

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

**MÉTODOS PARA ESTIMAR PERDAS EM PULVERIZAÇÕES DE
HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA**

AUGUSTO GUERREIRO FONTOURA COSTA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia -
Área de Concentração em Proteção de Plantas.

BOTUCATU - SP

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

**MÉTODOS PARA ESTIMAR PERDAS EM PULVERIZAÇÕES
DE HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA**

AUGUSTO GUERREIRO FONTOURA COSTA

Orientador: Prof. Dr. **CARLOS GILBERTO RAETANO**

Co-orientador: Prof. Dr. **EDIVALDO DOMINGUES VELINI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia -
Área de Concentração em Proteção de Plantas.

BOTUCATU - SP

Ao meu pai,

Sergio Fontoura Costa (*in memoriam*),

pelo amor e ensinamentos,

dedico.

À minha mãe,

Maria Aparecida Guerreiro Costa,

meus irmãos,

Rodrigo G. F. Costa e Renata Maria G. F. Costa e

minha namorada,

Ariane Karla de Souza,

pelo amor, carinho, apoio e compreensão,

ofereço.

Agradecimentos

À Deus por minha vida e esta nova conquista.

Aos professores Dr. Carlos G. Raetano e Dr. Edivaldo D. Velini pelas orientações, ensinamentos, apoio e paciência em todo o transcorrer do trabalho.

À todas as pessoas que auxiliaram nos árduos trabalhos desenvolvidos em campo e laboratório, principalmente aos pós-graduandos Eduardo Negrisoli, Gustavo R. Tofoli, Tiago M. Corrêa, Fábio Venegas, Cléber D. G. Maciel, Anderson L. Cavenaghi, Marcelo A. Terra; Neumárcio V. Costa e João Renato V. da Silva; aos funcionários Beto, S. Armando, Dorival, Guilherme e Danilo; aos alunos de graduação estagiários do Depto. de Produção Vegetal e aos funcionários da Fazenda Experimental Lageado.

Aos pesquisadores Dr. Luiz A. Palladini e Dr. Hamilton H. Ramos pelas enriquecedoras sugestões como membros da banca examinadora.

Ao professor Dr. Kléber P. Lanças por autorizar o uso da área didática do Departamento de Engenharia Rural para a realização do ensaio.

Ao pesquisador Dr. Eduardo A. Drolhe da Costa pela disponibilidade e valiosas sugestões.

Ao professor Dr. Carlos F. Wilcken pelo apoio como coordenador do curso de Proteção de Plantas.

Ao professor Dr. Dagoberto Martins pelo apoio e incentivo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para execução e desenvolvimento do trabalho, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
5.1. Alvos coletores e traçadores.....	14
5.2. Aplicações dos traçadores.....	18
5.3. Coleta dos alvos.....	21
5.4. Precisão dos métodos analíticos.....	21
5.5. Lavagem dos alvos e extração dos traçadores.....	22
5.6. Quantificação e análise das amostras.....	23
5.7. Avaliação de contaminações.....	26
5.8. Análise estatística.....	26
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6.1. Aplicações dos traçadores.....	29
6.1.1. Condições meteorológicas.....	29
6.1.2. Concentração das caldas.....	30
6.2. Precisão dos métodos analíticos.....	30
6.3. Avaliação de contaminações.....	32
6.4. Avaliação dos depósitos nos coletores de deposição.....	32
6.5. Avaliação dos depósitos nos coletores de deriva.....	43
7. CONCLUSÕES.....	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e comparar métodos para estimar perdas em aplicações de herbicidas em pré-emergência, utilizando como traçadores o herbicida tebuthiuron e o corante Azul Brilhante, e diferentes alvos artificiais para coleta de deriva e deposição. Para tanto, foram realizadas duas aplicações em pré-emergência, simultâneas, com pulverizadores de barra equipados com pontas de pulverização modelo SF 11002 espaçadas a 0,5 m e a 0,5 m de altura em relação ao solo. Uma aplicação foi realizada com o traçador herbicida tebuthiuron na formulação suspensão concentrada (Combine 500 SC) e a outra com o traçador Azul Brilhante (FD&C-1), nas concentrações de 0,73 e 0,60% (p.v⁻¹) e com volumes de calda de 167,75 e 163,75 L.ha⁻¹, respectivamente. Para estimar as perdas utilizaram-se bandejas de isopor contendo 100 g de solo espalhados em sua superfície (coletores de deposição com área útil de 0,044288 m²), em 100 repetições, distribuídas dentro da área de aplicação e; fios de náilon de 2 mm de diâmetro (coletores de deriva), fixados na posição vertical de 0 a 5 m de altura em hastes de ferro de 1,59 cm de diâmetro e 6 m de comprimento que foram colocados fora da área de aplicação, nos 4 lados adjacentes (nas posições NO, SO, SE e NE), enfileirados e fixados à distâncias de 1, 2, 4, 8 e 16 m da área

