo de baixa temperatura. Tal dispositivo apresenta algumas vantagens em relação aos sistemas convencionais de refrigeração, tais como, a não necessidade da utilização de trocadores de calor e de fluídos refrigerantes. Desta forma, ele possibilita uma maior flexibilidade de posicionamento de saídas de ar em pontos estratégicos. A alimentação do tubo de vórtice se dá exclusivamente com fluxo de ar comprimido, que pode ser armazenado para consumo conforme necessidade (COCKERILL, 1998; ITAO, 2005).

Os tubos de vórtice são compatíveis com ambientes que apresentam grandes gradientes de temperatura, gera vórtice de ar resfriado ajustável, permitindo transferir potência de resfriamento nominal entre 40 e 3.000 Watts (136,5 e 10.242 Btu h⁻¹), obtida exclusivamente de ar comprimido (SAIDI & VOLIPOUR, 2003). Entre suas aplicações já utilizadas estão o resfriamento de: painéis eletrônicos, ferramentas de desgaste, bicos de soldagem, processos como solidificação de adesivos termoplásticos e componentes, a fixação de fundição quente e o esfriamento de controles e componentes eletrônicos, de operações em máquinas, de câmeras de transmissão de imagens, partes de soldagem, amostras de gases, lacres quentes e câmaras ambientais. O tubo de vórtice gera dois fluxos de ar em sentidos opostos, um quente e um frio, com vazão entre 1 e 70 L s⁻¹ (volume normalizado) comprimido próximo a 700 kPa. Composto de aço inoxidável, garante alta durabilidade e operação isenta de manutenção, resultante de seu funcionamento desprovido de partes móveis (EXAIR, 2007).

Alguns dos tipos de tubos de vórtice fabricados nos Estados Unidos da América apresentam uma variedade de aplicações industriais em ambientes com problemas de resfriamento. Estes tubos podem produzir temperaturas entre a faixa de -46 a 127°C, taxas de fluxo de 1,7 a 255 Nm³ h⁻¹ (1 a 150 scfm) e refrigeração de até 2.988 Watts (10.200 Btu h⁻¹) (GAO, 2005; EXAIR, 2007). Permitem ainda que temperatura, fluxo e refrigeração, sejam

regulados através de variados ajustes usando o controle da válvula localizada no final da exaustão quente (EXAIR, 2007).

O funcionamento dos tubos de vórtice consiste em introduzir o ar comprimido normalmente a 550-690 kPa (5,5-6,9 bar), sendo ejetado tangencialmente em um gerador na câmara giratório do vortex até 1.000.000 rpm, esta corrente de ar revolve em direção ao extremo quente onde algumas são liberadas através da válvula de controle. O restante girando continuamente é forçado a voltar pelo centro externo do vortex. O fluxo interno emite energia cinética na forma de calor para o fluxo externo e sai do tubo vortex como ar frio. O fluxo externo sai no extremo oposto como ar quente (PIRALISHVILI & POLYAEV, 1996; EXAIR, 2007).

O tubo de vórtice foi inventado em 1933 pelo físico francês Georges J. Ranque. O físico alemão Rudolf Hilsch melhorou o projeto e publicou em 1947 um trabalho que atingiu um público maior. Chamou o dispositivo de “Wirbelrohr” (tubo de vórtice). A Figura 2 ilustra o tubo de vórtice desenvolvido por Ranque-Hilsch.

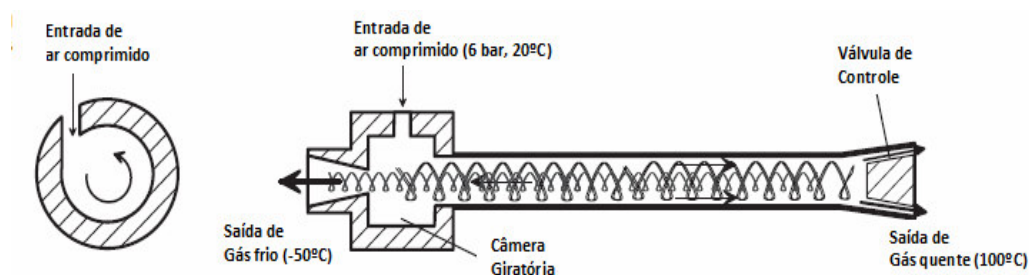


FIGURA 2. Desenho esquemático do tubo de vórtice de Ranque-Hilsch
Fonte: (GAO, 2005)

2.6.2 Caracterização dos tubos de vórtice

Existem várias teorias referentes a termodinâmica do tubo de vórtice, de forma simplificada explica-se o fenômeno pela entrada de ar em um tubo, gerando um fluxo interno de ar turbulento em dois sentidos contrários (um vórtice externo e outro interno), com mesma velocidade angular. Pelo princípio de conservação do momento angular a velocidade rotacional do vórtice interno deveria aumentar, porém, no tubo de vórtice esta velocidade rotacional permanece constante. Este ganho que deveria acontecer com o momento angular do vórtice interno, se manifesta sob o vórtice externo na forma de calor. Assim, o vórtice externo se aquece e o interno se resfria. Devido ao fato do fluxo de ar ser turbulento, microvolumes do

fluido podem migrar de um vórtice a outro, saindo do centro para o exterior, de onde a pressão relativa é maior, produz-se aquecimento; saindo do exterior para o centro do tubo, sua pressão relativa é menor, por isso sofre resfriamento (ROCHA, 1997). A Figura 3 ilustra esse efeito de migração entre os dois vórtices gerados dentro do tubo.

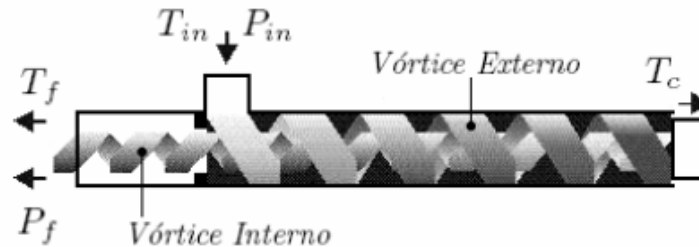


FIGURA 3. Ilustração do efeito do tubo de Ranque-Hilsch, onde T_{in} e P_{in} são respectivamente a temperatura e pressão inicial do fluxo de entrada, T_c a temperatura do fluxo aquecido, T_f e P_f são respectivamente a temperatura e a pressão do fluxo frio.

Fonte: (CONTRERAS et al., 2008)

A análise dimensional dos tubos de vórtice mostra que existe uma relação funcional em termos da diferença de temperatura entre o ar injetado na entrada no tubo e a fração de ar frio (ΔT_f), na equação proposta por Smith, (2008):

$$\Delta T_f / T_{in} = f(P_{in} / P_f, \mu_f) \quad \text{Equação 4}$$

sendo respectivamente T_{in} , P_{in} a temperatura e a pressão de entrada de ar comprimido no tubo de vórtice. P_f a pressão da fração de ar frio e μ_f a fração de fluxo de massa injetada que passa pela saída de ar frio, define-se as seguintes características:

A **fração mássica fria** (μ_f) é o parâmetro mais importante que indica o desempenho do tubo do vórtice e a separação da temperatura/energia dentro do tubo. A fração mássica fria é definida como a relação da taxa de fluxo da massa do ar frio e a taxa de fluxo da massa do ar da entrada. A fração mássica fria pode ser controlada pela válvula do cone, que é colocada na extremidade quente do tubo. Segue a expressão para esta fração de massa fria:

$\mu_f = M_c / M_i$, em que M_c é a fração do fluxo de massa de ar frio e M_i é o fluxo de massa de ar na entrada do tubo de vórtice.

A **temperatura de redução** ou diferença de temperatura da fração fria (ΔT_c) é definido como a diferença de temperatura entre a temperatura do ar de entrada e a temperatura da fração fria de saída do tubo:

$\Delta T_c = T_i - T_c$, em que T_i é a temperatura do ar de entrada e T_c é a temperatura da fração fria de saída do tubo de vórtice.

A **relação (R)** entre o diâmetro da saída do fluxo de ar frio (d) e o diâmetro do tubo de vórtice (D) é definida como $R = d / D$.

Para calcular a **eficiência de refrigeração do tubo de vórtice** (\mathcal{N}_{is}), é usado o princípio da expansão adiabática do gás ideal. Como os fluxos de ar dentro do tubo estão em processo expansão isentrópico, pode-se escrever:

$$\mathcal{N}_{is} = (T_i - T_c) / ((T_i * (1 - (P_a / P_i)^{(c-1/c)})) \quad \text{Equação 5}$$

em que:

P_a , P_i e \mathcal{N}_{is} e c são respectivamente pressão atmosférica, pressão de ar comprimido na entrada do tubo, eficiência isentrópica e calor específico.

Para calcular o **coeficiente de performance** (COP), define-se através do princípio de expansão isentrópica para gás ideal a seguinte equação:

$COP = Q_c / w$, em que:

$$COP = \mu_c C_p (T_i - T_c) / [(c/c - 1)RT_i ((P_i / P_c)^{c-1/c} - 1)] \quad \text{Equação 6}$$

sendo: Q_c a taxa de refrigeração por unidade de ar de entrada no tubo de vórtice e W a energia mecânica usada nesta refrigeração por unidade de ar.

μ_c é a fração de massa fria, C_p o calor específico a pressão constante, P_c pressão do ar fração fria, R constante para gás.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os ensaios foram realizados no laboratório de protótipos de máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás (UEG) e no laboratório de mecânica industrial da Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, na cidade de Anápolis em Goiás. Como o foco do trabalho foi variar as temperaturas da calda de pulverização e do ar em volta do bico de pulverização, o experimento dependia de uma estrutura que atuaria como sistema de pulverização com barra protegida permitindo a variação da temperatura em volta do bico. A parte inicial do trabalho visou projetar e construir uma estrutura que permitisse proteger o jato de pulverização e mantivesse de forma precisa a velocidade de aplicação.

3.2 RESFRIAMENTO DO AR PRÓXIMO AO BICO DE PULVERIZAÇÃO

3.2.1 Escolha do tubo de vórtice

Para o estudo foi feita a escolha do tubo de vórtice, com base na capacidade de resfriamento e/ou aquecimento do ar no entorno do bico de pulverização. Após vários testes com tubos disponibilizados pelo fabricante, o tubo de vórtice foi selecionado levando em consideração a relação custo x benefício, já que tais tubos apresentam um custo inicial bastante expressivo, em média de R\$ 0,35 por Btu h^{-1} de energia requerida para resfriamento.

O tubo escolhido foi um tubo de vórtice série 3200, modelo 3240 de fabricação norte americana, empresa ZAIR Corporation e um compressor de ar SCHULZ de alta pressão, $34 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ (20 scfm).

O tubo de vórtice utilizado possui capacidade de refrigeração de 820 Watts (2.800 Btu h^{-1}), sendo responsável por fornecer a energia mínima necessária para resfriamento ou aquecimento do ambiente entorno do bico de pulverização, podendo obter temperaturas de ar na saída do tubo entre -10 e 125°C .

A Figura 4 mostra a imagem do tubo de vórtice utilizado nos ensaios e a Figura 5 mostra os componentes deste tubo, sendo o gerador um dos componentes de destaque.



FIGURA 4. Imagem do tubo de vórtice utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.

Fonte: Catálogo EXAIR, (2007)

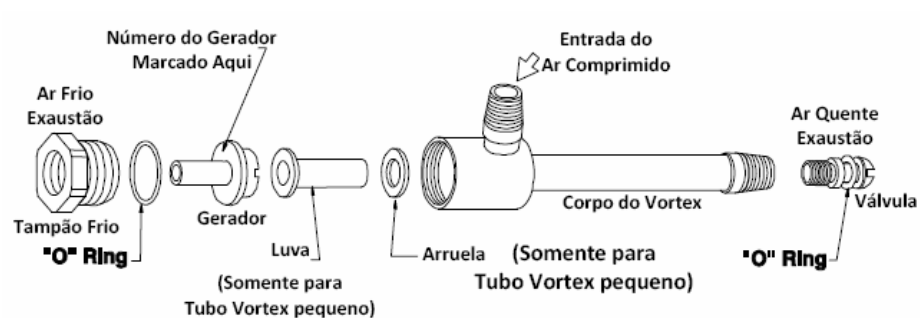


FIGURA 5. Vista explodida dos componentes do tubo de vórtice utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.

Fonte: Catálogo EXAIR, (2007)

3.2.2 Proteção do ambiente para aplicação da calda de pulverização

A Figura 6 mostra de forma esquemática o fluxo de funcionamento do conjunto principal de equipamentos e componentes utilizados no experimento. Esta figura representa o conjunto pulverizador e sua conexão com a estrutura rolante protegida e o sistema de alimentação de ar comprimido no tubo de vórtice que foi utilizado para refrigerar o ambiente dentro da estrutura.

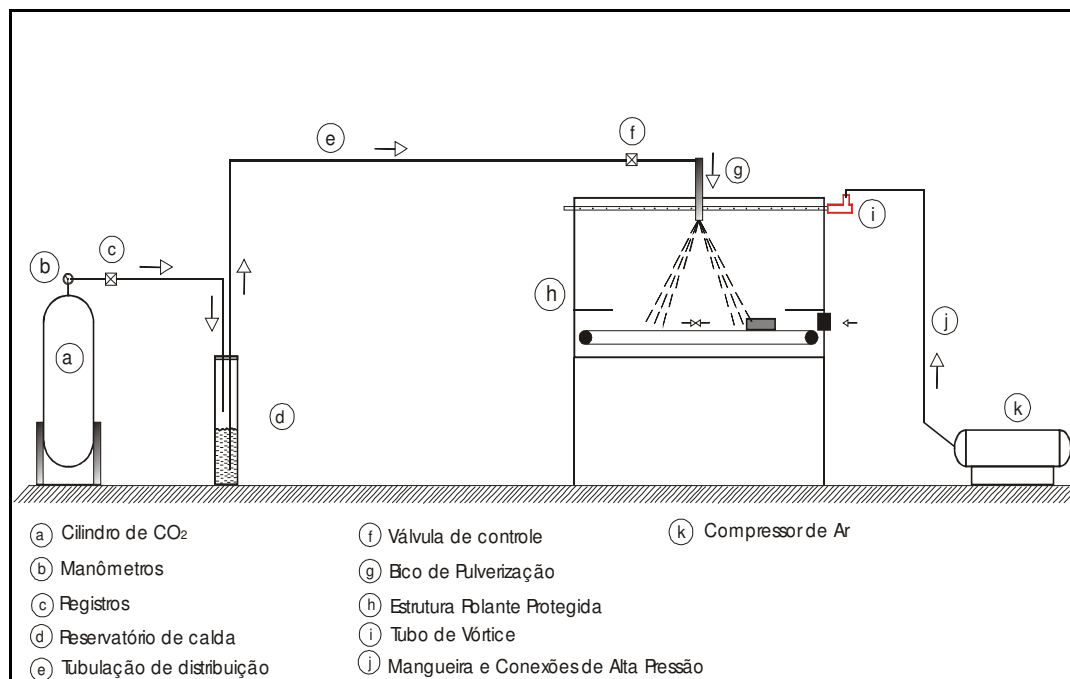


FIGURA 6. Desenho esquemático ilustrando o circuito de pulverização utilizado no ensaio para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.

