

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS MOVIMENTOS VERTICAIS E
HORIZONTAIS DAS BARRAS DE UM PULVERIZADOR NA
APLICAÇÃO DA CALDA**

ROGÉRIO CAMARGO BENEZ

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Janeiro - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS MOVIMENTOS VERTICAIS E
HORIZONTAIS DAS BARRAS DE UM PULVERIZADOR NA
APLICAÇÃO DA CALDA**

ROGÉRIO CAMARGO BENEZ

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Janeiro – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B465a Benez, Rogério Camargo, 1970-
Análise da influência dos movimentos verticais e horizontais das barras de um pulverizador na aplicação da calda / Rogério Camargo Benez.- Botucatu :[s.n.], 2013
x, 54 f. : il., color., grafs., tabs.

Dissertação(Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
Inclui bibliografia

1. Pulverização. 2. Espectrofotometria. 3. Videografia. 4. Tecnologia de aplicação. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS MOVIMENTOS VERTICAIS E
HORIZONTAIS DAS BARRAS DE UM PULVERIZADOR NA
APLICAÇÃO DA CALDA"

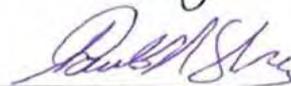
ALUNO: ROGÉRIO CAMARGO BENEZ

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

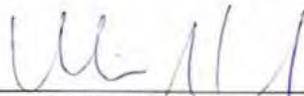
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA



PROF. DR. OTÁVIO JORGE GRIGOLI ABISSAAB

Data da Realização: 31 de janeiro de 2012.

Dedico

Ao meu pai, José Carlos Benez (*In memoriam*), pelo exemplo a ser seguido.

Ofereço

À minha mãe, Marileuza Camargo Benez, pelo constante incentivo.

À minha irmã, Karine Benez, pelo apoio e conselhos.

À minha esposa, Ana Paula Benez, pela compreensão, confiança e amor.

Ao meu filho, Lucas Benez, alegria da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus, por me mostrar o caminho e sempre estar comigo nessa jornada.

Ao Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, pela amizade, ensinamentos e pela oportunidade de ser seu orientado.

Ao Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli e ao Prof. Dr. Paulo Roberto Arbex Silva pelas valiosas contribuições para a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, pela contribuição em minha formação pessoal e profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, pela oportunidade.

Aos professores da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos durante este período.

Aos colegas, Alisson Augusto, Rodolfo Chechetto, Rone Batista, Anne Carolinee , que sempre me ajudaram e que tornaram esse trabalho possível.

Ao amigo, Afonso Celso Ribeiro, pelas orientações, companheirismo e amizade.

Aos amigos do Sítio Duas Meninas, pelas horas de convivência, pela paciência e dedicação.

Em especial a José Nivaldo Mota, proprietário do Sítio Duas Meninas, pela enorme contribuição na realização desse trabalho.

À Máquinas Agrícolas Jacto Ltda, pela oportunidade de fazer o mestrado.

À KS Industria Mecânica Ltda, pelas informações técnicas.

Aos amigos, colegas de classe e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS	III
SUMÁRIO	IV
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE ANEXOS	X
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Tecnologia de aplicação	7
2.2 Pulverizadores agrícolas	8
2.3 Deposição da calda	9
2.4 Movimentos da barra de pulverização	10
2.5 Métodos de avaliação dos movimentos da barra de pulverização	12
2.6 Controle de altura de barra	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Tratamentos	17
3.2 Condições climáticas	20
3.3 Condições operacionais do conjunto trator/pulverizador	21
3.4 Deposição da calda	23
3.5 Registro do deslocamento do pulverizador	25
3.6 Processamento das imagens para obtenção dos movimentos da barra	25
3.7 Determinação dos movimentos horizontais	26

3.8 Determinação dos movimentos verticais	28
3.9 Avaliação dos movimentos da barra	29
3.10 Avaliação da deposição da calda	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Movimentos verticais e horizontais da barra de pulverização	32
4.2 Deposição da calda	40
5 CONCLUSÕES	46
6 REFERÊNCIAS	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos realizados.....	18
Tabela 2. Condições climáticas mensuradas em cada tratamento.....	21
Tabela 3. Vazão das pontas de pulverização utilizadas no ensaio.....	22
Tabela 4. Médias dos tratamentos da amplitude horizontal da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador.....	37
Tabela 5. Médias dos tratamentos da amplitude vertical da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador.....	38
Tabela 6. Análise do coeficiente de variação da deposição da calda nos tratamentos propostos de acordo com a amplitude de movimentos horizontais e verticais para cada tratamento.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conjunto trator/pulverizador utilizado no ensaio.....	16
Figura 2. Sistema de controle de altura de barras.....	17
Figura 3. Esquema dos tratamentos realizados no ensaio	18
Figura 4. Condições do terreno para os tratamentos correspondentes à descida cruzando o terraço	19
Figura 5. Condições do terreno para os tratamentos correspondentes à subida cruzando o terraço	19
Figura 6. Condições do terreno plano.....	20
Figura 7. Obstáculo de madeira posicionado no percurso do conjunto trator/pulverizador.....	20
Figura 8. Baro-termo-higrômetro e bússola, utilizados para determinar as condições climáticas de cada tratamento	21
Figura 9. Lâminas de vidro posicionadas para captar a deposição da calda	23
Figura 10. Representação teórica do delineamento no campo com a alocação das lâminas de vidro.....	24
Figura 11. Distribuição das lâminas para captar a deposição da calda no tratamento realizado em terreno plano	24
Figura 12. Referência de papel fixada na extremidade da barra do pulverizador	25
Figura 13. Posição em pixels, do ponto de referência da barra	26
Figura 14. Lâmina de vidro acondicionada em recipiente plástico após aplicação do corante FDC-1	30
Figura 15. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras, subindo terraço, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo.....	32
Figura 16. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras subindo o terraço, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo.....	33

Figura 17. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras descendo o terraço, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo ...	33
Figura 18. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras descendo o terraço, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo	34
Figura 19. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana sem obstáculo, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo	34
Figura 20. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana sem obstáculo, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo	35
Figura 21. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana com obstáculo, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo	35
Figura 22. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana com obstáculo, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo	36
Figura 23. Médias dos tratamentos da amplitude horizontal da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador	39
Figura 24. Médias dos tratamentos da amplitude vertical da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador	39
Figura 25. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude horizontal dos movimentos da barra, considerando todos os tratamentos.....	42
Figura 26. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude horizontal dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno plano (menores valores de amplitude).....	42

Figura 27. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude horizontal dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno inclinado (maiores valores de amplitude).....	43
Figura 28. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude vertical dos movimentos da barra, considerando todos os tratamentos.....	43
Figura 29. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude vertical dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno plano (menores valores de amplitude).....	44
Figura 30. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude vertical dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno inclinado (maiores valores de amplitude).....	44
Figura 31. Comparação entre as correlações dos coeficientes de variação da deposição de calda nos coletores e as amplitudes horizontal e vertical dos movimentos da barra, considerando todas as parcelas	45

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Especificações técnicas - Pulverizador Jacto Columbia AD18	51
Anexo 2. Dimensões do conjunto trator/pulverizador.....	52
Anexo 3. Especificações técnicas - Bicos AVI	53

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os movimentos horizontais e verticais da barra de um pulverizador, operando com e sem o sistema controlador de altura e determinar a influência desses movimentos na deposição da calda.

O ensaio foi instalado com oito tratamentos que consistiram nas combinações de duas condições de operação do pulverizador (com e sem o sistema controlador de altura barras - CE e SE, respectivamente) e quatro diferentes condições de superfície para deslocamento do pulverizador (subindo terraço, descendo terraço, superfície plana com e sem obstáculo). Posteriormente, a movimentação da barra foi avaliada através da videografia digital, sendo as imagens analisadas em softwares específicos para o cálculo da amplitude dos deslocamentos horizontais e verticais. Para a determinação da deposição da calda foi utilizado o método da espectrofotometria. O corante Azul Brilhante FDC-1, diluído a 0,3%, foi utilizado como marcador em todos os tratamentos.

Foi utilizado um pulverizador Jacto, modelo Columbia AD-18, com barra de 18 metros de comprimento, acoplado a um trator Ford, modelo 6610. A velocidade média de deslocamento do pulverizador foi de 8 Km h⁻¹ em todos os tratamentos. A barra de pulverização foi equipada com 37 bicos, com pontas de jato plano, modelo AVI 11002. O espaçamento entre bicos foi de 0,50 metros e a barra de pulverização trabalhou a uma altura de 0,50 metros em relação ao solo. A vazão média das pontas foi de 120 L ha⁻¹ e a pressão da bomba do pulverizador foi igual a 50 psi.

Os resultados mostraram que o sistema de controle de altura da barra interferiu na movimentação da barra e influenciou a deposição da calda. As amplitudes dos movimentos verticais e horizontais da barra, obtidas nos tratamentos propostos, correlacionadas com a quantidade de depósito na superfície das lâminas, mostraram que a influência da movimentação horizontal da barra foi mais importante do que a vertical, na variabilidade dos depósitos nos coletores. Nos movimentos horizontais houve proporcionalidade direta entre a amplitude e o coeficiente de variação dos depósitos nos alvos. A utilização do sistema controlador de altura degradou a qualidade da deposição, notadamente em função de sua atuação com relação à movimentação horizontal da barra de pulverização.

Palavras-chave: Barra de pulverização, movimentos horizontais, movimentos verticais, videografia, espectrofotometria.

DETERMINATION OF THE SPRAYER BOOM MOVEMENTS AND EVALUATION OF INFLUENCE THESE MOVEMENTS IN LIQUID DEPOSITION.

Botucatu, 2012. 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ROGÉRIO CAMARGO BENEZ

Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the horizontal and vertical movements of a sprayer boom, operating with and without the height controller system and determine the influence these movements in the liquid distribution.

The test was conducted with eight treatments, consisting in combinations of two operating conditions of the sprayer (with and without the height controller system - CE and SE, respectively) and four different surface conditions for the moving sprayer (rising terrace, down terrace, flat surface and flat surface with obstacle). Subsequently, the sprayer boom movements were measured by digital video recording (videography). The images were analyzed on specific software for calculating the amplitude of the horizontal and vertical displacements of boom. To determine the liquid deposition it was

used the spectrophotometry method. The dye Brilliant Blue FDC-1, diluted to 0,3%, was used as marker in all treatments.

It was used a Jacto sprayer boom, model AD-18 Columbia, equipped with a 18 meters sprayer boom, attached to a Ford tractor, model 6610. The driving speed average of the sprayer was 8 km h^{-1} in all treatments. The sprayer boom was equipped with 37 nozzles with flat spray tips, AVI 11002 type. The nozzle spacing was 0,50 meters and the sprayer boom was positioned at 0,50 meters above the ground. The average flow of the tips was 120 L ha^{-1} , and the pressure of the pump was of 50 psi.

The results showed that the height controller system interfered in sprayer boom movements and influenced the liquid deposition. The amplitudes of the vertical and horizontal sprayer boom movements were obtained in proposed treatments and correlated with the amount of deposits on targets surface. These amplitudes showed that the influence of horizontal boom movements were more significant than vertical movements, in variability of deposits on targets. In the horizontal sprayer boom movements there was a direct proportionality between the amplitude and the variation coefficient of the deposits on targets. The height controller system of sprayer boom degraded the liquid deposition quality, especially in terms of its performance with respect to the horizontal movements.

Keywords: Sprayer boom, horizontal movements, vertical movements, videography, spectrophotometry.

1 INTRODUÇÃO

Mecanizar racionalmente as operações agrícolas significa empregar de forma técnica e economicamente organizada, um conjunto ou sistema de máquinas, na execução das tarefas exigidas pela produção agrícola, visando obter o máximo de rendimento útil com um mínimo de dispêndio de energia, tempo e dinheiro. O correto emprego da maquinaria agrícola associa-se, intimamente, à racionalização do trabalho de produção agropecuária.

A barra de pulverização é um dos principais componentes do processo de aplicação de defensivos agrícolas e influencia diretamente na qualidade e na eficiência do trabalho. Quanto maior o comprimento da barra de um pulverizador, mais larga será a faixa de tratamento e, portanto, maior a capacidade de campo efetiva do equipamento, ou seja, maior será a área coberta e menores serão os tempos de aplicação e as perdas de rendimento, causadas pelo amassamento da cultura.

Durante o tratamento, é essencial aplicar uniformemente o volume especificado de produto químico sobre a cultura. A baixa aplicação não é efetiva, enquanto o excesso proporciona poluição ambiental e gera resíduo, além de ter consequências econômicas. Sabe-se que o comportamento das barras de pulverização pode ser bastante variável de acordo com as diferentes condições do solo. Movimentos verticais e horizontais da barra, causados por irregularidades do solo, criam locais com insuficiência ou excesso de aplicação, onde o efeito desejado não é obtido.

Uma opção para diminuir os movimentos da barra de um pulverizador e auxiliar na obtenção de uma melhor uniformidade de deposição da calda é a utilização de sistemas estabilizadores de barras, que limitam a altura da barra e evitam o contato direto com o solo.

Nesse contexto, visando trazer benefícios à tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, o objetivo deste trabalho foi avaliar, utilizando a videografia, os movimentos horizontais e verticais da barra de um pulverizador, operando com e sem um sistema de controle de altura de barras e determinar, por espectrofotometria, a influência desses movimentos na deposição da calda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tecnologia de aplicação

Tecnologia consiste na aplicação dos conhecimentos científicos a um determinado processo produtivo. Dessa forma, entende-se por tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta aplicação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990).

Para Durigan (1989), o objetivo da tecnologia de aplicação é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo desejado, com a máxima eficiência, da maneira mais econômica possível e sem afetar o ambiente.

Aplicações mais precisas e mais uniformes podem reduzir a quantidade de ingredientes ativos requerida para um dado controle, reduzir os custos dos tratamentos e minimizar os efeitos poluentes (JACTO, 2001).