aplicada. As alturas dos coletores de deriva foram de 0 a 1, 1 a 2, 2 a 3, 3 a 4 e 4 a 5 m, totalizando 4 repetições para cada distância, em cada área adjacente. Após a aplicação e secagem da calda aplicada, o solo e os fios de náilon retirados dos coletores foram guardados em sacos de polietileno. Para a extração dos traçadores contido no solo oriundo dos coletores de deposição, foram utilizadas 2 porções de 10 g de cada repetição, sendo uma lavada com 50 mL de água destilada, para extrair o Azul Brilhante e, outra com 50 mL de metanol para extrair o tebuthiuron. As seções de fios de náilon de cada repetição foram lavadas com 40 mL de água destilada para extração de ambos traçadores. As soluções de lavagem obtidas foram analisadas em espectrofotometria e em cromatografia líquida de alta resolução, para quantificação do Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente. Os valores detectados de deriva foram analisados no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 x 5 x 5. O modelo de Gompertz proporcionou altos coeficientes de determinação para os dados de frequência acumulada das porcentagens de depósitos dos traçadores, em relação ao total aplicado (0,991684 para Azul Brilhante e 0,983376 para tebuthiuron). As perdas determinadas em aplicações de herbicidas em pré-emergência foram de 27,4% e 31,2%, para os traçadores Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente, os quais foram obtidas pela diferença do total dos traçadores aplicados e a quantidade coletada no coletor de deposição (sedimentação). Traçadores com potenciais de deriva similares podem gerar depósitos diferentes em alvos destinados à quantificação desse processo.

2. SUMMARY

EVALUATION OF METHODS FOR SPRAYING DRIFT ESTIMATION IN PRE EMERGENCE HERBICIDES APPLICATIONS. Botucatu, 2003. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: AUGUSTO GUERREIRO FONTOURA COSTA

Adviser: CARLOS GILBERTO RAETANO

Co-adviser: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

The aim of this research was to develop and compare methods to estimate herbicide spraying losses in pre emergence application. Two compounds were used as tracer (brilliant blue FD&C-1 and the tebuthiuron herbicide), and two different artificial targets to collect the drift and deposition. Two pre emergence simultaneous sprays were released from two sprayer booms with nozzles model SF 11002 (Jacto S.A.) distant 0.5 m and 0.5 m height. One of the sprayer applied tebuthiuron herbicide and the other brilliant blue. The

concentrations used were 0.73% and 0.60% (w/v) the volumes rates were 167.75 L.ha⁻¹ for the tebuthiuron sprayer and 163.75 L.ha⁻¹ for the brilliant blue. It was used to estimate the drift loss deposition collectors made of foam (trays with 100 g of soil spread on its superface with 0.044288 m²). A hundred trays were distributed in the application area resulting in 100 repetitions. Drift collectors (nylon threads of 2 mm diameter vertically fixed between 0-5 m height on iron stens with 1.59 cm diameter and 6 m length) were placed around the application area. The drift collectors were placed in all directions (NW, SW, SE and NE) at 1, 2, 4, 8 and 16 m distant and 0-1, 1-2, 2-3, 3-4 and 4-5 m height com 4 repetitions for each distance. After the sprays the soil and the nylon threads were put in a plastic bag. The analysis of the tracers in the soil samples were realized with 50 mL of destilated water to extract the brilliant blue and 50 mL of methyl alcohol to extract the tebuthiuron. The nylon threads were washed with 40 mL destilated water for extract both tracers. The wash solutions were analysed with spectrophotometer to quantify the brilliant blue and high-performance liquid chromatography (HPLC) to quantify the herbicide tebuthiuron. The drift detected values were analyzed in fatorial design 4x5x5. Gompertz model provided the highest determinations coefficients for the accumulated frequency of the deposits percentage data in relation to the total applied (0.991684 to brilliant blue and 0.983376 to tebuthiuron). The estimated losses were 27.4% to brilliant blue and 31.2% to tebuthiuron. The losses were calculeted using the difference between the total volume applied and the quantily deposited on the collectors. Tracers with similar drift potentials can generate different deposits in targets destined to quantify the process.

Keywords: drift, losses estimative, tracers, herbicide, pre emergence.

3. INTRODUÇÃO

Uma planta é conceituada como daninha quando sua presença no ambiente interfere com os interesses do homem. De modo geral, planta daninha pode ser definida como toda e qualquer planta que ocorre em local onde não é desejada. Entretanto, é na agricultura que essas plantas provocam maiores danos econômicos, com redução em média de 30 a 40% da produção agrícola mundial (Bringhenti, 2001). Além dos prejuízos diretos, a presença das plantas daninhas também reduz a eficiência agrícola, depreciando a qualidade do produto obtido e encarecendo as práticas agrícolas, servindo também de hospedeiras para pragas e doenças. As relações do grau de interferência entre as culturas e as comunidades infestantes no Brasil foram esquematizadas por Pitelli (1985) baseando-se e modificando os esquemas propostos por Bleasdale (1960) e Blanco (1972).