Os principais equipamentos utilizados no trabalho foram: uma estrutura metálica protegida construída com um transportador de esteira em seu interior para instalação da barra de pulverização, um pulverizador costal com injeção de gás carbônico (CO₂) de fabricação da Herbicat, responsável por manter o sistema a uma pressão constante, um compressor de reservatório de 250 litros e tensão monofásica, fornecendo uma pressão máxima de 8280 kPa (8,28 bar).

O compressor foi utilizado para fornecer alimentação de ar comprimido para o tubo de vórtice, mantendo uma alimentação de ar a uma pressão de 690 kPa (6,9 bar) e vazão de 34 Nm³ h⁻¹ (20 scfm). Sendo fornecidos valores menores de pressão e vazão para o tubo de vórtice resulta em menor eficiência de resfriamento ou aquecimento.

Para monitorar a temperatura ambiente próximo ao bico de pulverização foi utilizado dois termohigrômetros modelo Oregon Scientific, precisão de 0,1 °C e 1% Umidade Relativa e um multímetro digital com haste, modelo Minipa ET-2082-B, precisão 1°C para medições de temperatura.

3.3 RESFRIAMENTO DA CALDA DE PULVERIZAÇÃO

Para o resfriamento da calda de pulverização foi utilizado um refrigerador horizontal convencional, modelo Eletrctrolux H300C, um equipamento de banho-maria, com display digital e resolução de 0,1°C para correção da temperatura da calda e dois multímetros digitais Minipa, modelo ET-2082-B precisão 1°C e 0,01V, com cabo flexível e sensor térmico.

3.4 ESTRUTURA ROLANTE COM BARRA PROTEGIDA

Este mecanismo consiste em uma estrutura metálica de perfil cantoneira de aço ABNT 1020 3/4"x1/8" soldada na parte superior e aparafusada nos pés de fixação, composta por uma correia transportadora têxtil (tipo lona de caminhão) de largura de 250 mm, espessura de 2 mm e comprimento de 1400 mm emendada a quente, sendo esta correia movimentada por dois eixos fixados em mancais de rolamentos, onde um destes eixos é acionado por acoplamento direto por um motor elétrico de potência de 01 cv, monofásico, 220/380 v, 1750 rpm, IV, polos marca SEW, um inversor de frequência, marca Siemens e um potenciômetro que permite variar e controlar a velocidade da esteira rolante. Esta estrutura possui também dois guias metálicos internos para conduzir de forma uniforme o suporte de coleta das amostras, conforme ilustra a Figura 8.

Esta estrutura foi construída para simular um mecanismo de pulverização com barra protegida, onde foram instaladas paredes de material isolante (isopor) de 50 mm de espessura para proteger o ambiente em torno da barra de pulverização. Este mecanismo oferece condições para variar e fixar a temperatura do ar em volta do bico de pulverização, internamente a estrutura foi vedada com um plástico comum de 1 mm de espessura para facilitar o escoamento da calda aplicada. As dimensões internas da estrutura são 1600 mm de comprimento por 600 mm de largura por 600 mm de altura, sendo compatível com as medidas do cone formado pela ponta de pulverização utilizada no experimento, visto que esta estrutura permitia coletar amostras sempre no mesmo ponto de referência do cone.

As amostras foram colocadas e retiradas da estrutura protegida pela mesma abertura de acesso, conforme mostram as Figuras 7 e 8. O acionamento do motor elétrico através do inversor de frequência permitiu esta inversão de rotação, trabalhando a esteira transportadora nos dois sentidos.



FIGURA 7. Imagens internas da estrutura confeccionada para realização do ensaio utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.

Para garantir a velocidade constante da esteira transportadora de 5 km h^{-1} em todos os testes, o inversor de frequência foi ajustado e fixado em $9,52 \text{ Hz}$, para facilitar os ajustes iniciais de determinação da frequência correspondente a velocidade requerida foi utilizado o potenciômetro não necessitando fazer alterações diretamente no inversor.

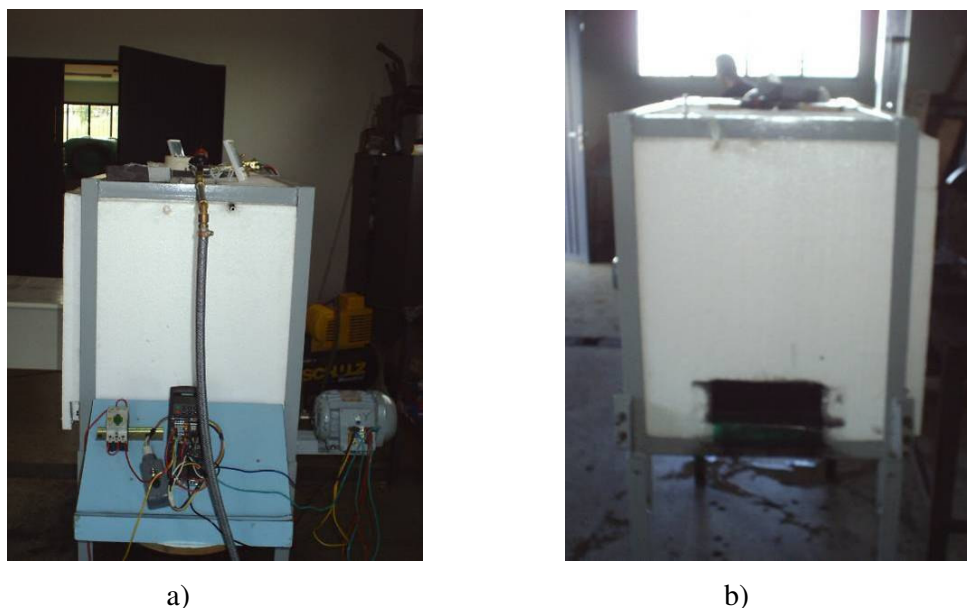


FIGURA 8. Imagens da estrutura confeccionada para realização do ensaio utilizado para resfriamento do ambiente próximo ao bico de pulverização.

- a) Vista do motor e painel com inversor de frequência, potenciômetro e chave liga-desliga
 b) Vista da abertura de entrada e saída das amostras para aplicação da calda de pulverização

A Figura 9 mostra os instrumentos utilizados no circuito interligado à estrutura rolante protegida, sendo o inversor de frequência utilizado para monitorar a velocidade de pulverização (velocidade da esteira), o termohigrômetro utilizado para monitorar a umidade

relativa e temperatura dentro da estrutura e os manômetros e regulador de pressão de CO₂ utilizados para controlar e garantir a pressão de pulverização.

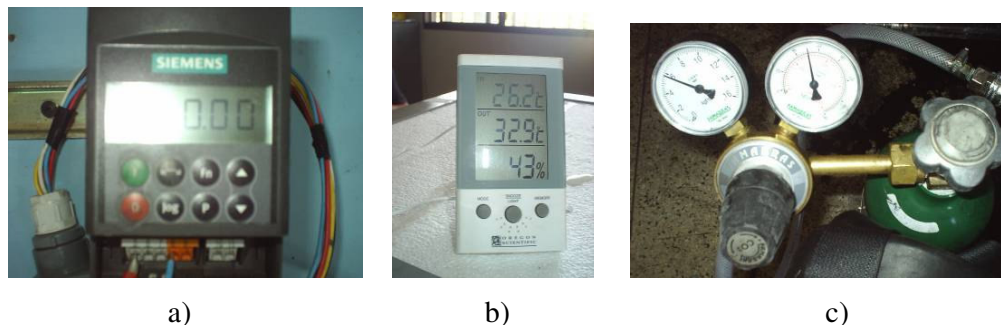


FIGURA 9. Controlador e medidor de frequência do motor (a); medidor de temperatura e umidade relativa do ar (b); pulverizador de CO₂ utilizado para aplicação da calda de pulverização (c).

A altura interna da estrutura rolante (entre a esteira e o topo da estrutura) é de 600 mm, permitindo utilizar uma altura de aplicação de 0,50 m. O controle da pressão de aplicação foi feito através do conjunto regulador e manômetro, mantido em 6 bar, a temperatura da calda de aplicação através de um refrigerador horizontal convencional e multímetro digital. O ar comprimido necessário para o funcionamento do tubo de vórtice, gerando um jato de ar gelado ou quente foi direcionado para dentro da região em volta do bico de pulverização, fornecido por um compressor de ar tipo pistão, com três cabeçotes e capacidade de 828 kPa (8,28 bar) e 34 Nm³ h⁻¹ (20 scfm). O reservatório utilizado para armazenar e aplicar a calda é de polietileno trefilado (PET) com capacidade de 02 litros.

3.5 CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Foi utilizada uma altura de aplicação de 0,50 m, uma velocidade constante de 5 km h⁻¹, uma pressão constante de 600 kPa (6 bar) com apenas um bico na barra de pulverização. Todos os ensaios ocorreram entre os dias 20 e 30/07/2009 entre os horários de 12h30min e 15h, mantendo a umidade relativa do ar ambiente entre 41 e 43% e a velocidade do ar interno (comportando como vento) de 1,5 Km h⁻¹. O efeito do resfriamento momentâneo em torno do bico de pulverização não alterou o valor da umidade relativa que se manteve constante. Nas condições citadas acima a ponta de pulverização forneceu uma vazão média de 0,625 L min⁻¹, sendo a vazão especificada em catálogo de 0,580 L min⁻¹ para uma pressão de

500 kPa (5 bar) e $0,780 \text{ L min}^{-1}$ para uma pressão de 100 kPa (10 bar), resultando num volume de aplicação estimado em 150 L ha^{-1} .

Utilizou-se uma ponta de pulverização tipo cone vazio (fabricante Teejet), ponta e difusor, com orifício de polímero nº3 e código DVP-3, sendo o difusor de nylon de código DC23-NY na cor verde, corpo do bico de código QI8355-1/8-NYB com mecanismo de anti-gotejo, conforme informações do catálogo do fabricante Teejet. O bico de pulverização foi instalado na parte superior da estrutura, conforme ilustra a Figura 10.

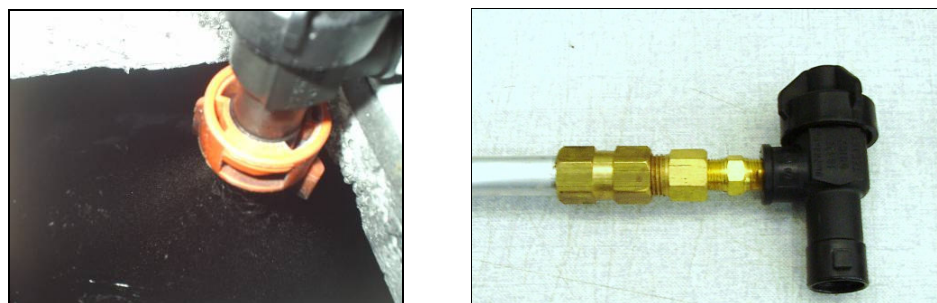


FIGURA 10. Bico de pulverização instalado na parte superior da estrutura protegida para a variação da temperatura próxima ao bico de pulverização

3.6 ANÁLISE DO ESPECTRO DE GOTAS

Para a obtenção do espectro de gotas proporcionado pela ponta foi determinado o DMV, $DV_{0,1}$, $DV_{0,9}$, Span, DMN e % de gotas menores que 100 micrometros, já para a análise da concentração das gotas foi feita a porcentagem de cobertura, para isso utilizou-se etiquetas hidrossensíveis (tamanho 76 x 26 mm). Foi utilizado uma etiqueta por parcela, ou seja, os alvos foram distribuídos sobre a esteira rolante a 0,5 m de altura da ponta (Figura 10). Foi padronizado um tempo de espera de 30 minutos para secagem antes de efetuar o processo de aquisição das imagens por meio de scanear. As etiquetas de papel hidrossensível foram escaneadas por um scanner, modelo HP DeskJet F4180, utilizando uma resolução de 600 dpi e analisadas por meio de programa computacional “Image Tool” versão 3.0 UTHSCSA.

Na análise das etiquetas de papel hidrossensível, para obter o diâmetro final das gotas foi utilizado o fator de espalhamento definido por Chaim et al. (1999), onde o processo de obtenção do valor do fator de espalhamento para diferentes diâmetros de leitura ($fe(DL)$), necessário para as estimativas de DMV, $DV_{0,1}$, $DV_{0,9}$ e de DMN, foi facilitado pelo ajuste de um modelo empírico aos diferentes tamanhos de gotas e seus respectivos fatores de espalhamento. Sendo que o menor tamanho de gota lido pelo programa foi de 83

micrometros. O modelo definido por Chaim obtido por regressão linear com conversão de variáveis é apresentado a seguir:

$$fe(DL) = 0,8419 + 0,000152 * DL + 0,1758 * \ln(DL) \quad \text{Equação 7}$$

com: $R^2 = 0,9947$.

A Equação 7 foi utilizada para fazer a correção do tamanho da gota, obtendo a relação entre o valor do diâmetro de leitura retirado do software pelo fator de espalhamento $Fe(DL)$.

A Figura 11 ilustra imagens de uma etiqueta tratada no software Image Tool durante a realização dos tratamentos.

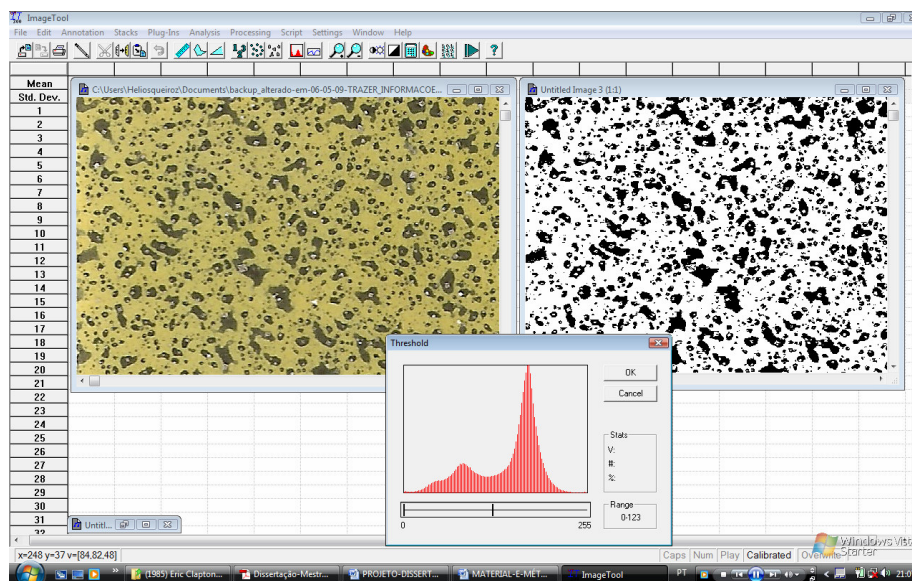


FIGURA 11. Imagens de uma etiqueta tratada no software Image Tool

3.7 AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO

Foram utilizados copos de PVC de 150 mL com tampa para coleta de amostras para análise de condutividade elétrica. A Figura 12 mostra o suporte utilizado para colocar as etiquetas e o copo de PVC para coletar as amostras dentro da estrutura com ambiente protegido.