A aplicação de determinado produto fitossanitário ou um produto fitossanitário específico pode ser crucial para atingir a produtividade almejada das culturas agrícolas. Em muitos casos, devido a pulverização mal realizada, pode haver perdas significativas na produtividade, ocasionadas por reincidência da doença, ou de alguma praga ou mesmo por não ter havido o controle eficiente das plantas daninhas na área (GADANHA JUNIOR et al., 1991).

A eficiência da aplicação refere-se à quantidade de material que foi retido pelo alvo em relação àquela que foi emitida pela máquina, normalmente expressa em porcentagem (CHRISTOFOLETTI, 1997).

Segundo Matuo (1990), eficiência é a relação entre a dose teoricamente requerida para o controle e a dose efetivamente empregada, geralmente expressa em porcentagem. A eficiência de um herbicida aplicado ao alvo dependerá estritamente da quantidade do produto ativo que atinge o alvo, seja ele o solo ou as partes aéreas das plantas.

Para que se tenha uma boa aplicação de herbicida é necessário que se conheça os fatores que influenciam a pulverização. Os principais são: o clima, o solo, o hospedeiro, o princípio ativo, o veículo, a máquina, o operador. Porém uma ênfase deve ser dada aos equipamentos de aplicação e como calibrá-los (BALASTREIRE, 1990).

Para Antuniassi e Baio (2008) o sucesso de uma aplicação está relacionado à seleção das pontas de pulverização, ajuste do volume de calda, parâmetros operacionais, condições ambientais favoráveis e momento correto da aplicação, devendo sempre levar em consideração as recomendações agronômicas de cada produto.

2.2 Pulverizadores agrícolas

Pulverizadores são máquinas nas quais os líquidos são bombeados sob pressão, através de pontas de pulverização, que subdividem o líquido em gotículas e o distribuem de forma uniforme, sobre toda superfície a ser tratada. Os pulverizadores classificam-se em manuais: máquinas costais com rendimento de 10 a 20 m² por bico; costais motorizados: o bombeamento é feito por um motor dois tempos de alta rotação, com rendimento de 60 a 100 m² por bico; tratorizados: possuem reservatórios que variam de 400 a 5000 litros de capacidade. São montados nos três pontos ou na barra de tração e são acionados pela tomada de potência. Têm como componentes básicos: depósitos com agitadores, bomba, filtros, reguladores de pressão, pontas de pulverização (SANTOS FILHO e SANTOS, 2001).

Gadanha Junior et al. (1991) classificaram os pulverizadores de acordo com os diferentes princípios de subdivisão de gotas: hidráulicos, eletrohidrodinâmicos e pneumáticos. As máquinas utilizadas na aplicação de defensivos agrícolas líquidos na forma de gotas são classificadas em: pulverizador a pressão com jato lançado manual ou de tração

animal; pulverizador a pressão com jato lançado motorizado, tratorizado, autopropelido ou com jato transportado tratorizado; pulverizador eletrohidrodinâmico; pulverizador pneumático costal motorizado ou tratorizado.

2.3 Deposição da calda

As avaliações dos depósitos são utilizadas nas pesquisas de tecnologia de aplicação como instrumento para desenvolver e melhorar as técnicas de aplicação de defensivos (PALLADINI, 2000).

As determinações da distribuição das gotas e da cobertura do alvo podem ser realizadas pela utilização de alvos artificiais, colocados próximos aos alvos naturais. Alvos artificiais podem apresentar a distribuição das gotas de maneira mais clara, pois são coloridos facilmente por corantes simples, diluídos na calda de pulverização, (BARCELLOS, 2006).

Para Carbonari (2005), a avaliação de uma pulverização pode ser realizada através de um estudo da deposição de gotas sobre superfícies alvo, que podem ser naturais ou artificiais.

Para avaliação do depósito de calda de pulverização, há diversas opções: através da utilização de alvos artificiais (tiras de papel, lâminas de vidro), colocados próximos aos alvos reais (folhas, caules, solo etc.); uso de papéis sensíveis, que mostram as gotas apenas em função da sensibilidade à umidade; utilização de corantes especiais, como fluorescentes (sensíveis sob luz ultravioleta), possibilitando a observação da distribuição, ou corantes solúveis em água, para determinação das quantidades depositadas através de lavagem do material coletado; e uso da condutividade elétrica, para determinação de concentrações de substâncias traçadoras (sais), técnicas estas que permitem a utilização de alvos reais (PALLADINI, 2000).

Independentemente do processo de subdivisão utilizado na aplicação de defensivos por um determinado equipamento, há a necessidade de se estabelecer parâmetros que permitam a avaliação do tratamento realizado, pelo menos do ponto de vista da técnica de aplicação. Podem-se utilizar os seguintes parâmetros: tamanho das gotas, espectro de gotas, faixa de deposição (BALASTREIRE, 1990).

2.4 Movimentos da barra de pulverização

Diversos autores já estudaram a influência dos movimentos da barra de pulverização na distribuição da calda.

Medições do movimento das barras e dos chassis de pulverizadores foram realizadas em uma amostra representativa de pulverizadores de diversos tipos e tamanhos, operando em condições típicas de pulverização em cereais. Concluiu-se que, embora existam algumas características que devam ser evitadas no projeto e na construção das barras, a principal causa dos movimentos foi a transmissão do movimento de rolagem do pulverizador para as barras. Para uma melhor estabilidade, as barras devem ser construídas com vigas rígidas fixadas diretamente à suspensão, isolando-as tanto quanto possível do movimento de rolagem (NATION, 1982).

Em pulverizadores de barras, a uniformidade na distribuição transversal da calda aplicada é condicionada pela altura da barra, espaçamento entre bicos, ângulo de abertura dos bicos e pressão de trabalho, entre outros. As oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, alteram a altura dos bicos em relação ao alvo, prejudicando a uniformidade da distribuição (BARCELLOS, 2006).

Segundo Sartori (1985), as oscilações aumentam com o incremento da velocidade de deslocamento do trator, com o comprimento da barra e o não uso de sistemas de amortecimento. Quanto maior o comprimento da barra, mais larga será a faixa de tratamento e, portanto, maior a capacidade operacional do equipamento. Por outro lado, quanto mais comprida, maior será a oscilação da barra, resultando em uma deposição heterogênea de gotas. Deve haver, portanto, um compromisso entre a qualidade e a rapidez do trabalho, devendo o comprimento da barra ficar dentro de certos limites.

O movimento da barra de pulverização é avaliado nos termos do movimento vertical da barra em relação ao solo e do movimento horizontal da barra em relação ao trator e são fatores que podem afetar a deposição da calda. Reduzindo os movimentos de oscilação das barras dos pulverizadores pode-se reduzir a variabilidade de deposição (MAHALINGA e WILLS, 1978).

As oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, alteram a distância entre cada bico e o alvo e distorcem a distribuição. Além disso, quando excessivas, fazem com que as pontas da barra toquem o solo, causando eventuais danos (PONTELLI e MUCHERONI, 2009).

Segundo Speelman e Jansen (1974), o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto trator / pulverizador, de 6 km h^{-1} para 9 km h^{-1} , aumentou o valor do coeficiente de variação de distribuição da calda. A uniformidade da pulverização de pontas de jato plano foi altamente distorcida por vibrações horizontais nos níveis de frequência de 0,5 Hz a 0,7 Hz e de 2,0 Hz a 3,0 Hz. Na menor faixa de frequência verificou-se que as pontas de jato plano (ângulo de pulverização 110°) são menos sensíveis a vibrações verticais que os bicos de cone oco ou cheio (ângulo de pulverização 80°). Comparado em níveis de amplitudes iguais, o coeficiente de variação da distribuição da calda aumentou 100% (vibrações verticais) e 200% (vibrações horizontais) quando a frequência foi reduzida de 3,0 para 0,5 Hz.

Womac et al. (2001) estudaram os efeitos da velocidade de deslocamento, da altura dos bicos e do tipo das pontas de pulverização, na aplicação da calda em condições de campo. O coeficiente de variação (CV) da distribuição do líquido variou de 5% a 17% para aplicações estáticas e de 6% a 37% para barras em movimento, operando com velocidades de 6 a 26 km h^{-1} , respectivamente.

Kennes et al. (1999) determinaram que os movimentos horizontais da barra causados por variações da velocidade, resultaram em variações na aplicação do líquido, na direção de deslocamento do pulverizador.

Porskamp e Van Zuydam (1992) verificaram que as movimentações verticais e horizontais de 0,20 metros aumentam o coeficiente de variação em 48% a mais no centro e 78% na ponta da barra. Verificaram também, que o movimento horizontal da barra de pulverização é mais prejudicial que o movimento vertical.

Iyer e Wills (1978) identificaram que a maior fonte de variação na distribuição da pulverização vem do movimento das barras.

Wills e Combella (1984) avaliaram a distribuição da deposição da barra de pulverização em diferentes velocidades e determinaram que, em baixas velocidades, há uma grande variação na distribuição.

Simulações realizadas por Clijmans et al. (2000), demonstraram que os movimentos de rolagem e as vibrações horizontais de uma barra podem afetar a aplicação. Taxas de 0%, que indicam um volume nulo, até 700% foram encontradas nas simulações, com os valores extremos predominando abaixo das extremidades da barra. Devido ao movimento de rolagem, a distância entre os bicos e o solo difere da distância ideal.

Langenakens et al. (1999) estudaram o efeito dos movimentos verticais de uma barra de pulverização na aplicação do líquido. O efeito da translação foi baixo, enquanto movimentos horizontais e deformações verticais tiveram grandes influências na distribuição da pulverização, especialmente nas extremidades da barra onde a amplitude é mais importante. A deposição máxima encontrada foi de 760% e a mínima de 0% no caso de maior movimentação da barra.

2.5 Métodos de avaliação dos movimentos da barra de pulverização

Pochi e Vannucci (2001) determinaram os movimentos da barra de pulverização utilizando potenciômetros linear e angular.

Ooms et al. (2002) instrumentaram a barra com sensores ultrasônicos e acelerômetros para medir os movimentos horizontais.

Utilizando uma bancada para teste de vibração, Herbst e Wolf (2001) mediram a distribuição do líquido, em ensaio realizado em sete pulverizadores com barras de 15 e 24 metros de comprimento, acoplados em trator, e em dez pulverizadores de carreta com barras de 27 metros, operando com velocidades entre 6 e 10 km h⁻¹ e dosagem média de 200 L ha⁻¹. Uma correlação foi observada entre o coeficiente de variação da aplicação do líquido e o coeficiente de variação da velocidade horizontal da barra. Para um pulverizador acoplado ao trator, verificou-se que é possível melhorar a aplicação na extremidade de uma barra em movimento através de uma boa regulagem da suspensão (molas e amortecedores).

Sinfort e Herbst (1996) estudaram o movimento da barra e o padrão de pulverização em condições de uso prático. Os movimentos da barra foram obtidos através de excitação com cilindros hidráulicos, e o padrão de pulverização foi avaliado por um software.

Ramon e De Baerdemaeker (1997) desenvolveram um modelo polinomial para prever a distribuição da pulverização através de um único bico que se

movimenta sobre uma mesa de canaletas com 15 metros de comprimento. As variações encontradas entre os valores reais e os simulados ficaram abaixo de 7%. Concluíram que os movimentos descendentes da barra afetam mais a distribuição da calda que os movimentos ascendentes.

Jeon et al. (2003) utilizaram um simulador de impactos para verificar a influência dos movimentos de uma barra de pulverização na aplicação de cobertura. O deslocamento vertical máximo, nas extremidades da barra de 27,4 metros, foi de 1,05 metros. O coeficiente de variação máximo da aplicação de cobertura variou entre 45% e 53%, e 39% e 42%, para dois tipos de pontas de pulverização, respectivamente.

Kennes et al. (1999) desenvolveram um modelo de elemento finito não linear para simular os movimentos indesejados na barra de pulverização, em condições de campo. Foram determinados os sinais representativos de oscilação no ponto de união da suspensão com a barra de pulverização, para um trator acoplado a um pulverizador, deslocando-se em uma pista de teste com irregularidades. Estas oscilações foram aplicadas como entrada para simular os movimentos da barra em diversos tipos de suspensão (pêndulo, simples e trapézio duplo). Ensaios de validação, com uma barra de 12 metros, indicaram que a técnica de modelagem é um método promissor para simular os movimentos da barra de um pulverizador.

Ramon et al. (1998) desenvolveram um compensador para analisar as vibrações horizontais de uma barra de pulverização. O dispositivo consiste de uma viga flexível com propriedades que simulam barras de pulverização de pequeno porte, e uma estrutura na qual a barra é fixada. Nos ensaios, vibrações longitudinais ao trator foram impostas sobre o dispositivo e deformações flexíveis da barra, induzidas pela aceleração da estrutura, foram compensadas por um sistema de controle eletro-hidráulico. Amplitudes medidas da vibração da viga foram reduzidas em mais de trinta vezes pelo compensador eletro-hidráulico. A pulverização simulada mostrou que sob e sobre aplicações variaram menos que 5% da dose desejada, enquanto que em situações não controladas, a variação da dosagem especificada ficou entre 28% e 296%.

Lardoux et al. (2007) construíram um dispositivo com uma plataforma vibratória para analisar a influência da velocidade e dos movimentos de rotação da barra na distribuição da calda. Os efeitos da altura, da velocidade da barra e do tipo de ponta, na

distribuição dinâmica do líquido, foram analisados e comparados com uma distribuição estática. Os efeitos dos movimentos verticais e horizontais também foram considerados. As distribuições estática e dinâmica apresentaram as mesmas irregularidades mas, a condição dinâmica apresentou os resultados mais expressivos, devido aos efeitos de turbulência. Movimentos horizontais e verticais contribuíram para aumento das irregularidades. Para os movimentos horizontais, alterações na altura dos bicos, explicam as variações. Para movimentos verticais, áreas com super dosagem são observadas quando os bicos tem uma baixa velocidade horizontal.