Dentre os métodos de controle de plantas daninhas, o controle químico com o uso de herbicidas tem sido o mais utilizado, em virtude do elevado custo e escassez da mão-de-obra, das extensivas áreas de plantio e da alta eficiência proporcionada por esses agrotóxicos. Com isso, muitos dos sistemas de produção agrícola utilizam os herbicidas como um fator essencial para obtenção de produtos com qualidade e em quantidades satisfatórias.

Sabe-se que durante a pulverização de um herbicida e de outros agrotóxicos, parte da quantidade aplicada não atinge o alvo desejado. Dessa forma, o aumento no custo desses produtos, da mão de obra necessária, energia e a preocupação cada vez mais crescente em relação à poluição ambiental têm realçado a necessidade de uma tecnologia mais acurada para colocação do produto químico no alvo.

Apesar de existirem outras propostas alternativas, especificamente para os herbicidas, a aplicação hidráulica continua sendo o mais freqüente método empregado. Sendo assim, esses produtos estão sujeitos à deriva, pois sempre que um líquido é pulverizado ocorre esse fenômeno, em maior ou menor proporção.

A deriva ou o desvio da trajetória de partículas ou gotículas formadas durante a pulverização que não atingem o alvo, constitui uma das principais causas de perdas de agrotóxicos acarretando não só prejuízos financeiros ao produtor e ao ambiente, mas também podendo ocasionar danos às lavouras próximas e à saúde humana. Foloni (2000), reporta que esse problema pode ser minimizado utilizando-se técnicas e métodos de aplicação adequados ou mais apropriados, limpeza e regulação do equipamento, aplicação em condições climáticas adequadas e/ou uso de formulação apropriada.

Os mecanismos pelo qual as gotas se perdem, em uma pulverização gerada em um veículo em movimento, são sempre complexos e sujeitos a contínuos estudos. No entanto, são poucas as pesquisas nesse sentido, principalmente em relação aos herbicidas aplicados em pré-emergência.

Assim, o objetivo desse trabalho foi desenvolver e comparar métodos para estimar as perdas nas aplicações de herbicidas em pré-emergência, utilizando como traçadores o herbicida tebuthiuron e o corante Azul Brilhante, coletando-se deriva e deposição em diferentes alvos artificiais.

4. REVISÃO DE LITERATURA

No Brasil, o consumo de herbicidas foi de 187.875 toneladas de produtos formulados em 2001. Em quantidade de ingrediente ativo representou 88.359 toneladas, o que totalizou mais de 1 bilhão de dólares em vendas (SINDAG, 2002). Esses valores equivalem, respectivamente, a 57,2; 58,3 e 50,0% em relação à todos agrotóxicos comercializados nesse ano. O percentual de consumo dessa classe de produto tem-se mantido nos últimos anos.

O herbicida tebuthiuron, pertencente ao grupo químico derivados de uréia, tem registro no Brasil para as culturas de cana-de-açúcar e pastagem, sendo formulado em pó-molhável, suspensão concentrada e granulado. As duas primeiras formulações são utilizadas na cultura da cana-de-açúcar, em pré-emergência das plantas infestantes; os granulados, empregados em pastagens. Este herbicida controla plantas infestantes dicotiledôneas anuais, algumas gramíneas anuais e arbustos. Pode ser utilizado após o plantio ou corte da cana. São comuns as misturas em tanque com 2,4-D, diuron e outros herbicidas residuais registrados para a cultura, ampliando o espectro de ação no controle das plantas alvo (Miller et al., 1995 e Rodrigues & Almeida, 1998).

A perda de produto químico está relacionada intimamente com a deriva. Velloso et al. (1984), Matuo (1990) e Christofolletti (1999) já haviam conceituado deriva como tudo aquilo que não atinge o alvo durante a aplicação. Entretanto, Ozkan (2001) conceitua deriva como o movimento de um produto no ar, durante ou depois da aplicação, para um local diferente do planejado para a aplicação.

A deriva aerotransportada simplesmente pode ser um deslocamento de névoa pulverizada, a distâncias não superiores a 10 m do ponto de produção das gotas. Porém, as gotas menores podem se deslocar a milhares de metros e se depositar em locais não almejados. A deriva às vezes acontece até mesmo dias após a aplicação. Este tipo de deriva, normalmente chamada deriva de vapor, é comumente associado com a volatilização do produto, com o movimento subsequente para fora da área designada (Ozkan, 2001).