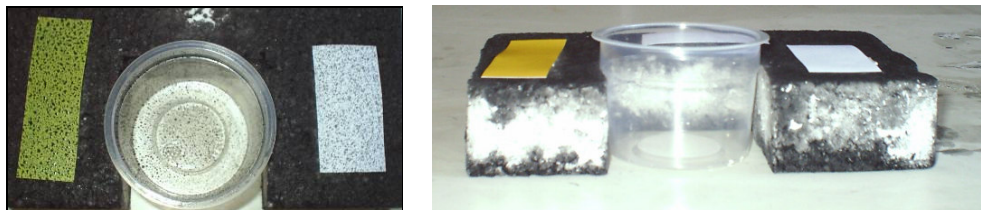


FIGURA 12. Etiquetas de papel hidrossensível e recipiente para coleta de amostra para deposição nas diferentes temperaturas do ar e temperaturas da calda dentro do ambiente protegido.

A calda de pulverização foi preparada conforme metodologia proposta por ABI SAAB (1996; 2000) que correlaciona condutividade elétrica da solução e a deposição da calda de pulverização, sendo utilizado um reservatório de 150 litros para preparar a calda de uma única vez e garantir sua homogeneidade. Conforme metodologia proposta a solução foi preparada com cloreto de potássio (KCl - granulado para adubação) em água, em uma proporção de 20% em volume, sendo 100 L de água e 20.000 g de cloreto de potássio.

A deposição da pulverização foi avaliada utilizando o método de análise de condutividade elétrica com solução de KCl, utilizando copos descartáveis de PVC para coleta das amostras e posterior diluição com 50 mL de água destilada e deionizada, conforme metodologia proposta por ABI SAAB (2000).

Para medir a condutividade elétrica das amostras utilizou-se um condutímetro portátil microprocessado, modelo mCA-150P, fabricante Tecnopon, com compensação de temperatura automática, bivolt (110/127 ou 220 V), resolução de 0,01 para a faixa de 0 a 20 $\mu\text{S cm}^{-1}$. As amostras foram coletadas em copos de PVC de 150 mL, o equipamento foi previamente calibrado com solução padrão de KCl de 146,7 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C com $K=0,869$, e utilizado água destilada e deionizada para realizar limpeza do eletrodo entre os intervalos de cada medição. A Figura 13 ilustra estas amostras.



FIGURA 13. Amostras coletadas para análise de deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S cm}^{-1}$) já com a dosagem de 50 mL de água destilada e deionizada.

3.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas foram constituídas das temperaturas do ar próximo ao bico (16, 21, 26, 31 e 36°C) e as subparcelas das temperaturas da calda de pulverização (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C), segundo delineamento em blocos casualizados, com 05 repetições, totalizando 175 unidades experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando significativos foram escolhidos modelos de regressão utilizando teste t a 5% de probabilidade. As análises dos dados foram realizadas utilizando os programas computacionais R: Project for Statistical Computing - Version 2.9.1 (2009-06-26) e Statistica-7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variâncias apresentado na Tabela 1 indicam que: a temperatura do ar (TA) afetou significativamente a deposição, a cobertura, a percentagem de gotas menores que 100 micrometros, a amplitude relativa (Span), o diâmetro da mediana numérica (DMN) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV); a temperatura da calda (TC) afetou significativamente a deposição, a cobertura, a percentagem de gotas menores que 100 micrometros e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV). A interação entre a temperatura do ar e a temperatura da calda (TA*TC) afetou significativamente a deposição.

TABELA 1 – Resumo da análise de variância das características da deposição, cobertura, percentual de gotas menores que 100 μm , amplitude relativa (Span), diâmetro da mediana numérica (DMN) e diâmetro da mediana volumétrica (DMV).

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		Deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Cobertura (%)	Gotas <100 μm (%)	Span -	DMN (μm)	DMV (μm)
Blocos	4	19.542,0000	0,0048	0,0061	0,3030	315,9900	4.478,6110
Temperatura do ar (TA)	4	97.102,0000*	0,0372**	0,4159***	1,1110	6.930,8000**	62.524,4700***
Resíduo1	16	20.653,0000	0,0051	0,0026	0,1360	1.219,6000	1.743,5560
Temperatura da calda (TC)	6	445.162,0000***	0,1389***	0,0253***	0,1520	478,0000	7.809,1940**
TA*TC	24	5.114,0000 *	0,0037	0,0016	0,1350	1.276,0000	2.160,3610
Resíduo2	120	3.084,0000	0,0041	0,0028	0,1230	1.099,0000	2.211,9440
Total	174	590.657,0000	0,1938	0,4543	1,9600	11.319,3900	80.928,1400
	CV1 =	21,0250	17,7100	14,1700	27,6500	24,3700	20,5100
	CV2 =	8,1240	15,8800	14,7000	26,2500	23,1300	23,1000
	Média:	683,5390	0,4030	0,3600	1,3350	143,3200	203,6300

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.

CV1: Coeficiente de variação da parcela (%)

CV2: Coeficiente de variação da subparcela (%)

4.1 DEPOSIÇÃO DA CALDA DE PULVERIZAÇÃO

A condutividade elétrica da calda foi avaliada para verificar o comportamento da deposição da calda de pulverização aplicada sobre o alvo. Houve efeito significativo da interação entre as temperaturas do ar e as temperaturas da calda de pulverização (Tabela 1). Foi feito o desdobramento da análise de variância das temperaturas da calda em cada nível de temperatura do ar, conforme resultado apresentado na Tabela 2.

De forma complementar o gráfico da Figura 1A do apêndice mostra o grau de influência que as temperaturas da calda e do ar apresentaram na deposição, onde verifica-se que a variação da temperatura da calda possui uma forte correlação com a deposição, e a temperatura do ar uma correlação um pouco mais branda, porém também significativa. Observa-se também que o bloco apresentou fraca ou nenhuma influência no fenômeno estudado, sendo desconsiderada como efeito nos resultados.

O comportamento da deposição em função da variação da temperatura da calda para as diferentes temperaturas do ar pode ser verificado na Figura 14. Observa-se que a deposição apresenta-se uma tendência similar para todas as cinco faixas de temperatura do ar, reduzindo a temperatura da calda aumenta-se a deposição no alvo. Resultados semelhantes foram encontrados por Balan et al. (2008) que trabalhando com pontas de pulverização de jato cone vazio na deposição de calda no alvo, encontraram uma variação de mais de 100% para uma variação de temperatura entre 30 e 19°C entre os horários de 0 e 21 horas. Os resultados mostraram que a deposição das gotas produzidas pela ponta de jato cônico vazio foi significativamente afetada pela variação das condições meteorológicas, onde a deposição diminui significativamente à medida que temperatura aumenta.

A redução da temperatura do ar próximo ao bico de pulverização é uma estratégia a ser empregado por fabricantes de pulverizadores para obter esses resultados de variação da deposição da calda de pulverização, utilizando tubos de vórtice para este resfriamento, como utilizado neste trabalho.

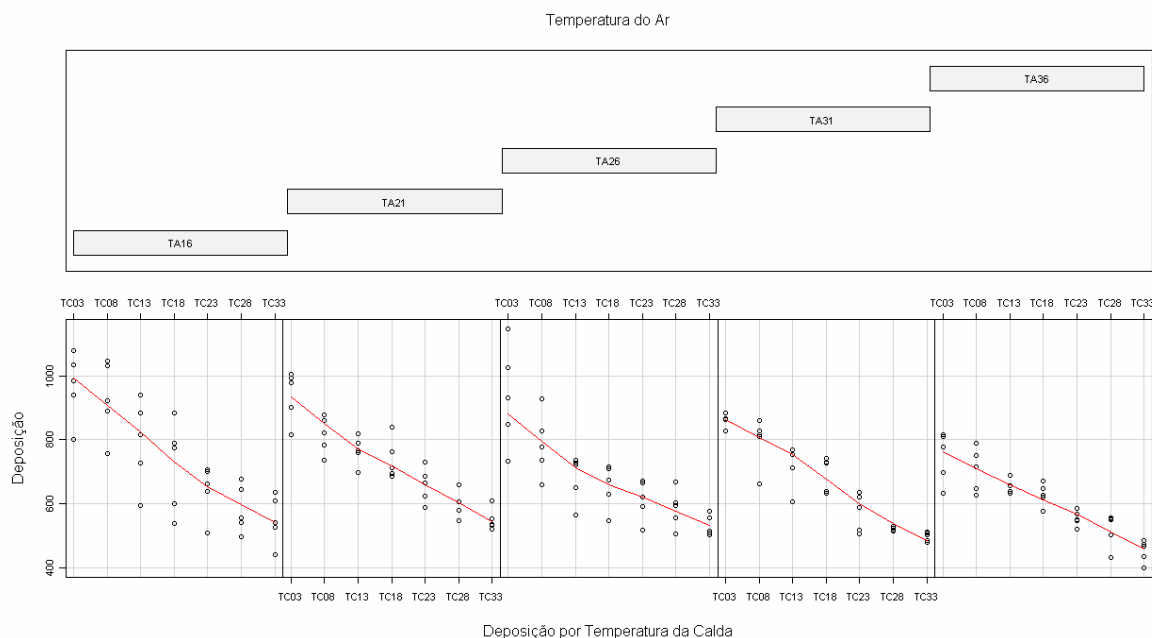


FIGURA 14. Comportamento da deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) em função da temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$) nas diferentes temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$).
TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda

Para modelar a superfície de resposta para a deposição foi desdobrado os efeitos dos tratamentos em efeitos de regressão conforme Muniz et al. (2000). Como o experimento foi realizado em parcelas subdividas, e cada parcela possui 5 fatores (TA), e as subparcelas 7 fatores (TC), a regressão poderia portanto chegar a um efeito de grau 4 (5-1) para as parcelas (TA) e a um efeito de grau 6 (7-1) para as subparcelas (TC). A análise de variância apresentado na Tabela 3A do apêndice foi desdobrada primeiramente em efeito linear, quadrático e desvio da regressão para os graus acima de 2. Observa-se na Tabela 3A, que o efeito quadrático do tratamento da temperatura do ar (TA) não foi significativo e nenhum desvio de regressão foi significativo, podendo-se excluir esses efeitos do modelo. Dessa forma a nova análise de variância foi apresentada na Tabela 4A.

Considerando que a superfície resposta é uma função do tipo $f(x,y)$: deposição, em que x é a temperatura do ar e y a temperatura da calda, a equação que melhor ajusta a relação é dada por:

$$f(x,y) = 1.204,972 - 10,324x - 22,902y + 0,145y^2 + 0,209xy \quad \text{Equação 8}$$

A análise de variância da deposição mostrou-se significativa quando houve a variação da temperatura do ar e temperatura da calda, como mostrado na Tabela 1. Isto

implicou adotar o modelo de regressão para determinar entre os dois fatores qual é o de maior influência na deposição.

O modelo ajustado da deposição foi escolhido pela análise de significância dos fatores conforme análise de variância feita nas Tabelas 4A e 5A conforme Muniz, et al. (2000). Portanto, o modelo de superfície estimado para a característica condutividade elétrica em função da temperatura do ar e temperatura da calda de pulverização, foi descrito na Equação 8 e reorganizado na Equação 9:

$$\hat{Y} = 1.204,97 - 10,32^{**}TA - 22,90^{**}TC + 0,145*TC^2 + 0,209^{**}TATC \quad \text{Equação 9}$$

** Significativo a 1% e * significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

A superfície de resposta tridimensional e o contorno ajustado aos dados de deposição, de acordo com o modelo polinomial de regressão estimado, encontram-se na Figura 15. Como pode ser visualizado nesta Figura 15, o aumento da temperatura do ar de 16 para 36°C, em uma mesma temperatura da calda, acarreta uma redução na condutividade elétrica medida, devido a uma menor deposição de calda sobre o alvo. Os resultados mostram que o aumento da temperatura do ar, mantendo a umidade relativa do ar, tendo presença de fluxo de ar (vento) apresentou efeito sobre a deposição, devido a evaporação das gotas nas temperaturas mais elevadas e possivelmente provocou deriva desviando as gotas menores e as partículas de sal do alvo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Balan, et al. (2008) que trabalhando com pontas de pulverização de jato cônico vazio encontrou maior deposição nas menores temperaturas do ar.

O aumento da temperatura da calda de pulverização de 3 para 33°C, em uma mesma temperatura do ar, também provocou uma redução na condutividade elétrica desta calda, devido também a redução da deposição de calda nas maiores temperaturas. Logo para aplicações em campo o ideal seria trabalhar com menores temperaturas da calda de pulverização, que resultaria em um ganho maior em deposição no alvo.

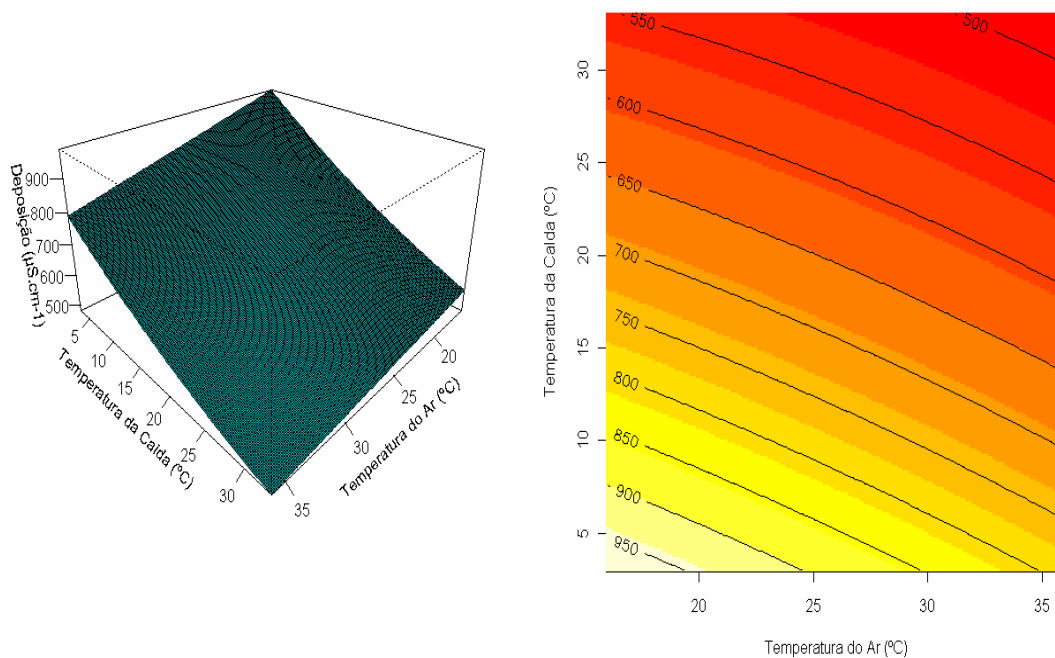


FIGURA 15. Superfície e contorno representando o efeito da temperatura do ar e temperatura da calda de pulverização sobre a deposição.
Deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

A Figura 2A do apêndice mostra de forma complementar esta mesma superfície de resposta para a deposição, porém em escalas diferentes das apresentadas nesta figura.