Queiroz (2001) avaliou os movimentos das barras de pulverização, operando em condições de cultivo mínimo florestal. A avaliação foi realizada através da videografia digital, sendo as imagens analisadas em softwares específicos para o cálculo dos valores dos movimentos horizontais e verticais das barras.

2.6 Controle de altura de barra

A deposição de produtos aplicados sobre plantas normalmente apresenta-se de forma irregular e entre os fatores que afetam a aplicação de produtos fitossanitários por pulverizadores equipados com barras horizontais está a manutenção da barra à altura constante do solo durante a pulverização (FEDRIZZI et al., 1995).

Uma das maneiras de minimizar os coeficientes de variação de distribuição da pulverização é a instalação de mecanismos para estabilizar a barra dentro de parâmetros aceitáveis. Esses mecanismos são conhecidos como suspensões de barras para pulverizadores (PONTELLI e MUCHERONI, 2009).

O'Sullivan (1988) e Frost (1984, 1988), citados por Queiroz (2001), classificaram os sistemas de suspensão de barras como ativo e passivo. Uma suspensão passiva consiste em um conjunto de molas, articulações, hastes e amortecedores, e não requer um fornecimento de energia. Uma suspensão ativa necessita de fornecimento de energia para a operação de atuadores, transdutores, os quais recebem, amplificam e emitem sinais.

Nation (1977) desenvolveu quatro tipos de sistemas controladores de altura de barras pulverizadoras: barra de molas diagonais, barra com pêndulo auxiliar, "rocking pivot" e seções da barra controladas independentemente. A barra de molas diagonais

é acoplada ao trator de forma que sua estabilidade é conferida por duas molas posicionadas na horizontal em relação à barra. Essas molas absorvem parte dos impactos e movimentos bruscos causados pela irregularidade do terreno. A barra com pêndulo auxiliar diminui principalmente os movimentos verticais da barra de pulverização, auxiliando no amortecimento dos impactos causados pelo solo e pelo trator. O sistema "rocking pivot" amortece os movimentos da barra pulverizadora através de um pêndulo posicionado na parte superior da barra. O controle independente das seções da barra confere uma maior estabilidade, pois as barras trabalham isoladamente, amortecendo os impactos por seção, e não transmitem impactos de um lado para o outro.

As suspensões das barras de pulverização são responsáveis por várias melhorias. A barra trabalha mais próxima da cultura, aumenta a capacidade de penetração das gotas e reduz o efeito do vento ambiente, possibilitando uma distribuição mais eficiente (Andrews e Byass, 1977). Em virtude da curta distância da barra até a cultura ocorre redução no processo de deriva, reduzindo a poluição do meio ambiente (Frost e Andrews, 1975). Cargas dinâmicas na barra, causadas pelo translado sobre superfícies irregulares, são reduzidas, possibilitando a construção de barras mais esbeltas (Nation e Holden, 1976).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em uma área de cultivo de soja, no Sítio Duas Meninas, localizado no município de Fênix, Paraná. O sistema de plantio é por semeadura direta e a cultura, durante o ensaio, estava em condições pós-emergente, no estágio V6, apresentando ramificações.

No ensaio foi utilizado um pulverizador de arrasto da marca Jacto, modelo Columbia AD18¹, com barra de 18 metros e acionamento totalmente hidráulico. O pulverizador foi acoplado a um trator Ford, modelo 6610¹, conforme Figura 1.



Figura 1. Conjunto trator/pulverizador utilizado no ensaio.

¹A citação de marcas comerciais não implica em recomendação de uso por parte do autor.

As especificações técnicas, referentes ao pulverizador, encontram-se no Anexo 1.

Em uma das condições do ensaio, foi utilizado um equipamento que limita a altura da barra em relação ao solo. Esse sistema é instalado nas extremidades da barra de pulverização (Figura 2) e acompanha as irregularidades do terreno, limitando a altura da barra em relação ao solo. O controlador de altura permite que as barras fiquem sujeitas a um menor esforço, proporcionando maior produtividade, porque evitam a redução da velocidade para minimizar impactos em terrenos mais acidentados. Além de evitar a depreciação precoce das barras, o equipamento não permite a oscilação excessiva das barras, evitando que uma extremidade atinja o solo enquanto a outra faça a variação para cima, proporcionando assim, maior precisão e uniformidade na aplicação.



Figura 2. Sistema de controle de altura de barras.

Fonte: <http://kspulverizadores.com.br/produtos/sensor-de-barras-ks.html>

3.1 Tratamentos

O ensaio foi instalado com oito tratamentos que consistiram nas combinações de duas condições de operação do pulverizador (com e sem o sistema controlador de altura de barras - CE e SE, respectivamente) e quatro diferentes condições de superfície para deslocamento do pulverizador (subindo terraço, descendo terraço, superfície plana sem obstáculo e superfície plana com obstáculo - toco de madeira de 0,40 metros de diâmetro, posicionado no sentido do rodado do conjunto trator/pulverizador).

A Figura 3 apresenta as condições de operação do pulverizador e a descrição dos percursos realizados. A descrição dos tratamentos delineados está apresentada na Tabela 1. As Figuras 4, 5, 6 e 7, ilustram as condições do terreno em que cada tratamento foi realizado.

Pulverizador Columbia AD-18	
Com sistema controlador de altura de barras - CE	Sem sistema controlador de altura de barras - SE
Descendo em terreno inclinado	
Subindo em terreno inclinado	
Deslocando-se em terreno plano	
Deslocando-se em terreno plano com obstáculo (toco de madeira)	

Figura 3. Esquema dos tratamentos realizados no ensaio.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos realizados.

Tratamentos	Condições de operação do pulverizador	Percursos realizados
T1	Sem controlador de altura de barras (SE)	Descendo terraço
T2	Sem controlador de altura de barras (SE)	Subindo terraço
T3	Com controlador de altura de barras (CE)	Subindo terraço
T4	Com controlador de altura de barras (CE)	Descendo terraço
T5	Com controlador de altura de barras (CE)	Superfície plana sem obstáculo
T6	Com controlador de altura de barras (CE)	Superfície plana com obstáculo
T7	Sem controlador de altura de barras (SE)	Superfície plana com obstáculo
T8	Sem controlador de altura de barras (SE)	Superfície plana sem obstáculo



Figura 4. Condições do terreno para os tratamentos correspondentes à descida cruzando o terraço.



Figura 5. Condições do terreno para os tratamentos correspondentes à subida cruzando o terraço.



Figura 6. Condições do terreno plano.



Figura 7. Obstáculo de madeira posicionado no percurso do conjunto trator/pulverizador.

3.2 Condições climáticas

Em cada tratamento, no instante em que o pulverizador passava sobre as lâminas de vidro, foram mensurados, a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura do ar, utilizando-se um baro-termo-higrômetro digital, da marca Oregon[®]. A

direção do vento foi determinada com uma bússola (Figura 8). As condições climáticas de cada tratamento estão descritas na Tabela 2.



Figura 8. Baro-termo-higrômetro e bússola, utilizados para determinar as condições climáticas de cada tratamento.

Tabela 2. Condições climáticas mensuradas em cada tratamento.

Tratamentos		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Direção do vento	-----	SE	W	W				N	N
Velocidade do vento	Km h ⁻¹	4,7 a 5,9	2,3 a 2,7	3,1 a 3,4	0,0 a 0,4	0,8 a 1,0	0	1,7 a 1,9	3,6 a 4,0
Temperatura	°C	31,3	31,2	29,6	28,7	28,9	26,5	24,0	23,1
Umidade	%	40	41	46	49	50	60	67	69

3.3 Condições operacionais do conjunto trator/pulverizador

O trator operou com velocidade média de 8,0 km h⁻¹ e rotação de 1800 rpm. O operador do trator foi o mesmo em todos os tratamentos.

Antes de iniciar o ensaio, foram realizadas medições para determinar a distância entre o eixo dianteiro e o eixo traseiro do trator, entre o eixo traseiro do trator e o eixo traseiro do pulverizador, medições da bitola dianteira e traseira do trator e da bitola do

pulverizador, medições do diâmetro do rodado dianteiro e traseiro do trator e do rodado do pulverizador (Anexo 2). As medições entre eixos foram realizadas para determinar uma correlação matemática com as medidas em pixels, obtidas no registro do deslocamento do pulverizador.

A pressão de trabalho na bomba do pulverizador foi de 50 psi. A barra de pulverização foi posicionada a uma altura de 0,50 metros em relação ao solo e o espaçamento entre os bicos foi de 0,50 metros, totalizando 37 bicos em uma barra de 18 metros de comprimento. As pontas de pulverização utilizadas foram de jato plano, do tipo AVI 11002 com malha 50 e foram calibradas de acordo com a pressão de trabalho na bomba do pulverizador. Durante 2 minutos coletou-se a vazão de cada bico, utilizando-se o calibrador de pontas de pulverização, fabricado pela Jacto. A vazão média de $0,784 \text{ L min}^{-1}$ e o volume médio de pulverização de 120 L ha^{-1} , condizem com a especificação fornecida pelo fabricante, conforme Anexo 3. A Tabela 3 indica a vazão de cada ponta (L min^{-1}), obtida na calibração do pulverizador.

Tabela 3. Vazão das pontas de pulverização utilizadas no ensaio.

Ponta	Vazão (L min^{-1})	Ponta	Vazão (L min^{-1})
1	0,777	20	0,789
2	0,767	21	0,777
3	0,802	22	0,784
4	0,784	23	0,782
5	0,782	24	0,780
6	0,775	25	0,788
7	0,821	26	0,776
8	0,782	27	0,778
9	0,802	28	0,777
10	0,783	29	0,780
11	0,785	30	0,765
12	0,793	31	0,786
13	0,785	32	0,779
14	0,779	33	0,787
15	0,794	34	0,769
16	0,798	35	0,774
17	0,795	36	0,758
18	0,800	37	0,783
19	0,783	Média	0,784

3.4 Deposição da calda

A calda utilizada nos tratamentos foi composta de água e corante Azul Brillante FDC-1, diluído a 0,3%. O corante Azul Brillante é um pó e para realizar a medida da porção usada na diluição da calda, foi usada uma balança com precisão de 0,01 gramas, da marca Marte[®], modelo AS5500C.

Para coletar a deposição da calda foram utilizadas lâminas de vidro com dimensões de 0,20 x 0,10 metros, posicionadas sobre bases cúbicas revestidas com saco plástico de poliestireno, para evitar contaminações (Figura 9). Foram utilizadas 30 lâminas por tratamento, posicionadas uniformemente em uma área de 16 x 20 metros, com espaçamento de 4 metros entre elas, no sentido do deslocamento do conjunto trator/pulverizador e paralelamente à barra de pulverização.



Figura 9. Lâminas de vidro posicionadas para captar a deposição da calda.

A distribuição das lâminas de vidro foi padronizada para todos os tratamentos. A Figura 10 ilustra o posicionamento das lâminas e das câmeras digitais na área de ensaio. A Figura 11 mostra a distribuição das lâminas em terreno plano.

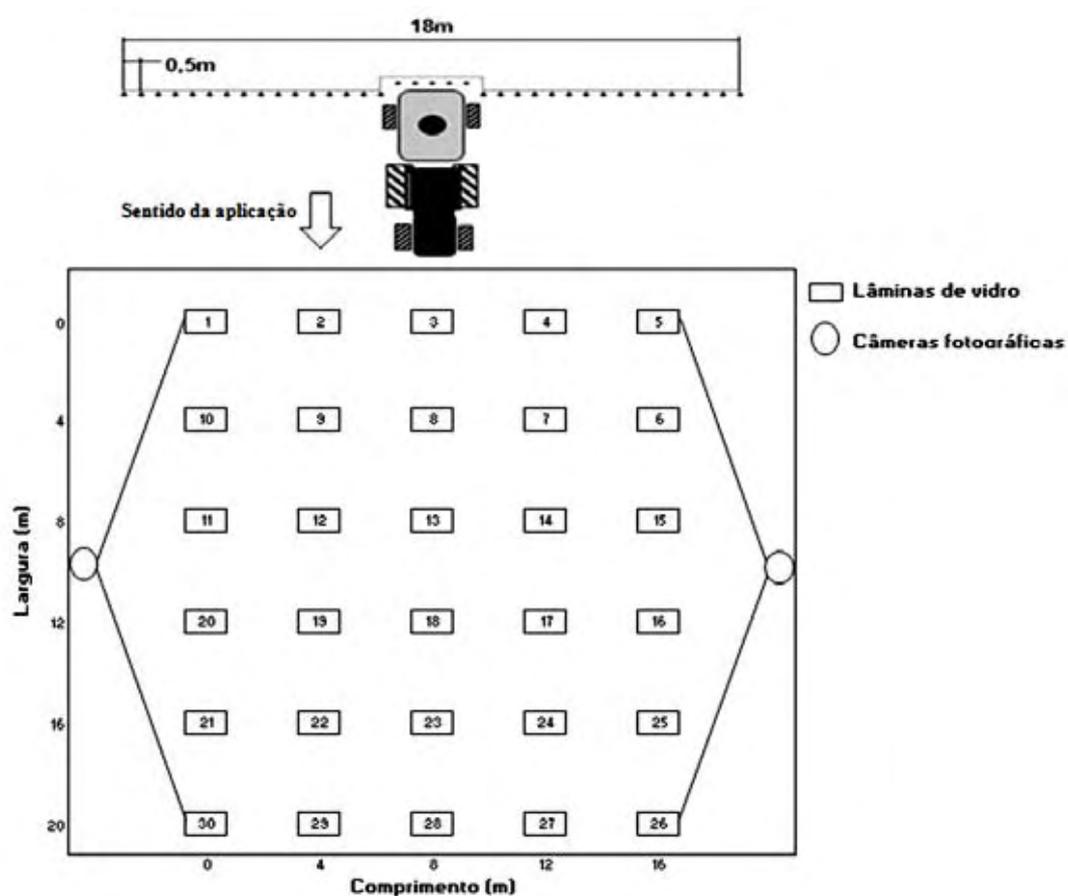


Figura 10. Representação teórica do delineamento no campo com a alocação das lâminas de vidro.



Figura 11. Distribuição das lâminas para captar a deposição da calda no tratamento realizado em terreno plano.

3.5 Registro do deslocamento do pulverizador

A movimentação da barra foi avaliada através da análise de imagens obtidas com duas câmeras digitais - Samsung® modelo ST70 de 14 megapixels e Samsung® modelo ST45 de 12.2 megapixels - utilizando-se o modo de aquisição de vídeo. O deslocamento do conjunto trator/pulverizador foi registrado lateralmente, usando-se como referência um alvo de papel branco com dimensões de 0,21 x 0,29 metros, fixado com o auxílio de abraçadeiras de plástico, nas extremidades da barra do pulverizador conforme Figura 12.



Figura 12. Referência de papel fixada na extremidade da barra do pulverizador.

3.6 Processamento das imagens para obtenção dos movimentos da barra

Para a obtenção das posições horizontais e verticais das extremidades da barra durante o percurso, imagens estáticas foram capturadas do vídeo digital através do programa Windows Movie Maker®, em intervalos de tempo de 0,160 segundos. Em cada tratamento foram capturadas 60 imagens, sendo posteriormente transferidas para o Microsoft Paint®. Este software foi utilizado para a obtenção das medidas das posições do ponto de referência na barra. Utilizando-se o Microsoft Excel®, as medidas das posições foram transformadas de pixels para metros através de uma correlação com a medida da distância entre os eixos do trator.

A Figura 13 ilustra o registro da posição horizontal e vertical do ponto de referência na extremidade da barra, em determinado instante, utilizando-se o Microsoft Paint®.



Figura 13. Posição em pixels, do ponto de referência da barra.

Considerando-se que as imagens possuem uma distorção em função da profundidade do campo de visão na filmagem, para se obter o valor correto da movimentação das barras foi calculado o fator de correção (f.c), que corrige a diferença entre o tempo de deslocamento do trator em função do tempo de deslocamento da extremidade da barra.

3.7 Determinação dos movimentos horizontais

O deslocamento horizontal do ponto de referência, em pixels, em cada intervalo de tempo, foi determinado pela seguinte equação:

$$h_n = DH_{t_0} - DH_{t_1}$$

onde:

h_n = deslocamento horizontal (em pixels) do ponto de referência,;

DH_{t_0} = posição (em pixels) do ponto de referência no instante t_0 ;

DH_{t_1} = posição (em pixels) do ponto de referência após 0,160 segundos.

A posição teórica do ponto de referência, desconsiderando os movimentos horizontais da barra e supondo velocidade de deslocamento constante para o conjunto trator-pulverizador, foi definida pela seguinte:

$$X_n = (NP/tp \text{ total}) \cdot t_n$$

onde:

X_n = posição (em pixels) em que o ponto de referência deveria estar no instante da observação;

NP = número total de pixels, oferecido pela resolução horizontal da imagem no Microsoft Paint[®];

$tp \text{ total}$ = tempo total de percurso do ponto de referência na imagem, durante a filmagem;

t_n = instante de observação.

O erro de posicionamento horizontal, foi calculado através da seguinte equação:

$$Y_n = h_n - X_n$$

onde:

Y_n = erro de posicionamento do ponto de referência (pixels);

h_n = posição real do ponto de referência (pixels);

X_n = posição teórica em que o ponto de referência deveria estar (pixels).

O valor do erro de posicionamento do ponto de referência foi convertido de pixels para metros, através da seguinte equação:

$$X_{Hn} = [(Y_n \cdot 2,27 / d.e) / f.c]$$

onde:

X_{Hn} = erro de posicionamento em metros;

2,27 = Distância entre os eixos do trator (metros);

d.e = valor da distância entre eixos das rodas do trator (pixels);

f.c = fator para correção da distorção provocada pela profundidade da imagem na filmagem, obtido dividindo-se o tempo do percurso da roda do trator pelo tempo de percurso do ponto de referência na extremidade da barra.

3.8 Determinação dos movimentos verticais

O deslocamento vertical do ponto de referência, em pixels foi determinado pelo valor da diferença, entre a posição vertical inicial da extremidade da barra e a posição vertical para cada intervalo de 0,160 segundos, utilizando-se a seguinte equação:

$$Z_n = d.v - V_n$$

onde:

Z_n = diferença entre a posição da extremidade da barra, no instante da observação e a posição no início do deslocamento do conjunto trator/pulverizador (pixels);

$d.v$ = valor da posição vertical (em pixels) do ponto de referência no início do deslocamento (0,00 segundos);

V_n = valor da posição vertical (em pixels) do ponto de referência da extremidade da barra no instante da observação.

Foi transformado o valor de Z_n de pixels para metros, considerando-se o efeito de distorção provocado pela profundidade da imagem obtida lateralmente, aplicando-se a seguinte equação:

$$X_{vn} = [(Z_n \cdot 2,27 / d.e) / (f.c)]$$

onde:

X_{vn} = diferença entre a posição da extremidade da barra, no instante da observação e a posição no início do deslocamento do conjunto trator-pulverizador (metros);

Z_n = diferença entre a posição da extremidade da barra, no instante da observação e a posição no início do deslocamento do conjunto trator-pulverizador (pixels);

2,27 = valor em metros da distância entre eixos das rodas do trator;

$d.e$ = valor da distância entre eixos das rodas do trator (pixels);

$f.c$ = fator para correção da distorção provocada pela profundidade da imagem na filmagem, obtido dividindo-se o tempo do percurso da roda do trator pelo tempo de percurso do ponto de referência na extremidade da barra.

3.9 Avaliação dos movimentos da barra

A movimentação da barra durante o deslocamento foi avaliada através do cálculo dos seguintes parâmetros:

- a) amplitude vertical do movimento, correspondente à diferença entre a maior e a menor altura da barra ao longo do percurso em cada tratamento, com relação ao ponto de referência no início do deslocamento (d.v em 0,00 segundos);
- b) amplitude horizontal do movimento, correspondente à diferença entre o maior erro para frente e para trás com relação à posição teórica da barra, dada a velocidade de deslocamento do trator;
- c) desvio padrão dos valores das posições verticais;
- d) desvio padrão dos valores das posições horizontais.

3.10 Avaliação da deposição da calda

O objetivo deste ensaio foi determinar o percentual da deposição da calda durante o percurso do conjunto trator/pulverizador, nos diferentes tratamentos propostos.

Para a determinação da deposição utilizou-se o método de análise da concentração do marcador (corante Azul Brilhante FDC-1), citado por (Palladini, 2000). Após cada aplicação, as lâminas de vidro foram retiradas da base e acondicionadas em recipientes plásticos (Figura 14), devidamente fechados e identificados de acordo com o tratamento e a posição na área ensaiada. Posteriormente, as lâminas foram acondicionadas dentro de sacos pretos para evitar a incidência de luz. No laboratório foram submetidas ao processo ao processo de extração do produto, sendo lavadas individualmente em 100 ml de água destilada, com o objetivo de recuperar o corante depositado em cada lâmina, durante o ensaio.



Figura 14. Lâmina de vidro acondicionada em recipiente plástico após aplicação do corante FDC-1.

As soluções, resultantes da lavagem das lâminas, foram acondicionadas em recipientes plásticos, devidamente identificados e posteriormente foram submetidas à leitura óptica de absorbância em um espectrofotômetro UV-visível de duplo feixe, modelo Cintra 20, que opera com 10 mm de caminho óptico e comprimento de onda 630 nm para o corante Azul Brillante. Os resultados de absorbância foram transformados em ppm por meio do coeficiente angular da curva-padrão, obtida a partir dos valores de absorbância resultantes do fracionamento concentração da amostra da calda.

O volume aplicado em cada lâmina foi determinado pela equação:

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

onde:

C_i = concentração inicial na calda de aplicação (mg L^{-1});

V_i = volume retido pela lâmina (mL);

C_f = concentração detectada em densidade óptica (mg L^{-1});

V_f = volume de diluição da amostra de cada lâmina (mL).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresenta-se a discussão dos resultados da avaliação dos movimentos horizontais e verticais da barra de pulverização, com o pulverizador operando com (CE) e sem (SE) o sistema controlador de altura de barras. O ensaio foi instalado com oito tratamentos que consistiram nas combinações de duas condições de operação do pulverizador (com e sem o sistema controlador de altura barras - CE e SE, respectivamente) e quatro diferentes condições de superfície para deslocamento do pulverizador (subindo terraço, descendo terraço, superfície plana com e sem obstáculo).

A análise entre as duas condições de trabalho do pulverizador foi realizada através da comparação da amplitude dos deslocamentos horizontais e verticais da barra em todos os tratamentos propostos. Foi analisada também, a influência desses movimentos na deposição da calda. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e estudado a interação entre os sistemas e condições e em seguida aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também, para a deposição foi realizada uma análise da correlação dos movimentos com o coeficiente de variação da deposição nos coletores.

4.1 Movimentos verticais e horizontais da barra de pulverização

As Figuras 15 a 22 mostram o comportamento da barra do pulverizador com e sem o sistema controlador de altura, nos tratamentos propostos. Foram observados em cada tratamento, os deslocamentos (oscilações) horizontais e verticais da barra durante o percurso do conjunto trator/pulverizador na área de ensaio.

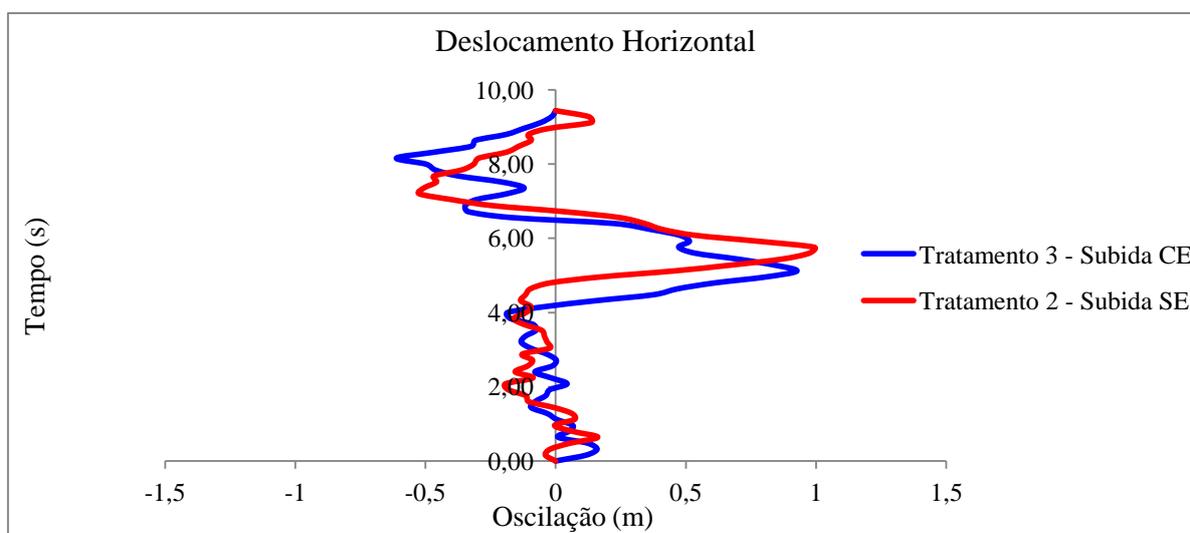


Figura 15. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras, subindo terraço, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para frente, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para trás.

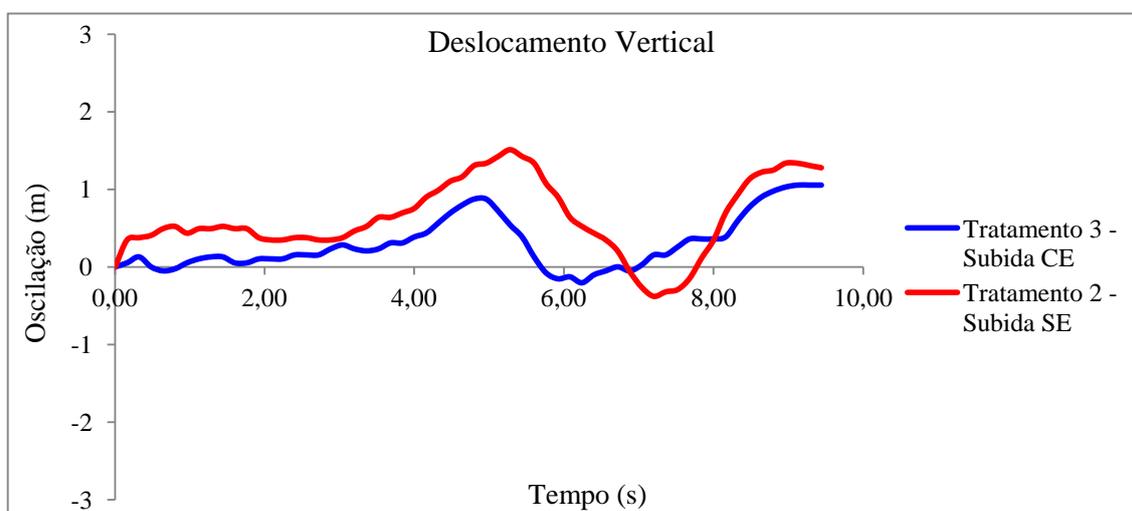


Figura 16. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras subindo o terraço, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para cima do ponto de inserção da barra no pulverizador, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para baixo.