Na Tabela 2 verifica-se que todos os 05 níveis de temperatura do ar (16, 21, 26, 31 e 36 °C) afetaram significativamente a condutividade elétrica da calda de pulverização. Para verificar possíveis diferenças entre estes níveis foram realizadas as comparações múltiplas em cada um destes níveis de ar por meio do Teste de Tukey a 5% de significância, cujos dados estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 2 – Análise de variância do desdobramento da Interação (TA*TC) para deposição nos 05 níveis de temperatura do ar (16, 21, 26, 31 e 36°C).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	SQ	QM	F	Pr >F
Blocos	4	78.170	19.542		
TA	4	388.410	97.102	4,7017	0,01061*
Resíduo 1	16	330.441	20.653		
TA*TC	30	2.793.702	93.123	30,1920	<2,2e-16***
TA:TC – TA16	6	807.094	134.516	43,6130	<2,2e-16***
TA:TC – TA21	6	533.032	88.839	28,8030	<2,2e-16***
TA:TC – TA26	6	568.826	94.804	30,7370	<2,2e-16***
TA:TC – TA31	6	554.166	92.361	29,9450	<2,2e-16***
TA:TC – TA36	6	330.584	55.097	17,8640	1,02e-14***
Resíduo 2	120	370.119	3.084		
Total	174				

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.

TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda

Analisando os resultados fornecidos pela Tabela 3, observa-se que as diferenças mais significativas estão entre as temperaturas das extremidades avaliadas, 3 e 33°C. Como esperado, na comparação das temperaturas da calda de aplicação em cada temperatura do ar (Tabela 3), pode-se notar que a deposição de calda resultante da ponta jato cônico vazio, diminui significativamente à medida que a temperatura aumenta, conforme afirmam Matthews (1982) e Balan et al. (2008).

Para a temperatura do ar de 16°C destaca-se a maior diferença entre os valores médios de deposição nas temperaturas de calda de 33 e 3°C, esta diferença foi de 418,020 $\mu\text{S cm}^{-1}$ que representa 61,16% sobre a média geral e para a temperatura do ar de 36°C destaca-se a menor diferença que representa 43,09%, cuja diferença representa 294,56 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Estes valores mostram que com o aumento da temperatura do ar provocou redução na deposição da calda de pulverização. Pesquisas feitas por Kirk et al. (1992) realizadas na cultura do algodoeiro apresentaram altos níveis de depósitos de pulverização em aplicações sob condições de baixa temperatura, baixa velocidade do vento e alta umidade relativa do ar.

Os resultados encontrados também corroboram com as pesquisas feitas por Chaim et al. (1999) que durante testes com o fungicida cúprico com traçador observaram perdas extremamente elevadas, com redução significativa da deposição de produto no alvo, devido a

influência da temperatura ambiente e umidade relativa na evaporação das gotas de pequeno diâmetro, consequência da elevação da pressão hidráulica feita pelos agricultores na tentativa de melhorar a penetração no interior das plantas.

TABELA 3 – Comparação múltipla nos 05 níveis de temperatura do ar – TA (16, 21, 26, 31 e 36°C) com os 07 níveis de temperatura da calda - TC (03, 08, 13, 18, 23, 28 e 33°C) com valores médios de deposição.

TC	TA				
	16°C	21°C	26°C	31°C	36°C
	Médias de deposição (condutividade Elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)				
3°C	968,08 a	939,00 a	937,50 a	853,90 a	746,36 a
8°C	930,26 a	815,02 b	786,18 b	759,24 ab	706,30 ab
13°C	792,48 b	766,50 b	679,84 c	689,28 c	650,68 abc
18°C	717,50 bc	739,16 bc	654,90 c	693,90 bc	628,36 ac
23°C	643,54 cd	658,46 cd	613,40 cd	573,80 d	554,44 cd
28°C	583,28 d	599,74 de	585,54 cd	521,42 d	519,64 d
33°C	550,06 d	549,86 e	530,64 e	497,80 d	451,80 d

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não difere entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

4.2 COBERTURA DO ALVO

Os dados referentes a cobertura do alvo representam o percentual de área do alvo coberta pela calda aplicada. As informações da Tabela 1 referentes a cobertura mostram que a interação Temperatura do Ar e Temperatura da Calda (TA*TC) não foi significativa, não sendo necessário fazer o desdobramento desta interação, ou seja, não é necessário verificar o efeito da temperatura da calda em cada nível da temperatura do ar e fazer as comparações múltiplas das temperaturas da calda em cada nível de temperatura do ar.

A Figura 3A do apêndice fornece informações de média e desvio padrão dos dados levantados para a característica cobertura para complementação da compreensão e visualização do comportamento do percentual de cobertura da calda pulverizada. Esta figura mostra uma grande influência da temperatura da calda no efeito da cobertura, enquanto que a temperatura do ar apresenta uma influência menos acentuada, podendo considerar que o bloco não apresentou influência.

A Figura 16 mostra a variação do percentual de cobertura do alvo em função da temperatura da calda de pulverização em diferentes temperaturas do ar, onde pode-se observar um comportamento similar nas 05 parcelas, aumentando a temperatura da calda reduz-se a cobertura.

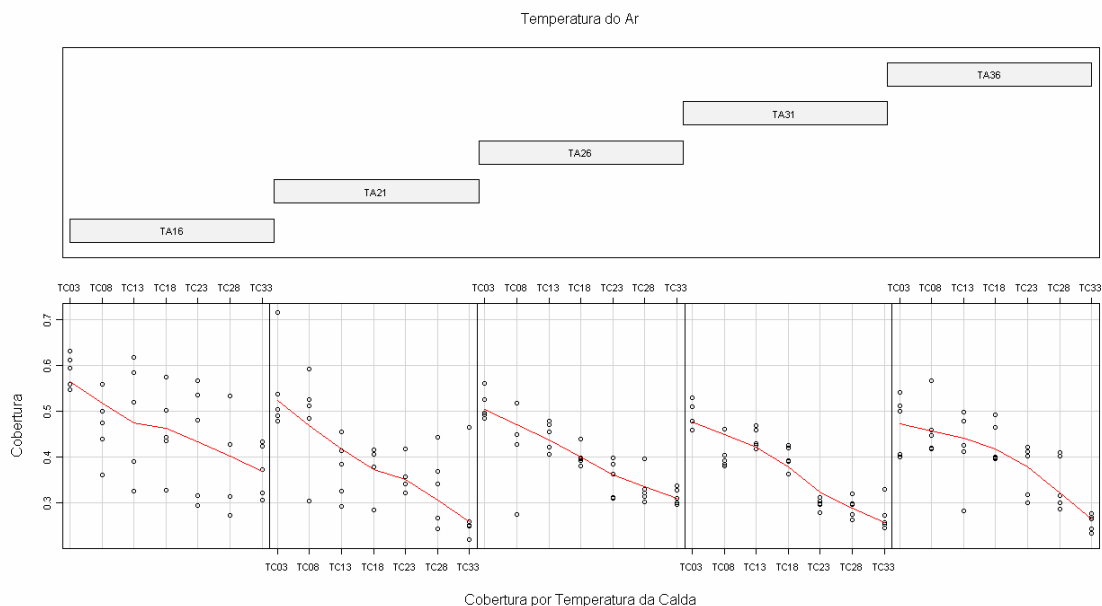


FIGURA 16. Comportamento da cobertura (%) em função da temperatura da calda (°C) nas diferentes temperaturas do ar (°C).

TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda

Analisando a Tabela 1, por meio da análise de variância observa-se que para a característica cobertura do alvo houve diferença significativa nas temperaturas do ar e nas temperaturas da calda, então foram feitas as regressões para sua avaliação.

A Figura 17 mostra a estimativa da cobertura em função da variação da temperatura do ar, onde apresenta um coeficiente de determinação (r^2) de 0,538, portando, apesar de 53,8% dos resultados poderem ser explicados por este modelo de regressão linear, o modelo somente foi significativo a 15,8% pelo teste F. A maior cobertura do alvo ocorreu na menor temperatura do ar próximo ao bico de pulverização. Os resultados encontrados corroboram com as premissas defendidas por (MATTHEWS (1992), CHRISTOFOLETTI (1999) e EMBRAPA (2002)) que preconizam que maiores temperaturas do ar ambiente provocam redução na taxa de cobertura de aplicação de calda de pulverização.

Estes resultados estão consoantes com pesquisas feitas por Kirk et al. (1992), onde em estudos feitos na cultura do algodoeiro apresentaram altos níveis de depósitos de

pulverização em aplicações sob condições de baixa temperatura do ar, baixa velocidade do vento e alta umidade relativa do ar.

Os resultados encontrados também estão de acordo com estudos realizados por Souza et al. (2007b), que avaliaram diversos tipos de pontas de pulverização, destacando a ponta tipo jato cônico vazio que apresentou menor percentual de cobertura, atingindo perdas na ordem de 72,55%, estando a temperatura do ar no momento da aplicação em 31°C, umidade relativa de 33% e velocidade do vento a 7 km h⁻¹.

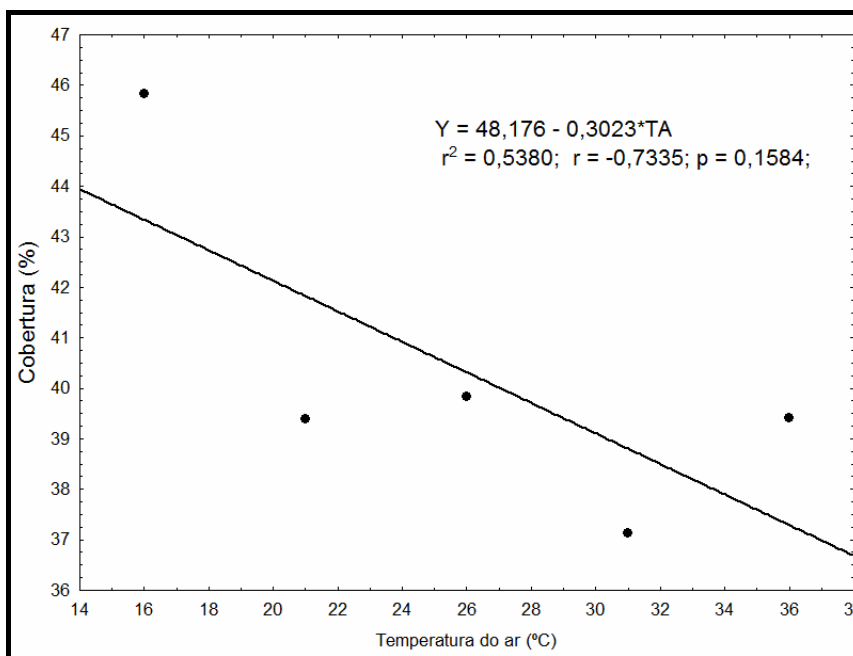


FIGURA 17. Estimativa da cobertura em função da variação da temperatura do ar.

A Figura 18 mostra a estimativa da cobertura em função da variação da temperatura da calda, que apresentou um coeficiente de determinação (r^2) de 0,9721, onde 97,21% dos resultados puderam ser explicados pelo modelo de regressão linear, sendo portanto o fator de maior influência na taxa de cobertura. Esta estimativa da cobertura em função da variação da temperatura da calda de pulverização foi significativa a 5% pelo teste F.

Conforme dados da Tabela 5 e Figura 18, a redução da temperatura da calda entre as faixas de 33 e 3°C provocou um aumento no percentual de cobertura, chegando a diferenças próximas de 20% para a ponta de pulverização (Teejet modelo DVP-3) utilizada no experimento. A maior cobertura do alvo ocorreu na menor temperatura da calda de pulverização.

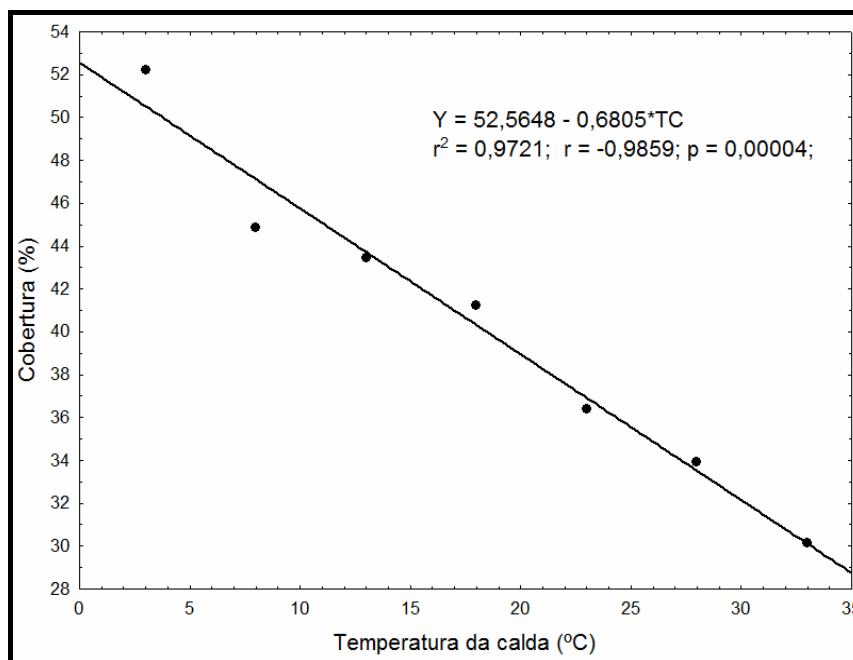


FIGURA 18. Estimativa da cobertura em função da variação da temperatura da calda.

Os resultados encontrados mostram que a redução da temperatura da calda apresenta um maior percentual de cobertura da calda de pulverização sobre o alvo devido a redução de evaporação e deriva das gotas. Para melhor compreensão também foi feito a análise de variância completa com desdobramento dos efeitos de regressão para Cobertura. As informações desta análise de variância encontram-se na Tabela 7A do apêndice.

Observando a Tabela 1 e a Tabela 6A do apêndice, verifica-se para a característica cobertura que houve diferença significativa nas temperaturas do ar e nas temperaturas da calda, então foram realizadas também as comparações múltiplas em cada um destes níveis de temperatura do ar e temperatura da calda através do Teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando a Tabela 4 tem-se que a temperatura do ar a 16°C foi a que apresentou significância no teste de Tukey ao nível de 5%. Ou seja, nas condições de realização dos ensaios a taxa de cobertura das etiquetas foi maior para a temperatura do ar de 16°C, no valor de 45,86%.

TABELA 4 – Comparações múltiplas das médias de cobertura nos 05 níveis de temperatura do ar - TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).

Tratamentos	Médias
TA (°C)	Cobertura (%)
31	37,17 b
36	39,46 b
21	39,49 b
26	39,89 b
16	45,86 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*DMS: 0,0527

Os dados da Tabela 5 mostram que a menor temperatura da calda de pulverização (3°C) apresentou maior percentual de cobertura, destacando a diferença de 22,08% na taxa de cobertura entre as temperaturas de 3 e 33°C. Esse aumento do percentual de cobertura proporciona uma maior eficácia no processo de aplicação de agroquímico, sendo a redução de temperatura da calda uma estratégia a ser empregado por fabricantes de pulverizadores para obter esses resultados, utilizando, por exemplo, tubos de vórtice também para o resfriamento da calda.

Estes resultados mostram um número menor de gotas ou de menor tamanho chegando ao alvo em situações onde as condições ambientes e a calda de pulverização, apresentam temperaturas mais elevadas, reduzindo o percentual de cobertura do alvo, possivelmente pela presença de evaporação e deriva de gotas de diâmetros menores.

TABELA 5 – Comparações múltiplas das médias de cobertura nos 07 níveis de temperatura da calda - TC (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C).

Tratamentos	Médias
TC (°C)	Cobertura (%)
33	30,16 e
28	33,92 de
23	36,44 cd
18	41,32 bc
13	43,52 b
8	45,00 b
3	52,24 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*DMS: 0,0546

4.3 PERCENTUAL DE GOTAS MENORES QUE 100 MICROMETROS

A Tabela 1 mostra que o percentual de gotas menores que 100 micrometros teve influência significativa da temperatura do ar e da temperatura da calda. A Figura 4A do apêndice fornece informações de média e desvio padrão dos dados levantados para esta característica para complementação da compreensão e visualização do comportamento das gotas distribuídas nas etiquetas pulverizadas. Esta figura mostra uma grande influência da temperatura da calda no efeito do percentual de gotas menores que 100 micrometros, enquanto que a temperatura do ar apresenta uma influência menos acentuada, podendo considerar que o bloco não apresentou influência.

O comportamento do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da temperatura da calda de pulverização nas diferentes temperaturas do ar, são apresentados na Figura 19, na qual observa-se um aumento na proporção de gotas menores que 100 micrometros com o aumento da temperatura da calda de pulverização. Resultados semelhantes foram encontrados por Corrêa, (1985) adicionando um antievaporante na aplicação. Nas temperaturas do ar de 21, 26 e 31°C o comportamento linear apresentou-se mais característico.

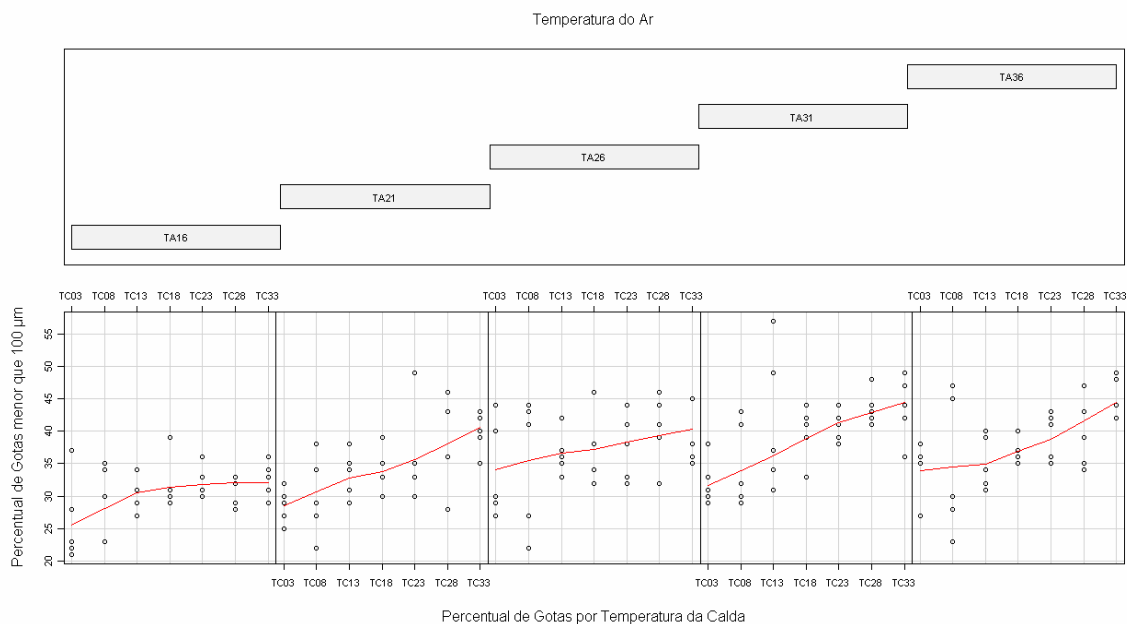


FIGURA 19. Comportamento do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da temperatura da calda (°C) nas diferentes temperaturas do ar (°C).

TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda

Observando os dados da Tabela 1 e Tabela 8A do apêndice verifica-se que as parcelas de temperatura do ar (TA) e as subparcelas de temperatura da calda (TC) foram significativas, necessitando realizar as regressões para avaliação de seu comportamento.

A Figura 20 mostra a estimativa do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da variação da temperatura do ar, onde apresenta um coeficiente de determinação (r^2) de 0,7806. O modelo estimado para o percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da temperatura do ar foi significativo a 5% pelo teste F. O aumento da temperatura do ar próximo ao bico de pulverização causou aumento na proporção de gotas menores que 100 μm , isto vai influenciar diretamente na qualidade da cobertura e, portanto, a eficácia biológica da aplicação, impactando também no deslocamento (deriva) e na evaporação da calda (MATTHEWS, 1992).

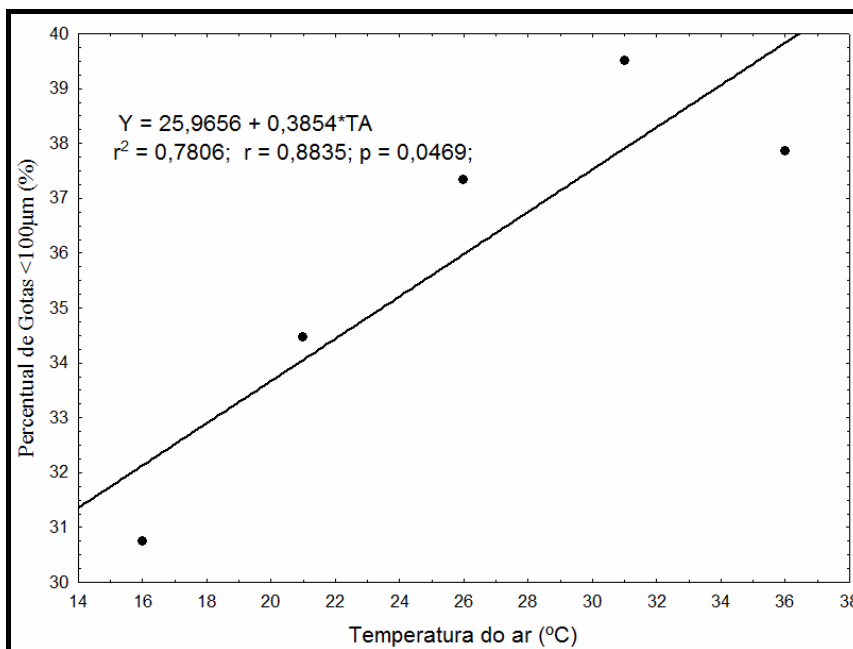


FIGURA 20. Estimativa do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da variação da temperatura do ar (TA).

A Figura 21 mostra a estimativa do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da variação da temperatura da calda, que apresentou um coeficiente de determinação (r^2) de 0,9801, significativos a 5% pelo teste F, sendo portanto o fator de maior influência no percentual de gotas menores que 100 micrometros. O aumento da temperatura da calda de pulverização gerou um aumento do percentual de gotas menores que 100 μm , logo aumentando a susceptibilidade a deriva. Resultados semelhantes foram encontrados por Downer et al. (1998).

Em pulverizações hidráulicas, para que haja uma boa cobertura do alvo é extremamente recomendado controlar a evaporação da água, podendo ser utilizado o resfriamento da calda de pulverização, conforme mostrado na Figura 20.

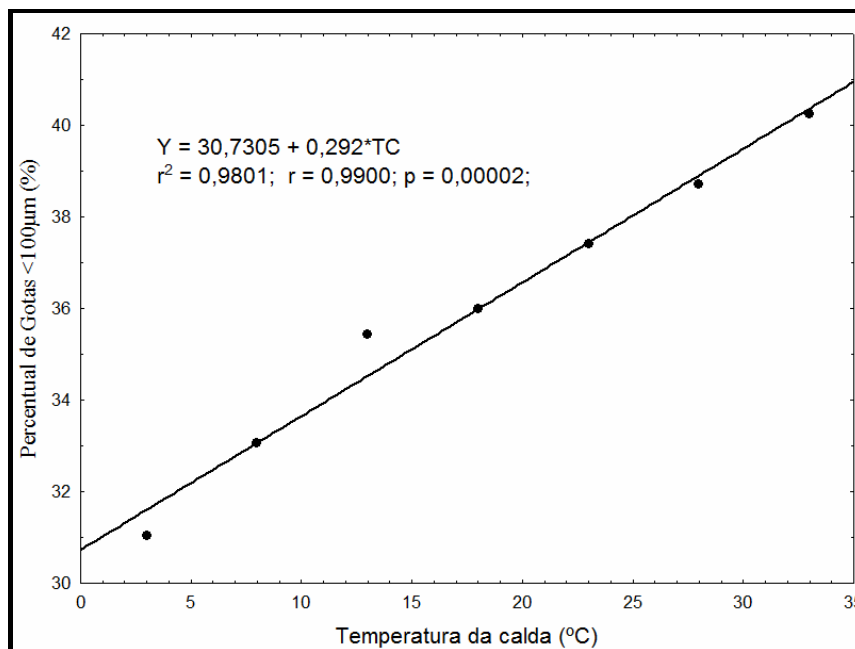


FIGURA 21. Estimativa do percentual de gotas menores que 100 micrometros em função da variação da temperatura da calda (TC).

Conforme Muniz et al. (2000), neste caso também a regressão poderia chegar a um efeito de grau 4 (5-1) para a parcela TA e a um efeito de grau 6 (7-1) para a subparcela TC, então foi realizado também uma análise de variância completa com desdobramento dos efeitos de regressão para o percentual de gotas menores que 100 micrometros. As informações desta análise de variância encontram-se na Tabela 8A do apêndice.

Para complementação da análise foram realizadas as comparações múltiplas em cada nível de temperatura do ar e temperatura da calda através do Teste de Tukey a 5% de significância.

A temperatura do ar de 16°C apresentou menor percentual de gotas menores que 100 µm, 30,74%, conforme Tabela 6, apresentando menor influência de evaporação. Já para a temperatura do ar de 36°C houve maior percentual de gotas menores que 100 µm, possivelmente isso ocorreu devido a evaporação de gotas grandes antes de atingir o alvo, aumentando assim o percentual de gotas com esse diâmetro, apresentando maior potencial de deriva. Resultados semelhantes foram encontrados por Downer et al, (1998). O diâmetro das

gotas influencia diretamente a qualidade da cobertura e, portanto, a eficácia biológica da aplicação, impactando também no deslocamento (deriva) e na evaporação da calda (MATTHEWS, 1992).

TABELA 6 – Comparações múltiplas das médias do percentual de gotas menores que 100 μm nos 05 níveis de temperatura do ar – TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).

Tratamentos	Médias
TA (°C)	Gotas <100 μm (%)
16	30,74 c
21	34,49 b
26	37,34 ba
31	37,86 ba
36	39,51 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*DMS: 0,0371

A Tabela 7 apresenta os resultados para o percentual de gotas menores que 100 micrometros, com o aumento da temperatura da calda de pulverização. As menores temperaturas apresentaram menor percentual de gotas susceptíveis a deriva, apresentando diferença de 9,20% entre 3 e 33°C. Este aumento está relacionado a perda de massa das gotas, ao evaporar com o aumento da temperatura da calda de pulverização. Estes resultados corroboram com estudos realizados por Downer et al. (1998) que avaliando o efeito da temperatura da calda de pulverização na faixa de 3 a 40°C para inseticidas, constataram valores crescentes de percentual de gotas menores que 150 micrometros para aplicações feitas com soluções aquosas.

TABELA 7 – Comparações múltiplas das médias do percentual de gotas menores que 100 μm nos 07 níveis de temperatura da calda -TC (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C).

Tratamentos	Médias
TC°C)	Gotas <100 μm (%)
3	31,04 d
8	33,08 dc
13	35,44 dcb
18	36,00 cba
23	37,40 cba
28	38,72 ba
33	40,24 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*DMS: 0,0452

4.4 DIÂMETRO DA MEDIANA VOLUMÉTRICA (DMV)

Analisando os dados da Tabela 1 e Tabela 10A do apêndice, observa-se que para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) a interação temperatura do ar (TA) e temperatura da calda (TC) não foi significativa. Porém verifica-se que as parcelas das temperaturas do ar (TA) e as subparcelas das temperaturas da calda (TC) foram significativas, necessitando realizar as comparações múltiplas em cada nível de temperatura do ar e da calda através do Teste de Tukey a 5% de significância.

Os dados da Figura 5A do apêndice e da Figura 22 mostram o comportamento do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) para as diferentes temperaturas da calda em cada temperatura do ar, no qual à medida que aumentou a temperatura do ar acentuou o comportamento linear e apresentou uma redução da variabilidade dos dados.

Este trabalho foi realizado com uma ponta de pulverização tipo jato cônico vazio da Teejet, conforme já especificada anteriormente na metodologia, esta ponta permite trabalhar em uma grande faixa de pressão, de 500 a 2000 kPa (5 a 20 bar). Em função dos equipamentos disponíveis a pressão utilizada foi de 600 kPa (6 bar), fazendo com que a característica DMV apresentasse valores em seu limite superior, conforme médias apresentadas nas Tabelas 8 e 9.

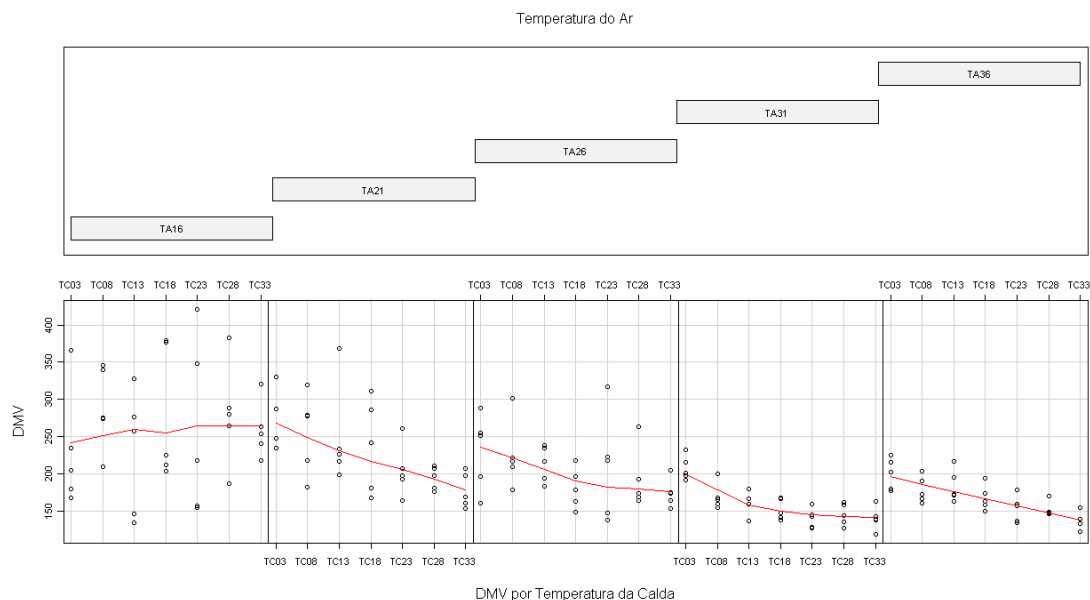


FIGURA 22. Comportamento do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em função da temperatura da calda - TC (°C) em diferentes temperaturas do ar - TA (°C).