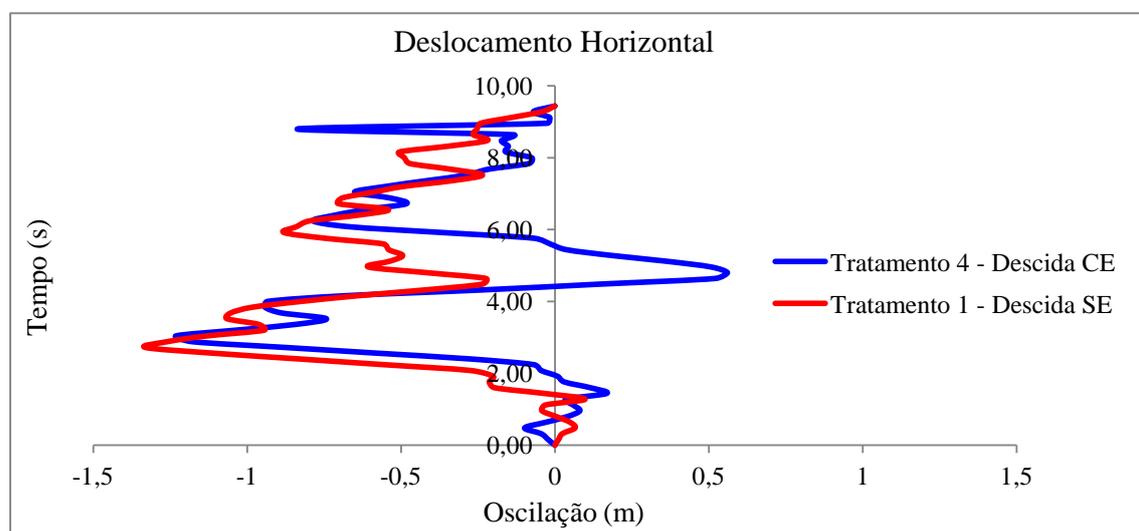


Figura 17. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras descendo o terraço, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para frente, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para trás.

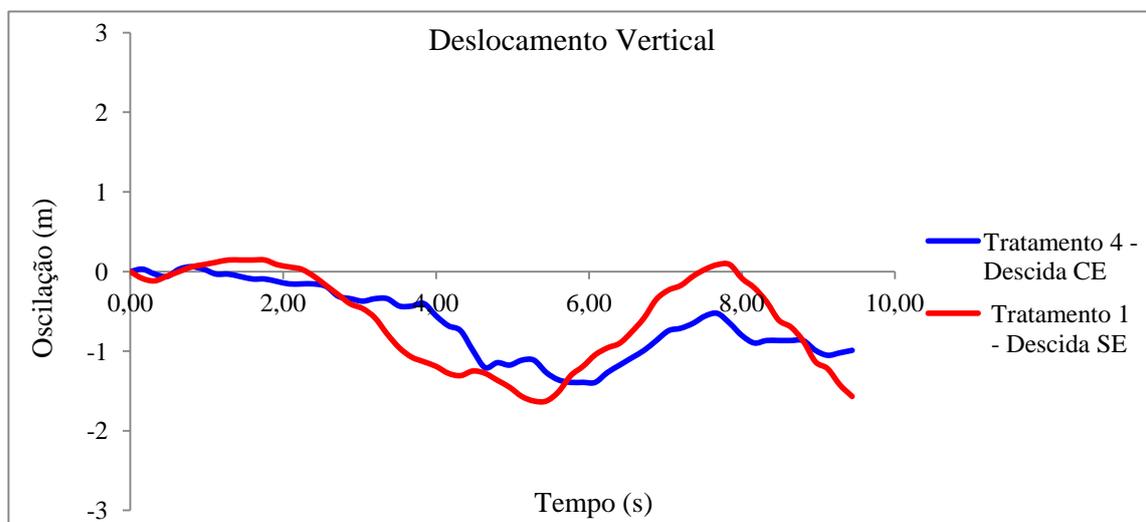


Figura 18. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras descendo o terraço, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para cima do ponto de inserção da barra no pulverizador, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para baixo.

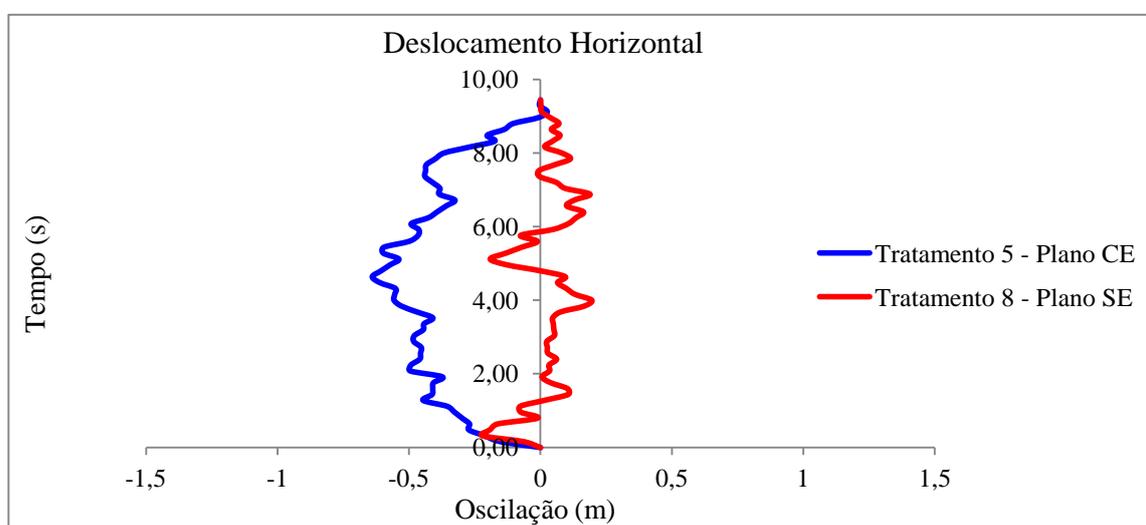


Figura 19. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana sem obstáculo, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para frente, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para trás.

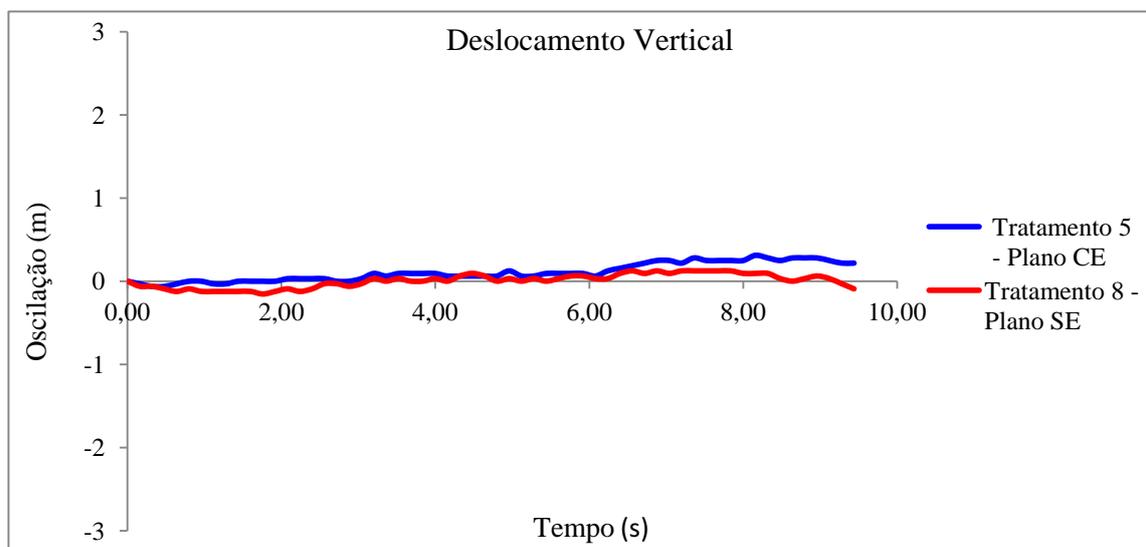


Figura 20. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana sem obstáculo, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para cima do ponto de inserção da barra no pulverizador, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para baixo.

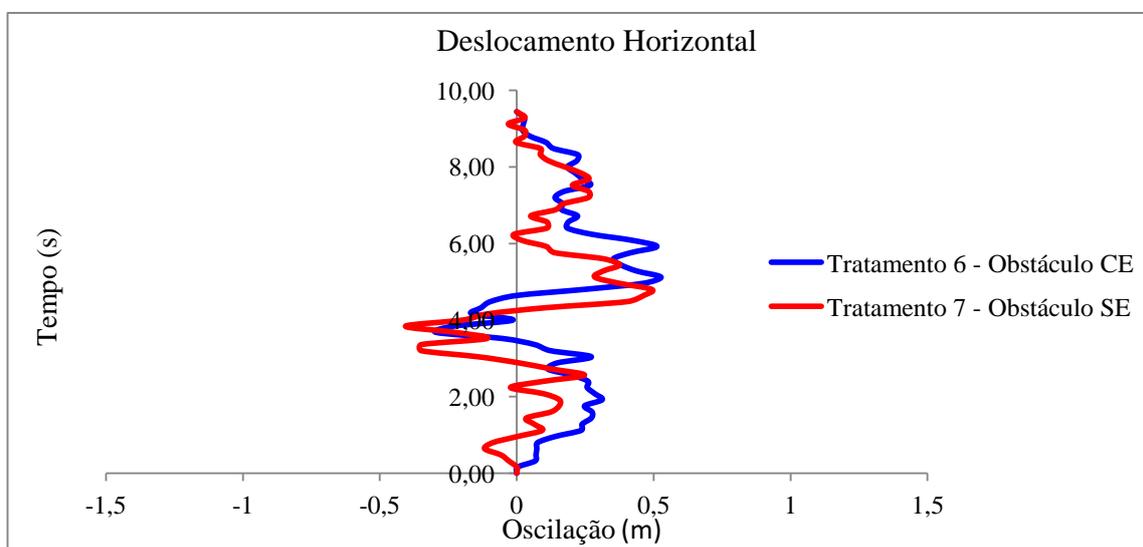


Figura 21. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana com obstáculo, considerando os movimentos horizontais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para frente, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para trás.

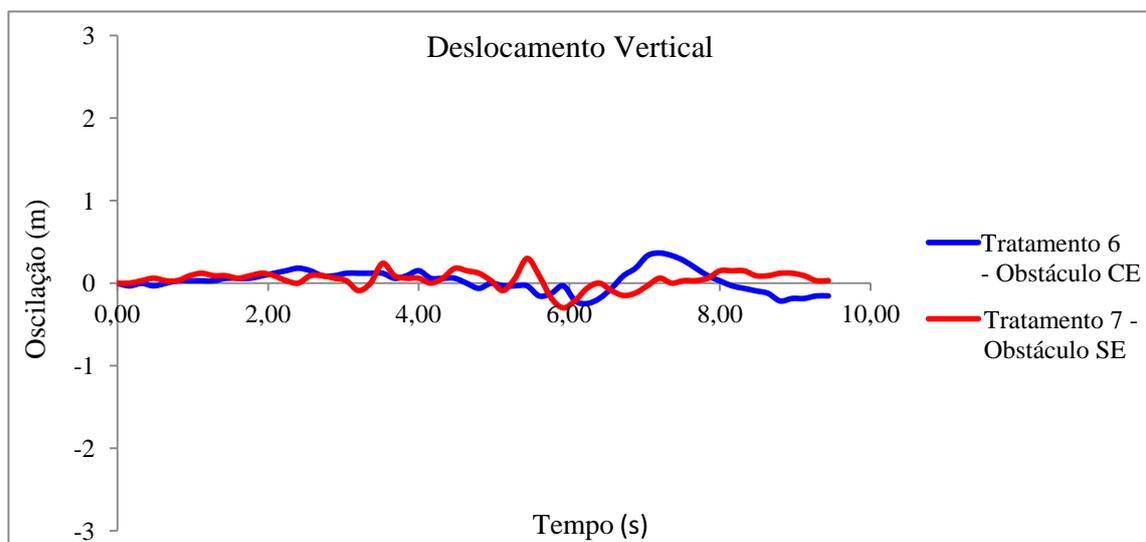


Figura 22. Comportamento da barra do pulverizador com e sem sistema controlador de altura de barras sobre superfície plana com obstáculo, considerando os movimentos verticais ao longo do tempo. Valores positivos indicam oscilação da barra para cima do ponto de inserção da barra no pulverizador, enquanto valores negativos mostram deslocamentos para baixo.

Para analisar os movimentos horizontais e verticais da barra de pulverização durante o percurso nos tratamentos propostos, a amplitude foi determinada pelo cálculo da diferença entre o erro de posição máximo e mínimo da extremidade da barra.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de variância dos movimentos horizontais.

Analisando-se a interação entre as condições dos tratamentos e as condições de trabalho da barra do pulverizador (CE e SE), observa-se que não houve diferença significativa entre os movimentos horizontais em superfície plana e em superfície plana com obstáculo, nas duas condições de trabalho da barra do pulverizador - com (CE) e sem (SE) sistema controlador de altura de barras.

Os resultados mostram que em terreno plano, a variação da amplitude foi menor, quando comparada com a amplitude obtida nas condições de terreno inclinado. Nestas condições o sistema controlador de altura não atuou nos movimentos horizontais. Entretanto, nas condições de maior variação (subida e descida cruzando o terraço) observou-se que a amplitude dos movimentos horizontais foi maior quando o pulverizador estava operando

com o sistema controlador de altura das barras. Este resultado mostra que o apoio das rodas no solo influenciou os movimentos horizontais nestas condições mais extremas de movimentação da barra, o que não aconteceu em terrenos plano.

Neste sentido, Speelman e Jansen (1974) mostraram que o aumento da amplitude tem um efeito negativo na pulverização realizada por todos os tipos de bicos, especialmente na menor altura da barra (0,5 metros). Kennes et al. (1996), determinaram que, movimentos horizontais da barra, causados por variações da velocidade, resultaram em variações na aplicação do líquido, na direção de deslocamento do pulverizador. Ainda, simulações realizadas por Clijmans et al. (2000), demonstraram que os movimentos de rolagem e as vibrações horizontais de uma barra podem afetar a aplicação.