A Tabela 10A do apêndice e a Tabela 1 mostram que as parcelas de temperatura do ar (TA) e as subparcelas de temperatura da calda (TC) foram significativas para a característica diâmetro da mediana volumétrica (DMV). Para verificar qual dos dois fatores temperatura do ar ou temperatura da calda apresentou maior influência no DMV foi feito análise de regressão. A Figura 23 mostra a estimativa do diâmetro da mediana volumétrica em função da variação da temperatura do ar, onde apresenta um coeficiente de determinação (r^2) de 0,9736, significativo a 5% pelo teste F.

Houve um aumento no diâmetro da mediana volumétrica à medida que reduziu a temperatura do ar próximo ao bico de pulverização, mas este aumento pode oferecer risco na aplicação devido ao escorrimento, pois, gotas acima de 500 micrometros são susceptíveis ao escorrimento, conforme Minguela (2003).

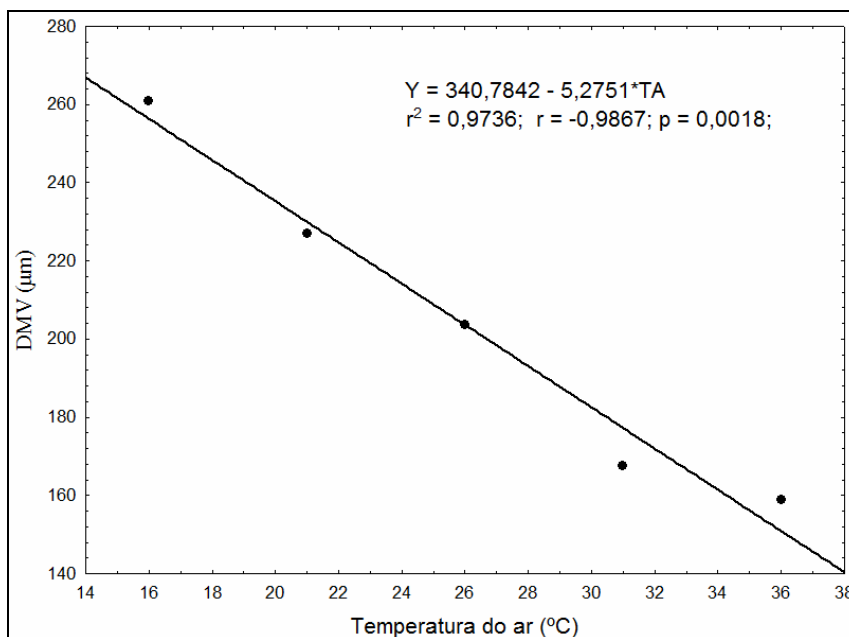


FIGURA 23. Estimativa do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em função da variação da temperatura do ar (TA).

A Figura 24 mostra a estimativa do diâmetro da mediana volumétrica em função da variação da temperatura da calda, que apresentou um coeficiente de determinação (r^2) de 0,9548, significativo a 1% pelo teste F, sendo portanto o fator de maior influência no diâmetro da mediana volumétrica.

A redução da temperatura da calda de pulverização provocou aumento do diâmetro da mediana volumétrica. Estes resultados corroboram com os estudos realizados por Downer et al. (1998) que realizaram ensaios com várias soluções aquosas, nas quais a maioria delas apresentaram aumento do DMV com o decréscimo da temperatura da calda, destacando os ensaios feitos com água. Este fato se dá pela influência da temperatura na tensão superficial da água e no tempo de evaporação e deriva quando em contato com o meio ambiente. Porém, não podemos generalizar esta consequência para todos os tipos de calda, podendo ser influenciado pelas características físico-químicas dos produtos componentes da calda.

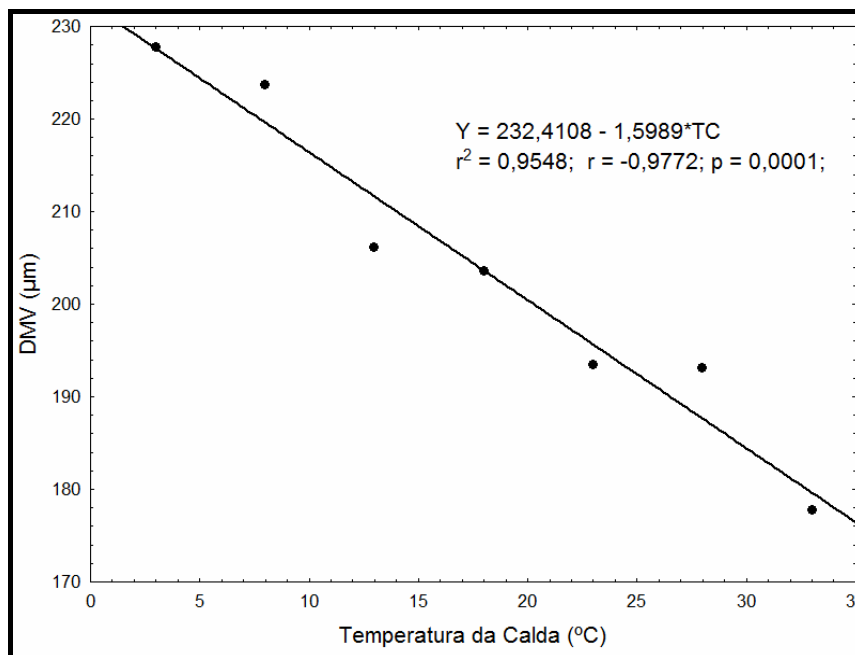


FIGURA 24. Estimativa do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em função da variação da temperatura da calda (TC).

Analogamente aos casos anteriores, neste caso do DMV também a regressão poderia chegar a um efeito de grau 4 (5-1) para a parcela TA e a um efeito de grau 6 (7-1) para a subparcela TC, conforme Muniz et al. (2000), então foi realizado também uma análise de variância completa com desdobramento dos efeitos de regressão para o diâmetro da mediana volumétrica. As informações desta análise de variância encontram-se na Tabela 11A do apêndice.

Para complementação da análise foram realizadas as comparações múltiplas em cada nível de temperatura do ar e temperatura da calda através do Teste de Tukey a 5% de significância.

Os dados da Tabela 8 mostram que o maior valor para o DMV ficou concentrado na temperatura de 16°C, com uma diferença percentual de 39,12% do menor valor. A temperatura do ar de 16°C apresentou maior diâmetro da mediana volumétrica, apresentando menor potencial de evaporação e deriva. O DMV tem influencia direta na aplicação de agroquímicos, sendo fator determinante para deriva ou escorrimento das gotas (MATTHEWS, 1992).

TABELA 8 – Comparações múltiplas das médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) nos 05 níveis de temperatura do ar - TA (16, 21, 26, 31 e 36°C).

Tratamentos		Médias
TA (°C)		DMV (µm)
36		158,88 c
31		167,49 c
26		203,75 b
21		227,08 b
16		260,96 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*DMS: 183,536

158,88

Os dados da Tabela 9 apresentam resultados crescentes para o diâmetro da mediana volumétrica, com o decréscimo da temperatura da calda. Os maiores DMV estão localizados nas menores temperaturas da calda de pulverização, variando de 21,94% entre as temperaturas de 3 e 33°C. Resultados semelhantes foram encontrados por Downer et al. (1998).

TABELA 9 – Comparações múltiplas das médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) nos 07 níveis de temperatura da calda (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33°C).

Tratamentos		Médias
TC (°C)		DMV (µm)
33		177,77 b
28		193,07 ba
23		193,40 ba
18		203,61 ba
13		206,14 ba
8		223,69 a
3		227,73 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*DMS: 239,409

4.5 AMPLITUDE RELATIVA DAS GOTAS (SPAN)

Analisando os dados da Tabela 1, observa-se que para o Span a interação entre temperatura do ar e temperatura da calda (TA*TC) e os fatores temperatura da calda (TC) e temperatura do ar (TA) não foram significativos. Para a temperatura do ar (TA), o SPAN

estimado foi igual a $\hat{Y} = 1,34$ e para a temperatura da calda (TC), o SPAN estimado foi igual a $\hat{Y} = 1,221$.

4.6 DIÂMETRO DA MEDIANA NUMÉRICA (DMN)

Analisando os dados da Tabela 1, observa-se que para o DMN a interação entre temperatura do ar e temperatura da calda (TA*TC) e o fator temperatura da calda (TC) não foram significativos. Porém verifica-se que o fator temperatura do ar (TA) foi significativo, necessitando fazer a análise de regressão e realizar as comparações múltiplas em cada um de seus níveis através do Teste de Tukey a 5% de significância.

A Figura 25 mostra a estimativa do DMN em função da variação da temperatura do ar, onde apresenta um coeficiente de determinação (r^2) de 0,7347, portando, 73,47% dos resultados puderam ser explicados por este modelo de regressão linear. Sendo este modelo estimado significativo a 6,3% de probabilidade pelo teste F.

Estes resultados estão de acordo com estudos realizados por MATTHEWS (1992); CHRISTOFOLETTI (1999), EMBRAPA, (2002) que abordam a influência da temperatura ambiente e umidade relativa na variação do espectro de gotas, no qual o aumento da temperatura ambiente provoca evaporação e deriva, reduzindo o DMN. Para a temperatura da calda o valor estimado para o DMN é $\hat{Y} = 143,3200$.

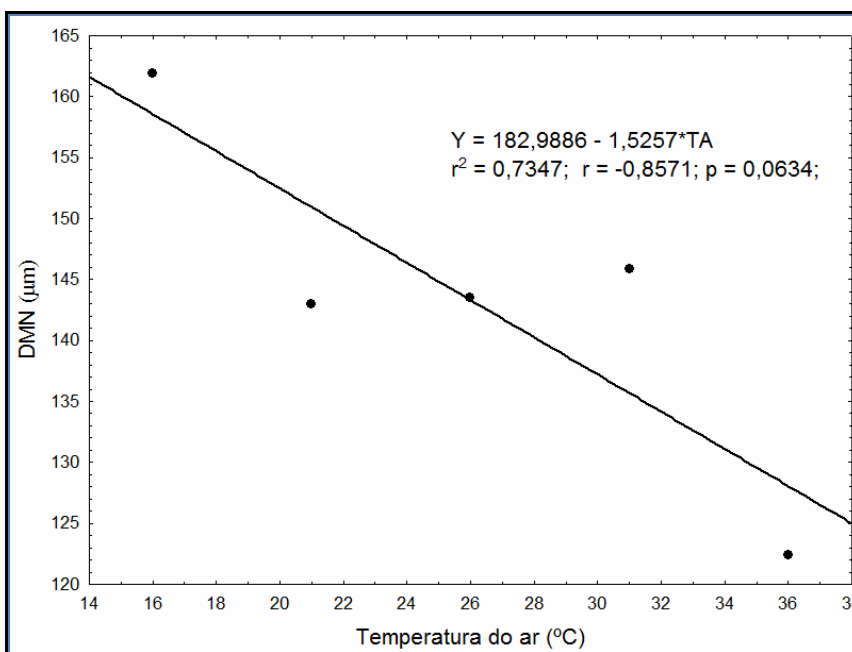


FIGURA 25. Estimativa do diâmetro da mediana numérica (DMN) em função da variação da temperatura do ar (TA).

A Tabela 10 apresenta as comparações múltiplas em cada um dos níveis da temperatura do ar através do Teste de Tukey a 5% de significância, mostrando que o maior diâmetro da mediana numérica foi encontrado na temperatura do ar de 16°C e o menor na temperatura de 36°C, com uma diferença de 32% entre os dois diâmetros. Possivelmente as maiores temperatura do ar provocaram evaporação das gotas reduzindo o diâmetro da mediana numérica.

TABELA 10 – Comparações múltiplas das médias do diâmetro da mediana numérica (DMN) nos 05 níveis de temperatura do ar (16, 21, 26, 31 e 36°C).

Tratamentos	Médias
TA (°C)	DMN
36	122,37 b
21	142,97 ba
26	143,46 ba
31	145,83 ba
16	161,94 a

*Média de mesma letra na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.
DMS: 25,584

5 CONCLUSÕES

- O sistema alternativo proposto para resfriamento do ambiente em torno do bico de pulverização permite realizar estudos referentes a evaporação e deriva em aplicações de calda de pulverização.
- O resfriamento da calda de pulverização proporciona uma maior deposição de calda e influencia o espectro de gotas, reduzindo o percentual de gotas menores que 100 micrometros e aumentando o DMV.
- O resfriamento do ar em torno do bico de pulverização também aumenta a deposição de calda e influencia o espectro de gotas, reduzindo o percentual de gotas menores que 100 micrometros e aumentando o DMV, embora em menor intensidade.
- As temperaturas de resfriamento da calda e do ar que mais influenciaram no aumento da deposição de calda foram, respectivamente 3 e 16°C.
- A utilização do tubo de vórtice mostrou-se satisfatória para resfriamento do ar em torno do bico de pulverização.

Agradecimento:

A Capes pelo auxílio financeiro na realização das pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABI SAAB, O.J.G. **Avaliação de um sistema de aplicação de defensivos utilizado em videiras no Município de Londrina - PR.** 1996. 65 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

ABI SAAB, O.J.G. **Avaliação de cobertura e depósitos de agrotóxicos em videiras com o uso de diferentes técnicas de aplicação e condições operacionais.** 2000. 84 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

ANTUNIASSI, U.R. **Tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja.** Fundação Mato Grosso, Cuiabá, 2005. (Boletim de Pesquisa de Soja).

BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G; SILVA, C.G.; RIO, A. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 293-298, 2008.

CHAIM, A.; CASTRO, V.L; CORRALES, F.; GALVÃO, J.A.H.; CABRAL, O.M.R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.741-747, 1999.

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; PIO, L. C. Avaliação de perdas na pulverização de agrotóxicos na cultura do feijão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 10, n.1, p. 13-22, 2000.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Manual Shell de máquinas e técnicas de aplicação de defensivos.** São Paulo: Shell Brasil, 1992. 122 p.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle.** São Paulo: Teejet South América, 1999. 15 p. (Boletim Técnico BT-04/99).

COCKERILL, T. **Fluid mechanics and thermodynamics of a Ranque-Hilsch vortex tubes.** 1998. 294p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Cambridge. Cambridge.

CONTRERAS, O.J.G.;BRAVO, E.M.; FAJARDO, F. Construcción y caracterización de un tubo Ranque-Hilsch. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, p. 4305-4310, 2008.

CORRÊA, H.G.; HELD, J. Produção e utilização de gotas com diâmetro uniforme. **Bragantia**, Campinas, v. 41, n. 1, p. 1-9, 1982.

CORRÊA, H.G., Redução da evaporação de gotículas contendo herbicida, com emprego de Oxietileno docosanol, **Bragantina**, Campinas, v. 44, n.1, p. 159-171, 1985.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, n. 2, p. 325-32, 2003.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.esp., p.10-15, 2007.

CROSS, J.V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R.A.; RICHARDSON, G.M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate. **Crop Protection**, v.22, n. 2, p. 381-394, 2003.

DOWNER, R.A.; HALL, F.R.; THOMPSON, R.S. Temperature effects on atomization by flat-fan nozzles: implications for drift management and evidence for surfactant concentration gradients. **Atomization and Sprays**, v. 8, n. esp, p. 241-254, 1998.

EMBRAPA – Schiratsuchi, L.S. Tecnologia de Aplicação de Herbicidas, **Embrapa Cerrados**, Planaltina-DF, Caderno técnico n. 78, 2002.

EXAIR Corp., 11510 Goldcoast Dr., Cincinnati, OH 45249-1621, EUA, **Catálogo Técnico**, 2007. Disponível em: <http://www.exair.com>, Acesso em: 04/07/2008.

FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; MACHADO, A.F.L. **Manejo de plantas daninhas**; Tecnologia de aplicação de herbicidas, Viçosa-MG, 2006, p. 183 -206.

FERREIRA, M.C.; COSTA, G.M.; SILVA, A.R.; TAGLIARI, S.R.A. Fatores qualitativos para a ponta hidráulica de jato plano ADGA 110015 na pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 471-478, 2007.

GAO, C. **Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube**. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, China, 2005. 151 p.

ITAO, D.C. **Estudo de um Sistema Alternativo de Ar Condicionado Automotivo baseado na aplicação de tubos de vórtice utilizando o conceito de regeneração energética**. 2005. 113 p., Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

KIRK, I.W.; BOUSE, L.F.; CARLTON, J.B.; FRANZ, E.; STERMER, R.A. Aerial spray deposition in cotton. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1393-1399, 1992.

KOGAN, M.A.; PÉREZ, A.J. **Adjuvantes: clases, propiedades y usos com herbicidas**, In: **Herbicidas: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción**; Universidad Católica de Chile, Santiago, p. 143-165, 2003.

LAN, Y.; HOFFMANN, W.C.; FRITZ, B.K.; MARTIN, D.E.; LOPEZ, L.E. Drift reduction with drift control adjuvants. St. Joseph, USA. **ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2007, 14 p.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. New York: Longman, 1982. 336 p.

MATTHEWS, G.A. **Métodos para a aplicación de pesticidas** [S.l], C.E.C.S.A, 1987, 365p., Tercere reimpression, Mayo 1992.

MATUO, T. **Fundamentos da tecnologia de aplicações de agrotóxicos**. In: GUEDES, J.V.C.; S. H. B. Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias. Departamento de Defesa Sanitária: Sociedade de Agronomia de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

MUNIZ, J.A.; CUSTÓDIO, T. N. MORAIS, A. R, Superfície de Resposta em Experimento com Parcelas Subdivididas, **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1008-1023, 2000.

MINGUELA, J. V.; **Aplicación de Productos Fitosanitarios, Técnicas y Equipos**, Ediciones Agrotécnicas, España, 389 p., 2003.

OZEKI, Y.; KUNZ, R.P. **Tecnologia de aplicação aérea - aspectos práticos**. In: Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias; Departamento de Defesa Fitossanitária/UFMS, Santa Maria, p. 65-78, 1998.

PESSOA, M.C.P.Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 34, n. 1, p. 45-56, 1999.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L. R. A.; OLIVEIRA, C. R. F.; Efeito da temperatura do ar no momento da pulverização sobre a eficiência biológica de deltramina em milho armazenado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 41-47, 2005.

PIRALISHVILI, S.; POLYAEV, V. Flow and thermodynamic characteristics of energy separation in a double-circuit vortex tube – an experimental investigation. **Experimental Thermal and Fluid Science**, New York, v. 12, n. 4, p. 399-410, 1996.

RAMOS, H. H.; ARAÚJO, D. de. **Preparo da calda e sua interferência na eficácia de agrotóxicos**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/V2/index.htm>. Acesso em: 12/05/2009.

ROCHA, L. A. O.; SABOYA F. E. M.; VARGA, J. V. C. Comparative Study of Elliptical and Circular Sections in one and two-row Tubes and Plate Fin Heat Exchangers AS, **International Journal of Heat and Fluid Flow**, v. 18, n. 2, p. 247-252, 1997.

SAIDI, M.; VALIPOUR, M. Experimental modeling of vortex tube refrigerator. **Applied Thermal Engineering**, v. 23, n. 15, p. 1971-1980, 2003.

SALYANI, M. Optimization of sprayer output at different volume rates. St. Joseph: **ASAE**, 1999. 16 p.

SANTOS, J.M.F. **Aviação agrícola - Manual de tecnologia de aplicação de agroquímicos**. Rhodia Agro, São Paulo, 1992. 100 p.

SANTOS, R. O. **Níveis de deposição de produtos líquidos com aplicação aérea utilizando adjuvantes**, 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCHICK, R. J., **Spray Analysis and Research Services**, Printed in the U.S.A. Spraying Systems Co. 2006. (Bulletin No. 459B).

SCHAMPHELEIRE, M.; NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; CORNELIS, W.; SPANOGHE, P. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 5, p. 409-420, 2009.

SMITH, E.; PROMVONGE, P. Review of Ranque–Hilsch effects in vortex tubes, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 12, n. 7, p. 1822–1842, 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-MG, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007a.

SOUZA, R.T., CASTRO, R.D.; PALLADINI, L.A. Depósito de pulverização com diferentes padrões de gotas em aplicações na cultura do algodoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.27, n.esp., p.75-82, 2007b.

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. Comparison of new drift reduction nozzles. St. Joseph: **ASAE**, 1999, 17 p.

VEREECKE, E.; LANGENAKENS, J.; DE MORR, A.; PIETERS, M.; JAEKEN, P. The air distribution generated by air-assisted sprayers. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING**, Warwick, 2000. 10 p.

APÊNDICES

1. Deposição (Condutividade elétrica)

TABELA 1A – Análise de variância para deposição, em função da temperatura do ar e da temperatura da calda de pulverização.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Item	SQ	QM	F	Pr >F
Blocos	4	Deposição (condutividade elétrica [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$])	78.170	19.542		
TA	4		388.410	97.102	4,7017	0,0106 *
Resíduo 1	16		330.441	20.653		
TC	6		2.670.973	445.162	144,3300	2e-16 ***
TA * TC	24		122.729	5.114	1,6580	0,0400 *
Resíduo 2	120		370.119	3.084		
Total	174					

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.

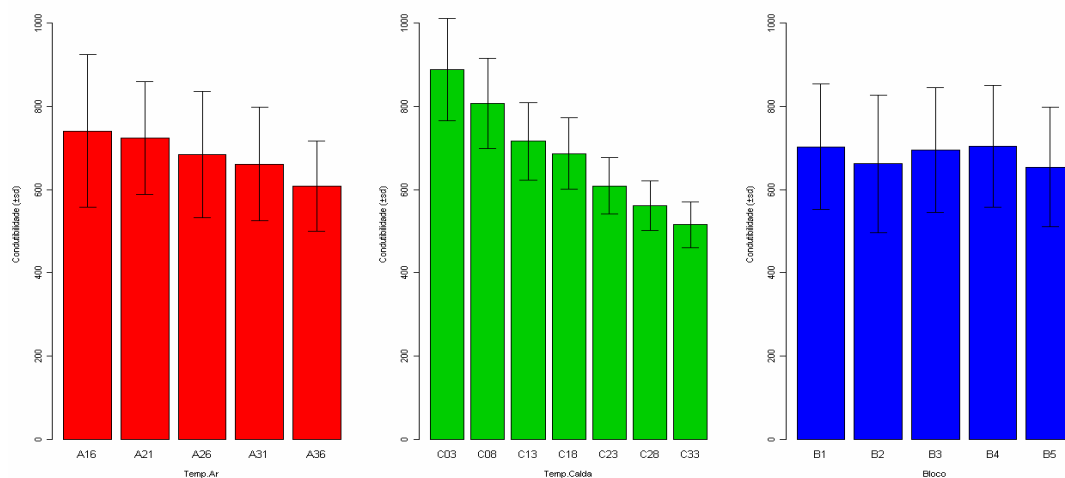


FIGURA 1A. Média dos valores de deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e Desvio Padrão (SD) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco. Deposição (condutividade - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$).

TABELA 2A – Comparação múltipla para deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) nos 05 níveis de temperatura do ar – TA (16, 21, 26, 31 e 36°C) com os 07 níveis de temperatura da calda – TC (03, 08, 13, 18, 23, 28 e 33°C)

	TA16	TA21	TA26	TA31	TA36	MS
Diferença de média de deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)						
TC08-TC03	-37,820 ns	-123,980 *	151,320 *	-58,660 ns	-40,060 ns	05,337
TC13-TC03	-175,600 *	-172,500	* 257,660 *	-164,620 *	-95,680 ns	05,337
TC18-TC03	-250,580 *	-199,840 *	282,600 *	-160,000 *	-118,000 *	05,337
TC23-TC03	-324,540 *	-280,540 *	324,100 *	-280,100 *	-191,920 *	05,337
TC28-TC03	-384,800 *	-339,260 *	351,960 *	-332,480 *	-226,720 *	05,337
TC33-TC03	-418,020 *	-389,140 *	406,860 *	-356,100 *	-294,560 *	05,337
TC13-TC08	-137,780 *	-48,520 s	106,340 *	-105,960 *	-55,620 ns	05,337
TC18-TC08	-212,760	* -75,860 ns	131,280 *	-101,340 ns	-77,940 ns	05,337
TC23-TC08	-286,720	* -156,560 *	172,780 *	-221,440 *	-151,860 *	05,337
TC28-TC08	-346,98 *	-215,280 *	200,640 *	-273,820 *	186,660 *	05,337
TC33-TC08	-380,200 *	-265,160 *	255,540 *	-297,440 *	-254,500 *	05,337
TC18-TC13	-74,980 ns	-27,340	24,940 ns	4,620 ns	-22,320 ns	05,337
TC23-TC13	-148,940 *	-108,040 *	66,440 ns	-115,480 *	-96,240 ns	05,337
TC28-TC13	-209,200 *	-166,760 *	94,300 ns	-167,860 *	-131,040 *	05,337
TC33-TC13	-242,420 *	-216,640	* 149,200 *	-191,480 *	-198,880 *	105,337
TC23-TC18	-72,960 ns	-80,700 ns	41,500 ns	-120,100 *	-73,920 ns	05,337
TC28-TC18	-134,220 *	-139,420 *	69,360 ns	-172,480 *	-108,720 *	05,337
TC33-TC18	-167,440 *	-189,300 *	124,260 *	-196,100 *	-176,560 *	05,337
TC28-TC23	-60,260 ns	-58,720 ns	27,860 ns	-52,380 ns	-34,800 ns	05,337
TC33-TC23	-93,480 ns	-108,600 *	82,760 ns	-76,000 ns	-102,640 ns	105,337
TC33-TC28	-33,220 ns	-49,880 ns	54,900 ns	-23,620 ns	-67,840 ns	05,337

*Diferença de média com símbolo 'ns' na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

*O sinal negativo significa valores relativos inferiores a zero entre as médias das temperaturas.

*DMS – Diferença mínima significativa

TABELA 3A – Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para deposição.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F	Sig.
Blocos	4	78.170	19.542			
TA	4	388.410	97.102	4,7016	0,0106	*
Efeito Linear	1	377.082	377.082	18,2580	0,0006	***
Efeito Quadrático	1	7.504	7.504	0,3633	0,5551	
Desvio da Regr. (TA)	2	3.824	1.912	0,0926	0,9121	
Resíduo 1	16	330.441	20.653			
TC	6	2.670.973	445.162	144,3457	1,9154e-52	***
Efeito Linear	1	2.626.670	2.626.670	851,7088	2,4450e-56	***
Efeito Quadrático	1	27.594	27.594	8,9475	0,0034	**
Desvio da Regr. (TC)	4	16.709	4.177	1,3545	0,2539	
TA:TC	24	122.729	5.114	1,6582	0,0400	*
Efeito da Interação	1	38.171	38.171	12,3771	0,0006	***
Desvio da Regr. (TA:TC)	23	84.558	3.676	1,1921	0,2653	
Resíduo 2	120	370.119	3.084			
Total	174					
$R^2 = 0,777$		R^2 Ajustado = 0,770				
*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.						
**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.						
***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.						
****Significativo a 0,01% de probabilidade, pelo Teste F.						

TABELA 4A – Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão, sem efeito quadrático do tratamento temperatura do ar (TA) para deposição.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F	Sig.
Blocos	4	78.170	19.542			
TA	4	388.410	97.102	4,7016	0,0106	*
Efeito Linear	1	377.082	377.082	18,2580	0,0006	***
Desvio da Regr. (TA)	3	11.328	3.776	0.1828	0,9065	
Resíduo 1	16	330.441	20.653			
TC	6	2.670.973	445.162	144,3457	1,9154e-52	****
Efeito Linear	1	2.626.670	2.626.670	851,7088	2,4450e-56	****
Efeito Quadrático	1	27.594	27.594	8,9475	0,0034	**
Desvio da Regr. (TC)	4	16.709	4.177	1,3545	0,2539	
TA*TC	24	122.729	5.114	1,6582	0,0400	*
Efeito da Interação	1	38.171	38.171	12,3771	0,0006	***
Desvio da Regr. (TA*TC)	23	84.558	3.676	1,1921	0,2653	
Resíduo 2	120	370.119	3.084			
Total	174					
$R^2 = 0,775$		R^2 Ajustado = 0,770				
*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.						
**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.						
***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.						
****Significativo a 0,01% de probabilidade, pelo Teste F.						
TC – Temperatura da calda						

Assim a análise de variância com os valores dos coeficientes do modelo ajustado é ilustrada abaixo:

TABELA 5A – Análise de variância para o modelo de superfície de resposta para deposição, sendo TA – Temperatura do ar e TC – Temperatura da calda

Coefficientes	Valor Estimado	Erro Padrão	t	Pt (>/t)
Intercepto	1204,9718	45,2211	26,6460	<2e-16***
TA	-10,3242	1,5939	-6,4770	9,68e-10***
TC	-22,9016	3,0866	-7,4200	5,36-e-12***
(TC^2)	0,1450	0,0632	2,2940	0,0230*
TA*TC	0,2087	0,0774	2,6980	0,0077**

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste t.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste t.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste t.