Tabela 4. Médias dos tratamentos da amplitude horizontal da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador.

Sistemas	Condições			
	Subindo Terraço	Descendo Terraço	Superfície plana sem obstáculo	Superfície plana com obstáculo
CE	2,07 Aa	1,80 Ba	0,45 Ca	0,89 Da
SE	1,70 Ab	1,47 Bb	0,41 Ca	0,94 Da
F da Interação (Sistemas*Condições)			13,06*	
CV (%)	12,13	11,51	12,09	3,85

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 5 apresenta os resultados de análise de variância dos movimentos verticais. Em terreno plano, a variação da amplitude foi menor, quando comparada com a amplitude obtida nas condições de terreno inclinado. Nos tratamentos realizados com o sistema controlador de altura de barras não houve variação significativa em

terreno inclinado e em superfície plana. Nos tratamentos realizados sem o sistema controlador de altura, ocorreu variação da amplitude na comparação das condições subindo e descendo.

Na comparação entre os tratamentos com e sem o sistema de controle de altura da barra, observou-se resultados variáveis. Na condição de trabalho subindo o terraço o uso do controle de altura aumentou a amplitude vertical, enquanto no caminho oposto (descendo o terraço) o resultado foi inverso, com menor amplitude vertical com o uso do sistema de controle de altura da barra. Na superfície plana, apenas quando o pulverizador trafegou sobre o obstáculo houve menor amplitude para o tratamento com o controlador de altura da barra.

Segundo Mahalinga e Wills (1978), o movimento vertical da barra em relação ao solo e o movimento horizontal em relação ao trator, são fatores que podem afetar a deposição da calda. Pontelli e Mucheroni (2009) afirmam que as oscilações verticais da barra causadas por irregularidades no terreno, alteram a distância entre cada bico e o alvo e distorcem a distribuição. Além disso, quando são excessivas, fazem com que as pontas da barra toquem o solo, causando eventuais danos.

Tabela 5. Médias dos tratamentos da amplitude vertical da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador.

Sistemas	Condições			
	Subindo Terraço	Descendo Terraço	Superfície plana sem obstáculo	Superfície plana com obstáculo
CE	1,53 Aa	1,34 Ab	0,38 Ba	0,43 Bb
SE	1,20 Bb	2,23 Aa	0,37 Ca	0,55 Da
F da Interação (Sistemas*Condições)			97,62*	
CV (%)	14,75	27,61	8,24	15,61

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As Figuras 23 e 24 apresentam as análises das amplitudes dos movimentos da barra do pulverizador de acordo com os tratamentos.

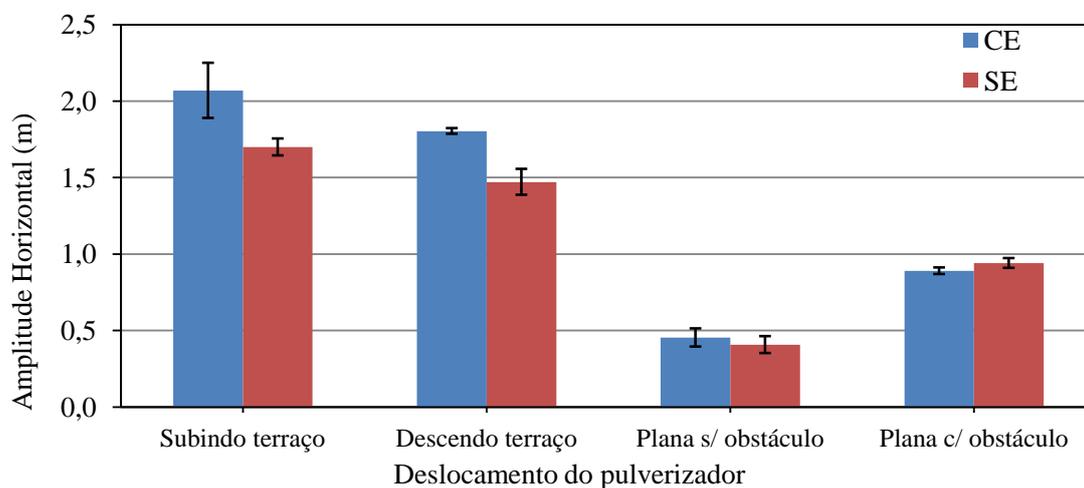


Figura 23. Médias dos tratamentos da amplitude horizontal da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador.

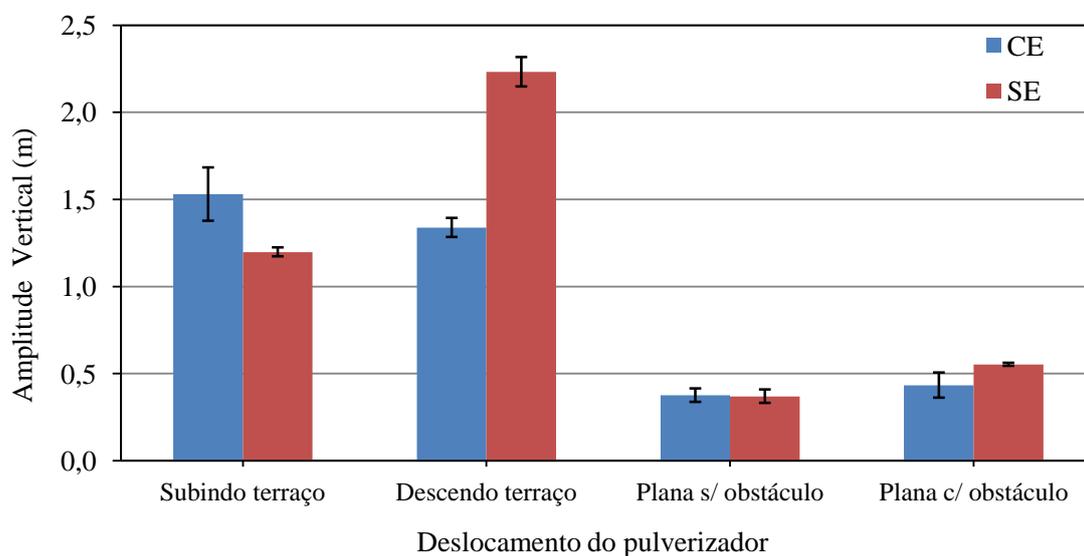


Figura 24 - Médias dos tratamentos da amplitude vertical da barra (metros), obtidas do desdobramento das interações significativas da análise de variância dos sistemas e condições de deslocamento do pulverizador.

4.2 Deposição da calda

A Tabela 6 mostra os valores do coeficiente de variação CV (%) da deposição da calda nos tratamentos propostos.

Tabela 6. Análise do coeficiente de variação da deposição da calda nos tratamentos propostos de acordo com a amplitude de movimentos horizontais e verticais para cada tratamento.

Sistemas	Condições	CV da deposição (%)	Amplitude Horizontal (m)	Amplitude Vertical (m)
Com controlador de altura de barras (CE)	Subindo terraço	35,05	2,07	1,53
Sem controlador de altura de barras (SE)	Subindo terraço	31,94	1,70	1,20
Com controlador de altura de barras (CE)	Descendo terraço	32,42	1,80	1,34
Sem controlador de altura de barras (SE)	Descendo terraço	20,30	1,47	2,23
Com controlador de altura de barras (CE)	Superfície plana com obstáculo	18,23	0,89	0,43
Sem controlador de altura de barras (SE)	Superfície plana com obstáculo	18,74	0,94	0,55
Com controlador de altura de barras (CE)	Superfície plana sem obstáculo	14,40	0,45	0,38
Sem controlador de altura de barras (SE)	Superfície plana sem obstáculo	12,85	0,41	0,37

Uma análise detalhada da comparação entre o CV da deposição da calda e a amplitude dos movimentos horizontais mostra que em todas as situações houve proporcionalidade direta entre os fatores, ou seja, onde a amplitude horizontal foi maior, ocorreu maior coeficiente de variação da deposição. Desta forma, a Figura 25 mostra a correlação direta e linear entre os fatores. Nesta mesma análise, as Figura 26 e 27 mostram a correlação entre o CV dos depósitos e a amplitude horizontal separando-se as coletas em terreno plano (menores valores de amplitude) e em terreno inclinado (maiores valores de

amplitude). Em ambos os casos, observa-se que houve correlação positiva entre os fatores, ou seja, maiores amplitudes horizontais geraram maiores coeficientes de variação.

Na análise da correlação entre as amplitudes verticais e os coeficientes de variação dos depósitos, os efeitos não foram tão objetivos quanto no caso dos movimentos horizontais. Enquanto a Figura 29 mostra que a proporcionalidade foi direta em superfície plana, onde as amplitudes observadas foram menores, em superfície inclinada os resultados foram inversos (Figura 30), com uma tendência de maior CV dos depósitos nas menores amplitudes. Tal observação, apesar de ser sustentada pelos dados obtidos, não encontra respaldo na literatura pertinente.

Por outro lado analisando-se de maneira conjunta todos os dados de CV dos depósitos em função da amplitude vertical (Figura 28), observa-se que a proporcionalidade foi menos direta, indicando assim que, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a influência da movimentação horizontal foi mais importante do que a vertical na variabilidade dos depósitos nos coletores.

No que se refere à comparação entre os tratamentos com e sem o sistema de controle de altura da barra, observou-se que sua utilização degradou a qualidade da deposição, notadamente em função de sua atuação com relação à movimentação horizontal da barra de pulverização.

Analisando-se citações de diferentes autores sobre o tema, observou-se que de maneira análoga aos resultados obtidos neste trabalho, Langenakens et al. (1999) estudou o efeito dos movimentos de uma barra de pulverização na aplicação do líquido, referendando que os movimentos horizontais e deformações verticais tiveram grandes influências na distribuição da pulverização, especialmente nas extremidades da barra onde a amplitude é mais importante. Neste sentido, Barcellos (2006) complementou que as oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, alteraram a altura dos bicos em relação ao alvo, prejudicando a uniformidade da distribuição.

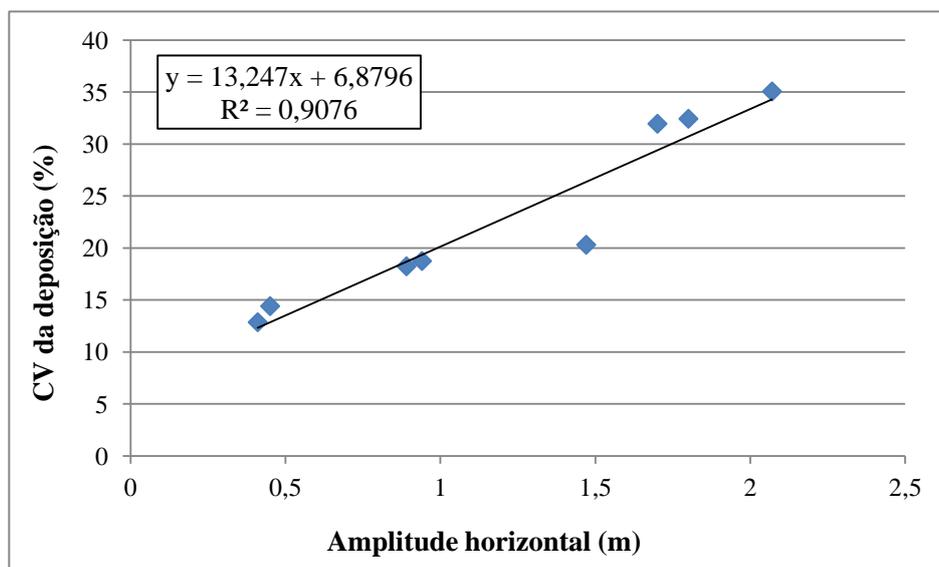


Figura 25. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude horizontal dos movimentos da barra, considerando todos os tratamentos.

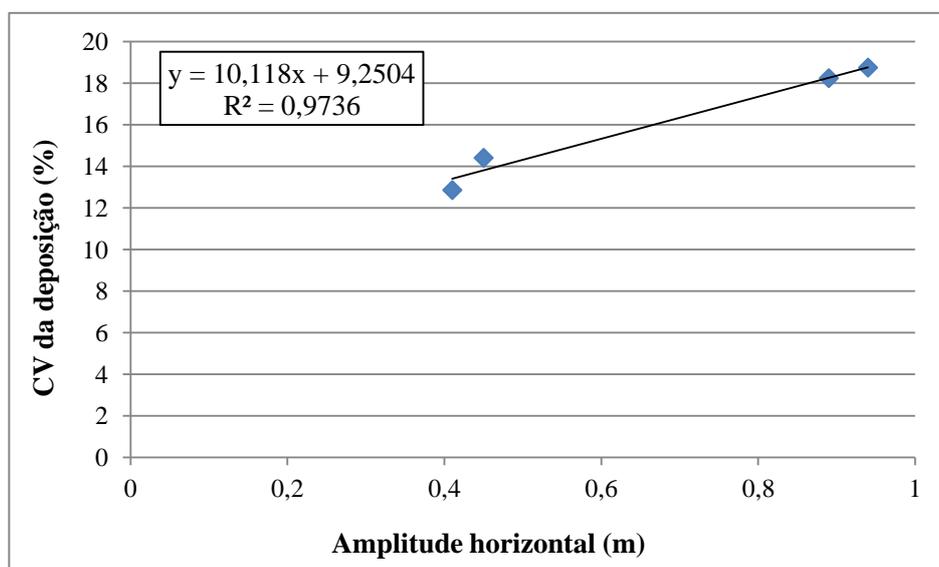


Figura 26. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude horizontal dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno plano (menores valores de amplitude).

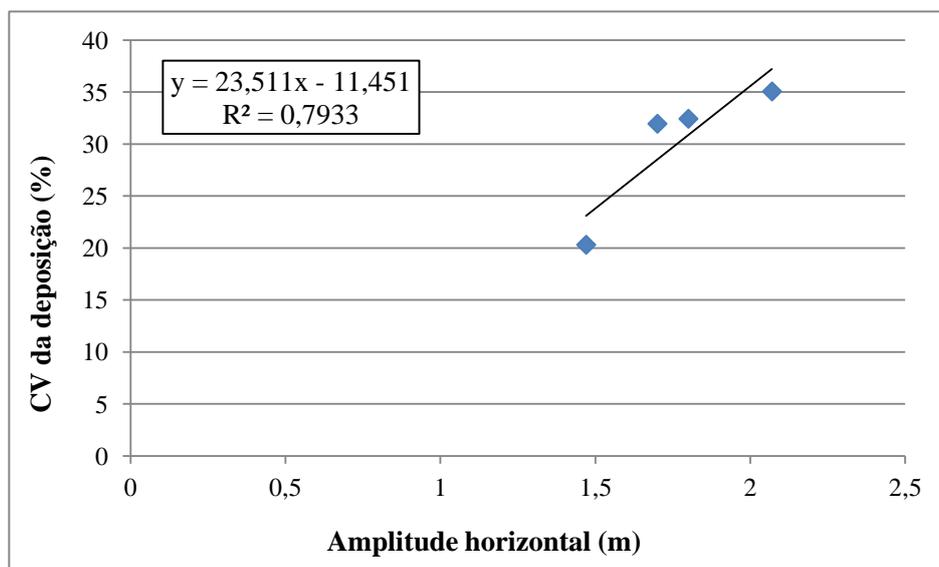


Figura 27. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude horizontal dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno inclinado (maiores valores de amplitude).

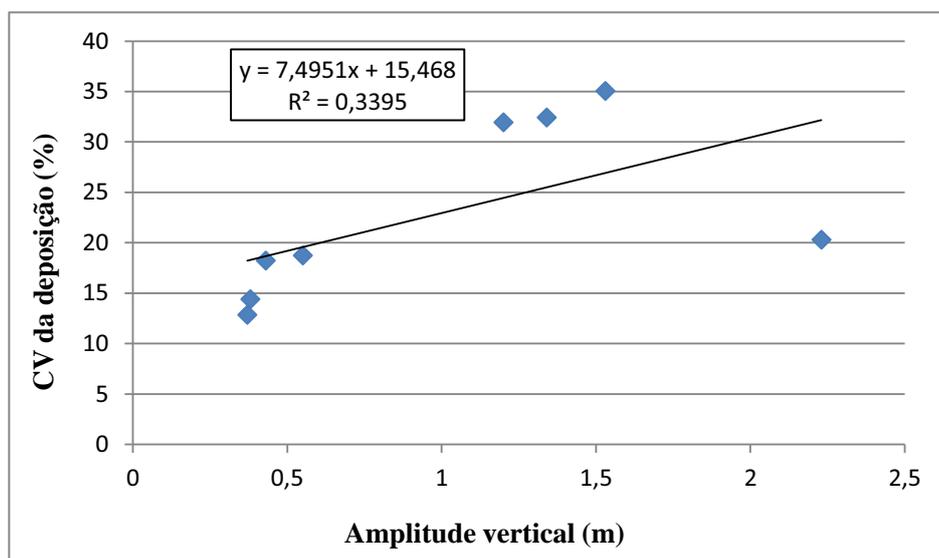


Figura 28. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude vertical dos movimentos da barra, considerando todos os tratamentos.

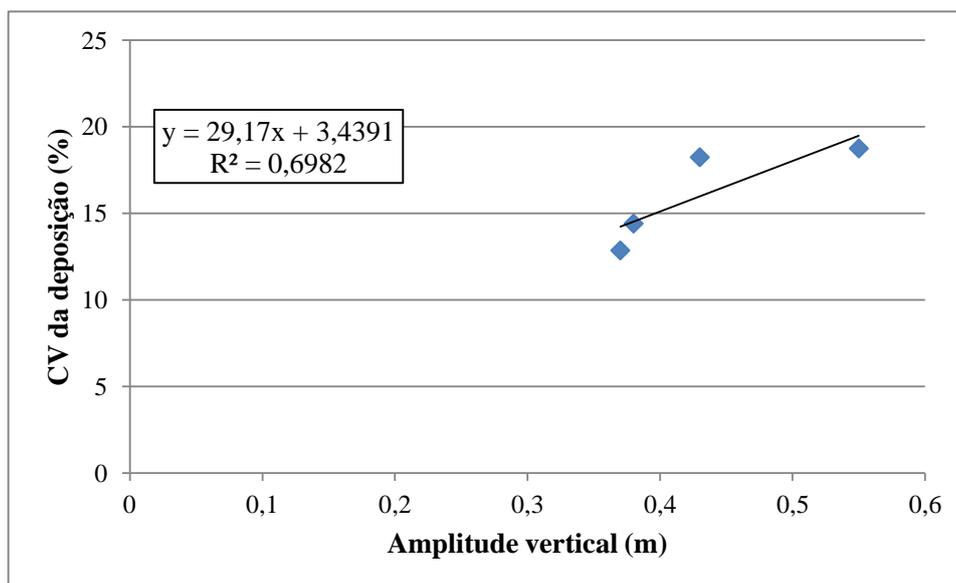


Figura 29. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude vertical dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno plano (menores valores de amplitude).

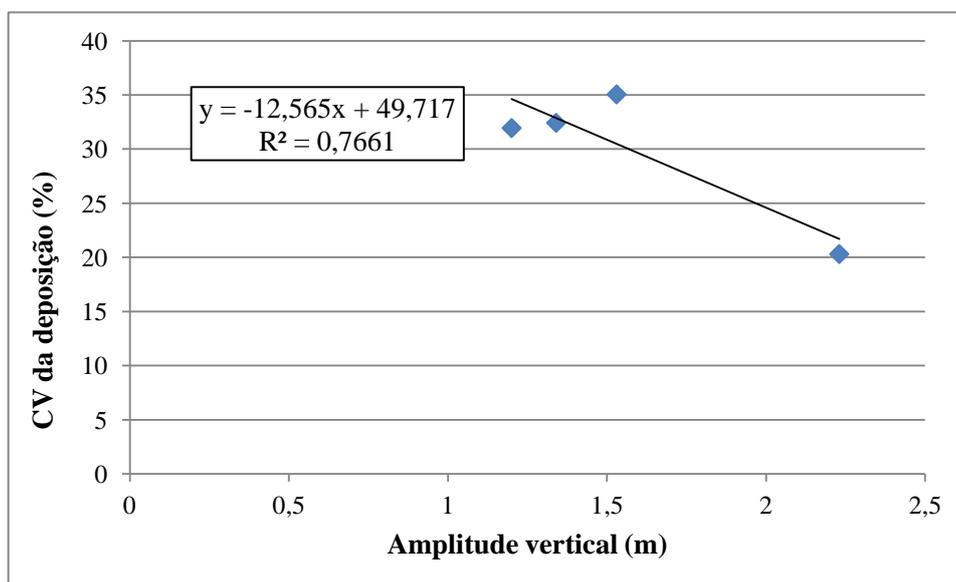


Figura 30. Correlação entre o CV da deposição de calda nos coletores e a amplitude vertical dos movimentos da barra considerando as parcelas com deslocamento em terreno inclinado (maiores valores de amplitude).

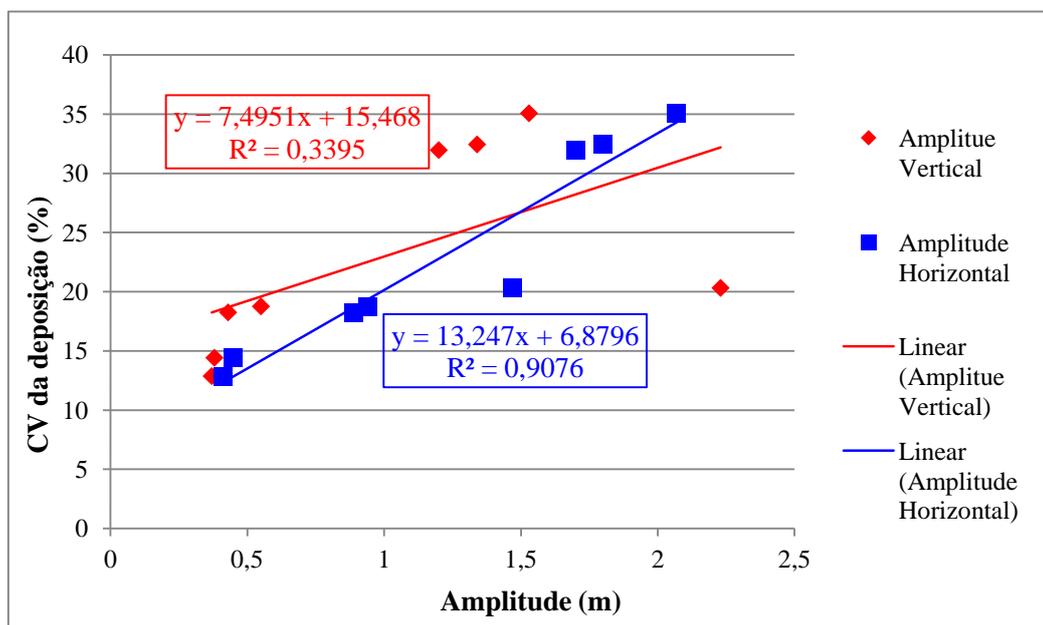


Figura 31. Comparação entre as correlações dos coeficientes de variação da deposição de calda nos coletores e as amplitudes horizontal e vertical dos movimentos da barra, considerando todas as parcelas.

5 CONCLUSÕES

A utilização do sistema de controle de altura de barras interferiu na movimentação da barra do pulverizador. Nas parcelas com terrenos inclinados, cruzando o terraço, a presença do sistema aumentou a amplitude dos movimentos horizontais. Nas parcelas de terreno plano, com e sem obstáculo, o sistema não interferiu nos movimentos horizontais. Quanto aos movimentos verticais, o sistema apresentou resultados variáveis, com menor amplitude descendo o terraço e maior, subindo o terraço, enquanto no terreno plano o sistema apresentou influência apenas na presença de obstáculo, reduzindo a amplitude dos movimentos verticais.

Na análise dos movimentos horizontais houve proporcionalidade direta entre a amplitude e o coeficiente de variação dos depósitos nos alvos, ou seja, onde a amplitude horizontal foi maior, ocorreu maior coeficiente de variação da deposição. Na análise da correlação entre as amplitudes verticais e os coeficientes de variação dos depósitos os efeitos não foram tão objetivos, apresentando resultados variáveis. Em geral, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a influência da movimentação horizontal foi mais importante do que a vertical na variabilidade dos depósitos nos coletores.

No que se refere à comparação entre os tratamentos com e sem o sistema de controle de altura da barra, observou-se que sua utilização degradou a qualidade da deposição, notadamente em função de sua atuação com relação à movimentação horizontal da barra de pulverização.

6 REFERÊNCIAS

ANDREWS, R.; BYASS, J. B. **Choice and use of nozzle for cereal spraying at conventional application rates.** National Institute Agricultural Engineering, report n. 25, Proc. subject day, Spraying on Large Cereal Farms, Silsoe, 1977.

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas.** Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2008. p. 174-175.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas.** São Paulo: Editora Manole Ltda, 1990. 307p.

BARCELLOS, L. C. et al. Desenvolvimento e avaliação de um pulverizador de barras a tração humana. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 67-73, 2006.

CARBONARI, C. A. et al. Efeito de surfactantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, out./dez. 2005.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas.** Diadema: Sprays Systems do Brasil, 1997.

CLIJMANS, L. et al. Sprayer boom motion, part 2: validation of the model and effect of boom vibration on spray liquid deposition, **Journal of Agricultural Engineering Research**, (2000), In press.

DURIGAN, J. C. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBS/ABRACAV/SIF, 1989. Paginação Irregular.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS: Pulverizador de Barras Jacto, modelo Columbia AD-18. Disponível em: < <http://www.jacto.com.br/produtos2.asp?id=43>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS: Bicos de jato plano, modelo AVI. Disponível em: <<http://www.jacto.com.br/produtos2.asp?id=80>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

FEDRIZZI, M. et al. Laser system for the movement track of a horizontal spray boom: equipment, methodology and first experimental results. **Rivista di Ingegneria Agrária**, Bologna, v. 26, n. 3, p. 129-126, 1995.

FROST, A. R.; ANDREWS, R. The effect of wind and boom height on spray drift. National Institute Agricultural Engineering, Dept. **Note DN/S/569/1915**, Silsoe, 1975.

GADANHA JÚNIOR, C. D. et al. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

HERBST, A.; WOLF, P. Spray deposit distribution from agricultural boom sprayer in dynamic conditions. Paper Number: 01-1054, **ASAE**, St. Joseph, Mich., 2001.

IYER, A. M.; WILLS, B. M. D. Factors determining the design of tractor-mounted sprayer booms – spray nozzle characteristics. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, n. 1, p. 37-43, 1978.

JACTO S.A. **Manual técnico sobre orientação de pulverização**. Edição 05/2001. Pompéia, 2001. Código 957928. 23 p.

JEON, H. Y.; WOMAC, A. R.; GUNN, J. Influence of 27m sprayer boom dynamics on precision chemical application. **ASAE**, Paper, v .3-1158. St Joseph, MI, 2003. 28 p.

KENNES, P.; RAMON, H.; DE BAERDEMAEKER, J. Modelling the dynamic behaviour of field sprayers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1996, Madrid, Spain. (1996). **EurAgEng Paper** No. 96A126, AgEng, 1996.