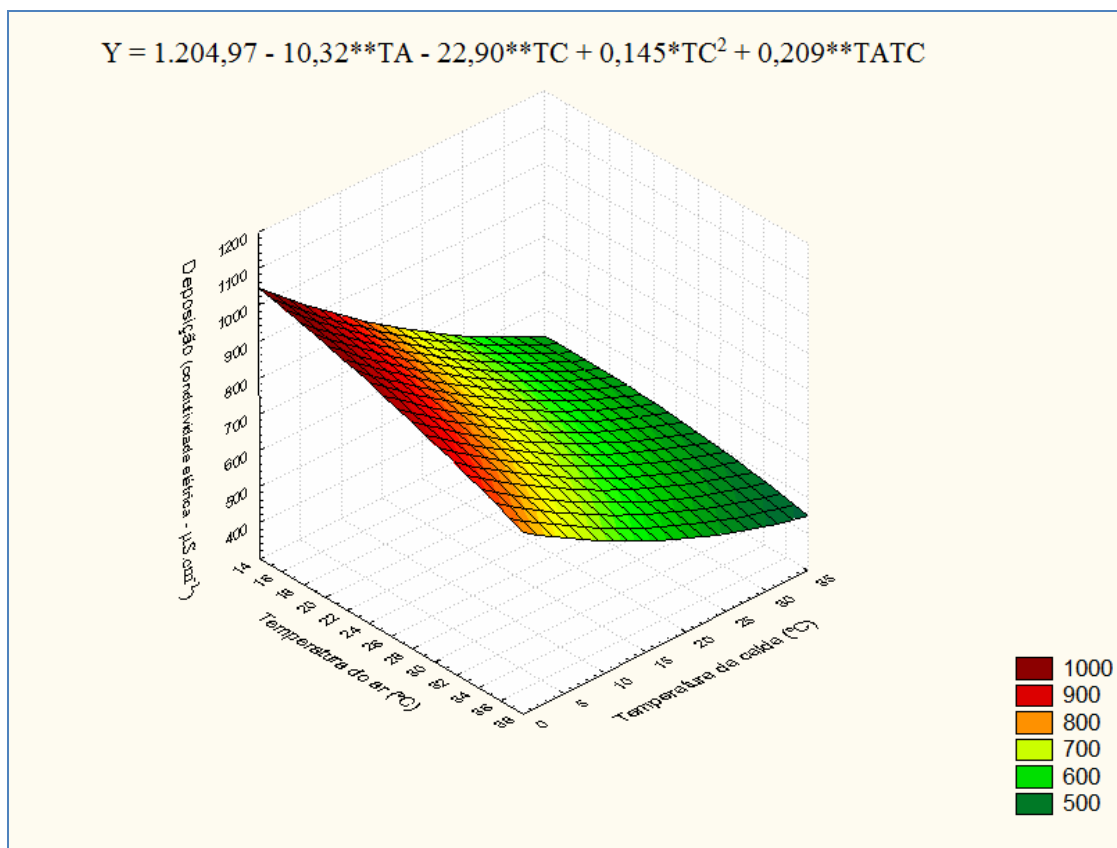


FIGURA 2A. Superfície de resposta para deposição (condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) medida em função da temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$) e da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

2. Percentual de Cobertura do alvo

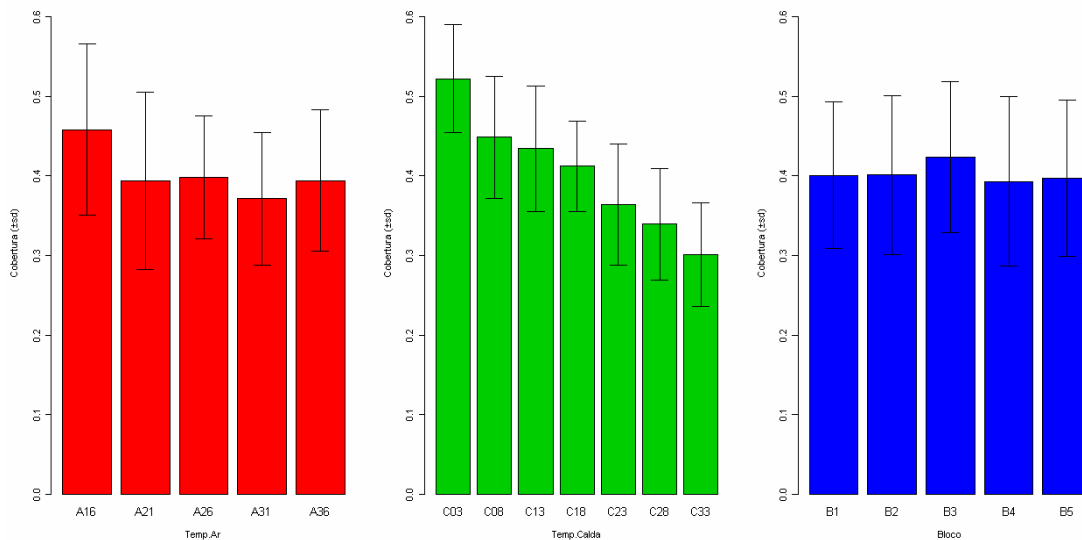


FIGURA 3A. Média de valores de cobertura e desvio padrão (\pm SD) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco. cobertura (%) e temperaturas do ar e temperatura da calda ($^{\circ}$ C)

TABELA 6A – Análise de variância para a taxa de cobertura em função da temperatura do ar (TA) e da temperatura da calda (TC) de pulverização.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Item	SQ	QM	F	Pr >F
Blocos	4	Cobertura [%]	0,0192	0,0048		
T.A	4		0,1486	0,0372**	7,3092	0,0015**
Resíduo 1	16		0,0813	0,0051		
T. C	6		0,8336	0,1389***	33,6013	2e-16***
T.A * T.C	24		0,0888	0,0037	0,8945	0,6087
Resíduo 2	120		0,4962	0,0041		
Total	174		1,6677	0,1938		

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.

Tabela 7A- Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para cobertura

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F	Sig.
Blocos	4	0,0192	0,0048			
TA	4	0,1486	0,0372	7,3099	0,0015	**
Efeito Linear	1	0,0799	0,0799	15,7289	0,0011	**
Efeito Quadrático	1	0,0511	0,0511	10,0531	0,0059	**
Desvio da Regr. (TA)	2	0,0176	0,0088	1,7288	0,2091	
Resíduo 1	16	0,0813	0,0051			
TC	6	0,8336	0,1389	33,6392	1,4884e-23	****
Efeito Linear	1	0,8103	0,8103	196,1961	5,2048e-27	****
Efeito Quadrático	1	0,0016	0,0016	0,3923	0,5323	
Desvio da Regr. (TC)	4	0,0217	0,0054	1,3117	0,2695	
TA*TC	24	0,0888	0,0037	0,8959	0,6069	
Efeito da Interação	1	0,0002	0,0002	0,0557	0,8138	
Desvio da Regr. (TA*TC)	23	0,0885	0,0038	0,9321	0,5567	
Resíduo 2	120	0,4962	0,0041			
Total	174					
$R^2 = 0,566$		R^2 Ajustado = 0,553				
*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.						
**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.						
***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.						
****Significativo a 0,01% de probabilidade, pelo Teste F.						
TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda						

3. Percentual de gotas menores que 100 micrometros

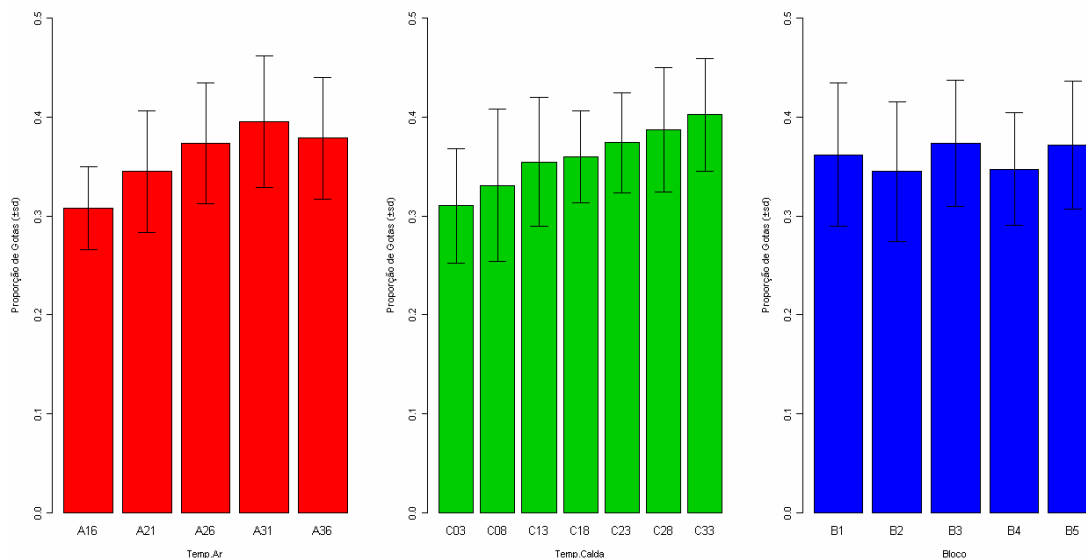


FIGURA 4A. Média de valores de percentual de gotas menores que 100 micrometros e desvio padrão (\pm SD) para os fatores temperatura do ar (TA), temperatura da calda (TC) e bloco. Percentual de gotas (%) e temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}$ C)

TABELA 8A – Quadro de análise de variância para o percentual de gotas menores que 100 micrometros.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Item	SQ	QM	F	Pr >F
Blocos	4		0,0242	0,0061		
T.A	4		0,1664	0,4159***	16,245	1,723e-05***
Resíduo 1	16		0,0409	0,0026		
T. C	6	% Gotas < (100μm)	0,1519	0,0253***	6,9201	4,751e-08***
T.A * T.C	24		0,0376	0,0016	0,5520	0,9533
Resíduo 2	120		0,3407	0,0028		
Total	174		0,7617	0,4543		

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.

TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda

Tabela 9A- Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para percentual de gotas menores que 100 micrometros.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F	Sig.
Blocos	4	0,0242	0,0061			
TA	4	0,1664	0,0416	16,2465	1,72e-5	****
Efeito Linear	1	0,1299	0,1299	50,7695	2,41e-6	****
Efeito Quadrático	1	0,0329	0,0329	12,8555	0,0025	**
Desvio da Regr. (TA)	2	0,0035	0,0017	0,0803	0,5205	
Resíduo 1	16	0,0409	0,0026			
TC	6	0,1519	0,0253	8,9155	4,79e-8	****
Efeito Linear	1	0,1492	0,1492	52,5282	4,48e-11	****
Efeito Quadrático	1	0,0011	0,0011	0,3908	0,5330	
Desvio da Regr. (TC)	4	0,0016	0,0004	0,1452	0,9647	
TA*TC	4	0,0376	0,0016	0,5528	0,9530	
Efeito da Interação	1	0,0038	0,0038	1,3204	0,2528	
Desvio da Regr. (TA*TC)	23	0,0339	0,0015	0,5184	0,9649	
Resíduo 2	120	0,3407	0,0028			
Total	174					
$R^2 = 0,416$		R^2 Ajustado = 0,399				
*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.						
**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.						
***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.						
****Significativo a 0,01% de probabilidade, pelo Teste F.						
TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda						

4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV)

TABELA 10A – Análise de variância para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV)

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Item	SQ	QM	F	Pr >F
Blocos	4		644.921	161.230		
T.A	4		9.003.524	2.250.881***	35,8600	8,43e08***
Resíduo 1	16	DMV [μm]	1.004.288	62.768		
T.C	6		1.686.784	281.131**	3,5304	0,0030**
T.A * T.C	24		1.866.543	77.773	0,9767	0,5014
Resíduo 2	120		9.555.649	79.630		
Total	174		23.761.709	2.913.413		

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.

TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda

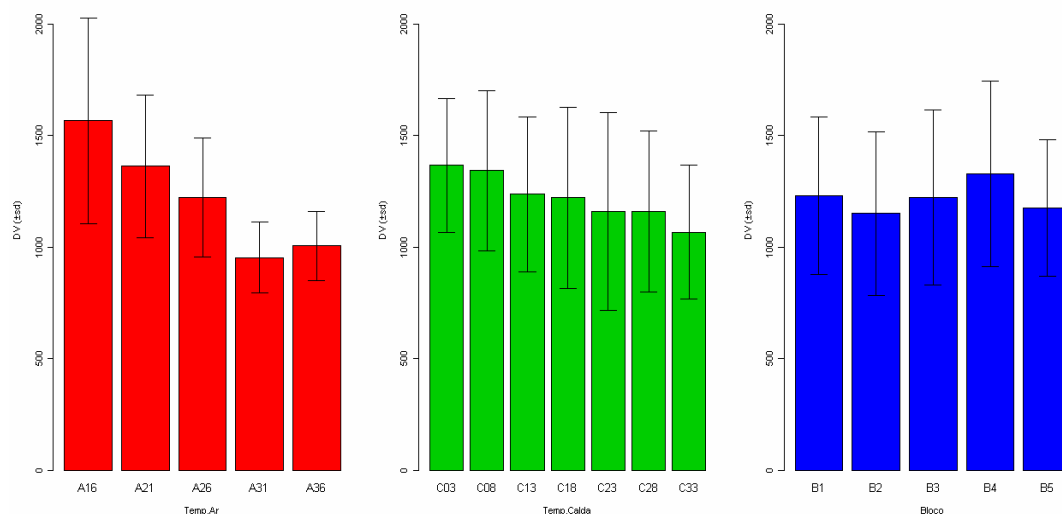


FIGURA 5A. Média de valores de DMV e desvio padrão (\pm SD) para os fatores temperatura do ar, temperatura da calda e bloco.
DMV (μm) e temperatura do ar e temperatura da calda ($^{\circ}\text{C}$)

TABELA 11A- Análise de variância com desdobramento dos efeitos de regressão para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV)

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F	Sig.
Blocos	4	644.921	161.230			
TA	4	9.003.524	2.250.881	35,8603	8,4300e-8	****
Efeito Linear	1	8.202.333	8.202.333	130,6770	4,1400e-9	****
Efeito Quadrático	1	362.413	362.413	5,7738	0,0287	*
Desvio da Regr. (TA)	2	438.778	219.389	3,4952	0,0550	
Resíduo 1	16	1.004.288	62.768			
TC	6	1.686.784	281.130	3,5304	0,0029	**
Efeito Linear	1	1.610.593	1.610.593	20,2258	1,6000e-5	****
Efeito Quadrático	1	2.249	2.249	0,0282	0,8668	
Desvio da Regr. (TC)	4	73.942	18.485	0,2321	0,9198	
TA*TC	24	1.866.543	77.772	0,9766	0,5014	
Efeito da Interação	1	212.791	212.791	2,6722	0,1047	
Desvio da Regr. (TA*TC)	23	1.653.752	71.902	0,9029	0,5944	
Resíduo 2	120	9.555.649	79.630			
Total	174					
$R^2 = 0,437$		R^2 Ajustado = 0,421				
*Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.						
**Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.						
***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo Teste F.						
****Significativo a 0,01% de probabilidade, pelo Teste F.						
TA – Temperatura do ar ; TC – Temperatura da calda						

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)