KENNES, P.; RAMON, H.; DE BAERDEMAEKER, J. Modelling the effect of passive vertical suspensions on the dynamic behaviour of sprayer booms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, p. 217-229, 1999.

KS Pulverizadores: Sensor de barras KS. Disponível em: <http://kspulverizadores.com.br/produtos/sensor-de-barras-ks.html>. Acesso em: 30 nov. 2011.

LANGENAKENS, J. et al. The effects of vertical sprayer boom movements on the uniformity of spray distribution. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 3, p. 281-291, 1999.

LARDOUX, Y. et al. Test Method for Boom Suspension Influence on Spray Distribution, Part I: Experimental Study of Pesticide Application under a Moving Boom. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 1, p. 29-39, 2007.

MAHALINGA, R.; WILLS, B. M. D. Factors determining the design of tractor-mounted booms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, n. 1, p. 37-41, 1978.

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

NATION, H. J.; HOLDEN, M. R. The dynamic behaviour of field sprayer boom: accelerations experienced by sprayer booms in work. **Dept. Note DN/S/772/1925, National Institute Agricultural Engineering**, Silsoe, 1976.

NATION, H.J. Boom design and sprayer use. **N.I.A.E., Spraying Department**, 27 p., 1977.

NATION, H. J. The dynamic behaviour of field sprayer booms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 27, p. 61-70, 1982.

OOMS, D. et al. Measurements of the horizontal sprayer boom movements by sensors data fusion. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 33, p. 139-162, 2002.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

POCHI, D.; VANNUCCI, D. Laboratory evaluation and angular potentiometer for measuring spray boom movement. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 80, n. 2, p. 153-161, 2001.

PONTELLI, C. O.; MUCHERONI, M. F. Validação do modelo de uma suspensão de barra utilizada em pulverizadores tracionados. **Minerva - Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p.189-196, 2009.

PORSKAMP, H. A. J.; VAN ZUYDAM, R. P. Spray booms must not sway. **Landbouw Mechan.**, v.43, n.8, p.16-17, 1992.

QUEIROZ, C. A. S. **Uso de videografia digital para avaliação da estabilidade da barra de pulverização em área de florestamento**. 2001. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

RAMON, H.; DE BAERDEMAERKER, J. Spray Boom Motions and Spray Distribution : Part 1, Derivation of a Mathematical Relation. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 66, p. 23-29, 1997.

RAMON, H. et al. Evaluation of a Cascade Compensator for Horizontal Vibrations of a Flexible Spray Boom. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 71, p. 81- 92, 1998.

SANTOS FILHO, A. G.; SANTOS, J. E. G. G. **Apostila de máquinas agrícolas**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2001. 88p.

SARTORI, S. 1985. Pulverizadores para aplicação terrestre tratorizada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS,

1., 1985, Jaboticabal. **Simpósio brasileiro sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Anais...Jaboticabal: Funep, 1985, p. 47-79.

SINFORT, C.; HERBST, A. Evaluation of the quality of spray distribution from boom sprayer in practical condition. **Bulletin OEPP/EPP, European and Mediterranean Plant Protection Organization**, v. 26, p. 27-36, 1996.

SPEELMAN, L.; JANSEN, J. W. The effect of spray-boom movement on the liquid distribution of field crop sprayers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 19, p. 117-129, 1974.

WILLS, B. G.; COMBELLACK, J. H. Performance characteristics of a ground driven metered boom sprayer. In: CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 1984, Bundaberg, Queensland, **Papers...** p. 132-136.

WOMAC, A. R. et al. Sprayer speed and venturi-nozzle effects on broadcast application uniformity. **Transactions of the ASAE**, v. 44, n. 6, p. 1437-1444, 2001.

Anexo 1. Especificações técnicas - Pulverizador Jacto Columbia AD18.



Especificações Técnica:

Peso - 1440 kg

Dimensões

Comprimento - 4,52m

Largura - 2,82m

Altura - 4,70m

Pneus - 11,2 x 28"

Bitola - com regulagem em qualquer espaçamento, de 1,80 a 2,40 m

Barras

Comprimento - 18 m, com acionamento totalmente hidráulico

Altura de trabalho - de 0,57m a 1,38m

Bicos - porta-bicos bijet com antigotejo, espaçados a 0,50m tem-se um total de 74 bicos e espaçados a 0,35m obtém-se um total de 104 bicos

Tanque - 2000litros

Bomba - JP-100, com capacidade de 100 L/min a 540 rpm

Comando - a cabo / elétrico / eletro-eletrônico / eletrônico a cabo

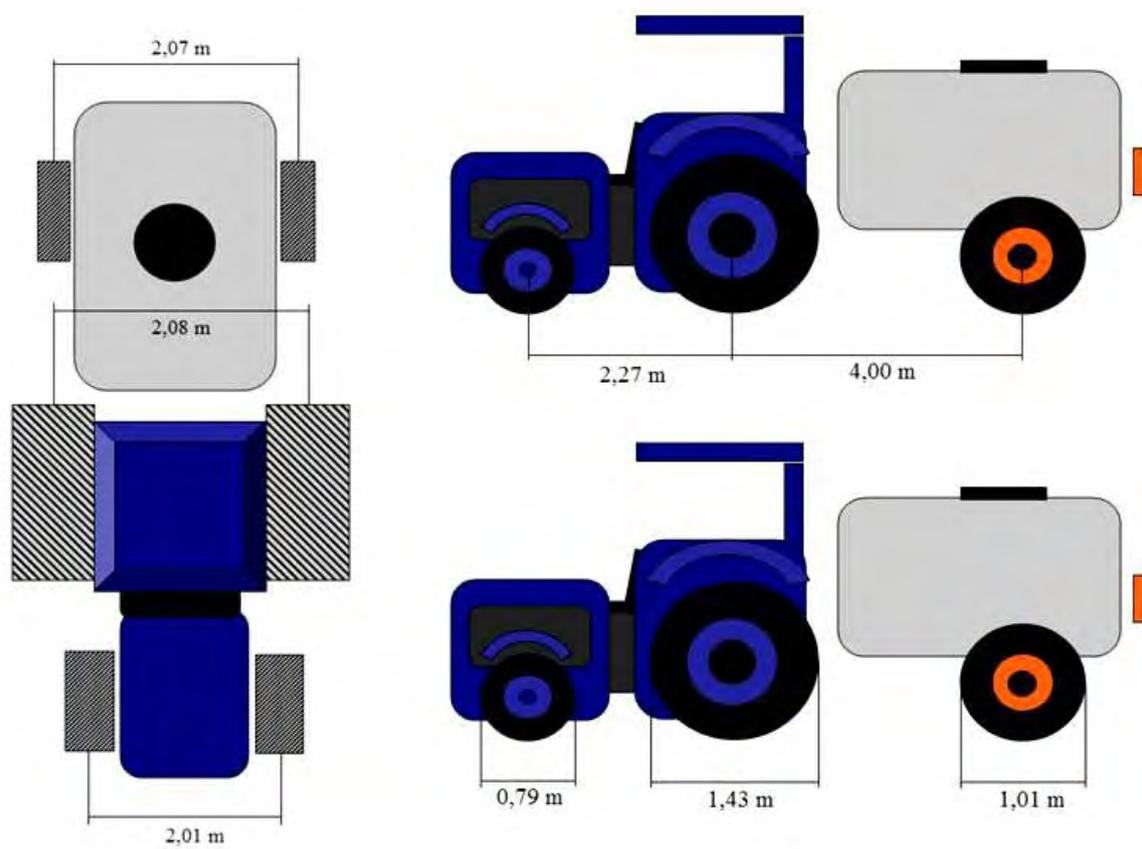
Agitação da calda - mecânica

Filtro - Modelo FVS-100, malha 60

Velocidade do trabalho recomendada - 12 km/h

Fonte: <http://www.jacto.com.br/produtos2.asp?id=43>

Anexo 2. Dimensões do conjunto trator/pulverizador.



Anexo 3. Especificações técnicas - Bicos AVI.

Volume de Pulverização - Espaçamento entre bicos - 50 cm

Bico	Pressão lbf/pol	Vazão L/min	Velocidade de trabalho, em km/h																																																																
			Volume de Pulverização em L/ha																																																																
			4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20																																																						
AVI 110-01 Malha 80	30	0,33	98	78	65	56	49	39	33	28	24	22	20	45	0,40	120	96	80	69	60	48	40	34	30	27	24	60	0,46	139	111	92	79	69	55	46	40	35	31	28	75	0,52	155	124	103	89	77	62	52	44	39	34	31	90	0,57	170	136	113	97	85	68	57	48	42	38	34		
	AVI 110-015 Malha 80	30	0,49	147	118	98	84	74	59	49	42	37	33	29	45	0,60	180	144	120	103	90	72	60	51	45	40	36	60	0,69	207	166	138	118	104	83	69	59	52	46	41	75	0,77	231	185	154	132	116	92	77	66	58	51	46	90	0,85	255	204	170	146	128	102	85	73	64	57	51	
		AVI 110-02 Malha 50	30	0,66	198	159	132	113	99	79	66	57	50	44	40	45	0,80	240	192	160	137	120	96	80	69	60	53	48	60	0,91	273	218	182	156	137	109	91	78	68	61	55	75	1,02	306	245	204	175	153	122	102	87	77	68	61	90	1,13	339	271	226	194	170	136	113	97	85	75	68
			AVI 110-025 Malha 50	30	0,82	246	197	164	141	123	98	82	70	62	55	49	45	1,00	300	240	200	171	150	120	100	86	75	67	60	60	1,16	348	278	232	199	174	139	116	99	87	77	70	75	1,30	390	312	260	223	195	156	130	111	98	87	78	90	1,42	426	341	284	243	213	170	142	122	107	95
AVI 110-03 Malha 50				30	0,98	294	235	196	168	147	118	98	84	74	65	59	45	1,20	360	288	240	206	180	144	120	103	90	80	72	60	1,39	417	334	278	238	209	167	139	119	104	93	83	75	1,55	465	372	310	266	233	186	155	133	116	103	93	90	1,70	510	408	340	291	255	204	170	146	128	113
	AVI 110-04 Malha 30			30	1,31	393	314	262	225	197	157	131	112	98	87	79	45	1,60	480	384	320	274	240	192	160	137	120	107	96	60	1,85	555	444	370	317	278	222	185	159	139	123	111	75	2,07	621	497	414	355	311	248	207	177	155	138	124	90	2,27	681	545	454	389	341	272	227	195	170	151
		AVI 110-05 Malha 50		30	1,63	489	391	326	279	245	196	163	140	122	109	98	45	2,00	600	480	400	343	300	240	200	171	150	133	120	60	2,30	690	552	460	394	345	276	230	197	173	153	138	75	2,58	774	619	516	442	387	310	258	221	194	172	155	90	2,83	849	679	566	485	425	340	283	243	212	189
			AVI 110-06 Malha 50	30	2,04	612	490	408	350	306	245	204	175	153	136	122	45	2,40	720	576	480	411	360	288	240	206	180	160	144	60	2,88	864	691	576	494	432	346	288	247	216	192	173	75	3,22	966	773	644	552	483	386	322	276	242	215	193	90	3,53	1059	847	706	605	530	424	353	303	265	235
AVI 110-08 Malha 50				30	2,61	784	627	523	448	392	314	261	224	196	174	157	45	3,20	960	768	640	549	480	384	320	274	240	213	192	60	3,70	1109	887	739	633	554	443	370	317	277	246	222	75	4,13	1239	991	826	708	620	496	413	354	310	275	248	90	4,53	1358	1086	905	776	679	543	453	388	339	302
	AVI 110-10 Malha 50			30	3,27	980	784	653	560	490	392	327	280	245	218	196	45	4,00	1200	960	800	686	600	480	400	343	300	267	240	60	4,62	1386	1109	924	792	693	554	462	396	346	308	277	75	5,16	1549	1239	1033	885	775	620	516	443	387	344	310	90	5,66	1697	1358	1131	970	849	679	566	485	424	377



**DESMONTÁVEL
PARA FÁCIL
LIMPEZA**

Diâmetro de Gotas (DMV) - em microns

Pressão lbf/pol	Bicos															
	110-01	110-015	110-02	110-025	110-03	110-04	110-05	110-06	110-08	110-10						
30	-	785	631	758	641	747	632	655	533	687						
45	501	618	482	641	498	587	571	560	450	580						
60	431	574	411	535	438	551	505	520	419	504						
75	329	472	370	459	406	471	459	449	391	490						

% de Gotas menores que 100 microns (Suscetível a deriva)

Pressão lbf/pol	Bicos															
	110-01	110-015	110-02	110-025	110-03	110-04	110-05	110-06	110-08	110-10						
30	0,7	1,5	0,6	1,7	0,7	1,7	2,1	2,3	2,1							
45	3,4	1,8	3,7	1,6	3,3	2,0	3,4	4,1	2,0	2,9						
60	5,4	3,1	5,1	3,2	5,4	2,6	4,9	4,7	4,1	3,3						
75	8,9	4,8	6,9	4,1	6,0	3,6	6,4	3,9	4,4	3,9						

Especificações dos bicos AVI para pedidos

Cor do Bico	Laranja	Verde	Amarelo	Lilás	Azul	Vermelho	Marron	Cinza	Branco	Preto
Código	AVI 110-01	AVI 110-015	AVI 110-02	AVI 110-025	AVI 110-03	AVI 110-04	AVI 110-05	AVI 110-06	AVI 110-08	AVI 110-10
RG	377796	054114	054122	054130	054148	054155	054163	054171	377804	377812

Máquinas Agrícolas Jacto S.A.
Fone: (14) 3405 2100
www.jacto.com.br
vendas@jacto.com.br

Para uso de engate rápido, requer uma capa especial (porca-trava preta), RG: 535492.

A JACTO se reserva o direito de introduzir modificações em seus produtos sem prévio aviso. 07/2002.

Fonte: <http://www.jacto.com.br/produtos2.asp?id=80>