A perda de produto dentro da cultura (material que não é coletado pelas folhas e cai no solo) pode ser considerada como endoderiva, enquanto que as perdas para fora da área tratada podem ser considerada como exoderiva (Miller, 1993 e Christofolletti, 1999).

Threadgill & Smith (1975), relataram que as pesquisas vinham sendo concentradas em relação ao potencial de deriva de agrotóxicos em pulverizações agrícolas. Matthews (1999), também ressalta a preocupação mundial dos efeitos que a deriva pode provocar fora das áreas tratadas, cujo resultado tem sido a demanda por áreas de proteção (“buffer zones”) para cursos d’água e outras áreas sensíveis. Ultimamente vêm sendo desenvolvidos modelos matemáticos, simulados em computador, com o intuito de prever o comportamento das gotas em pulverizações agrícolas e a conseqüente deriva, considerando principalmente os fatores inerentes ao clima, às características operacionais e do produto formulado (Miller & Hadfield, 1989 e Mokeba et al., 1998).

Existem vários exemplos de herbicidas cuja deriva pode causar injúrias às mais diversas culturas agrícolas, mas os estudos com o 2,4-D são mais comuns. Yates et al. (1978) ressaltam a alta sensibilidade de cultivares de uva (*Vitis vinifera* L.) ao herbicida 2,4-D, além de relatos de outros herbicidas como dicamba, propanil, MSMA e picloram que causaram danos à outras culturas. Gazziero et al. (2000) e Uladag et al. (2000) também destacam os efeitos prejudiciais causados pela deriva de 2,4-D nos cultivos de algodão, uva e

hortaliças. No Estado do Paraná, devido ao acentuado número de registros de danos causados às culturas em áreas vizinhas, o uso desse herbicida foi proibido em 40 municípios.

Ozkan (2001) atribui vários motivos que tornam a deriva indesejável: a) resulta em uso ineficiente de equipamento de aplicação e tempo do operador; b) pode resultar em uma subdosagem do produto e conseqüentemente um controle ineficaz do problema fitossanitário que conduzem a aplicações adicionais, baixo rendimento e custos de produção mais altos; c) pode causar a necessidade do aumento da dosagem do produto para compensar a perda por deriva e assegurar o nível de controle desejado; d) perdas financeiras com ações na justiça por danos a culturas sensíveis adjacentes; e) contaminação não intencional de comestíveis por resíduos do agrotóxico que podem resultar em destruição obrigatória da colheita; f) pode contribuir para a poluição do ar e recursos de água e g) pode afetar a saúde e segurança do ser humano, dos rebanhos bovinos e outras criações.

Ainda, segundo Ozkan (2001), os muitos fatores que afetam a deriva podem ser agrupados em quatro categorias: a) características da pulverização; b) equipamentos e técnicas de aplicação; c) clima e d) cuidados na operação e habilidade do operador. Miller (1993), menciona que a porção da pulverização gerada pelo bico que sofre deriva, sob determinadas condições atmosféricas, depende da posição do pulverizador em relação ao alvo e das características do alvo para a coleta da pulverização. Para pulverizadores de barra, muitos dos parâmetros que influenciam a capacidade operacional, como volume de aplicação, velocidade do pulverizador e largura de barra, também poderão afetar a deriva.

Morton et. al. (1979) relatam que uma das vantagens da aplicação de tebuthiuron e outros herbicidas, em formulações para aplicação via sólida, é a ausência de deriva. Entretanto, Rodrigues & Almeida (1998) informam que tanto para as aplicações de tebuthiuron na forma sólida (grânulos) como na líquida (pulverizada) não se deve aplicar com ventos superiores a 10 km/h, para que seja assegurada a distribuição regular do produto no terreno e evitar deriva para outras áreas cultivadas.

Segundo Chaim et al. (1999), o processo mais empregado para estudar a dinâmica das pulverizações com agrotóxicos tem sido a análise das deposições, com a qual tem se tomado as decisões na escolha de técnicas de aplicação e equipamentos de pulverização. A análise da deposição dos agrotóxicos é baseada na recuperação e detecção das substâncias, da própria superfície das plantas, de alvos artificiais ou por equipamentos

específicos de amostragem. A marcação das caldas de pulverização antes da dispersão, com traçadores facilmente detectáveis, tem se tornado uma prática largamente empregada. O custo das análises, a disponibilidade de equipamento analítico e a precisão desejada para os resultados representam fatores importantes na escolha de um determinado traçador para realização dos ensaios. Alguns pesquisadores têm utilizado como traçador os próprios produtos fitossanitários, partículas fluorescentes como ZnCaS, produtos marcados, radioisótopos, corantes fluorescentes ou alimentícios.

As avaliações de depósitos e perdas por deriva, segundo Palladini (2000), são utilizadas nas pesquisas de pulverizações como instrumentos para desenvolver e melhorar as técnicas de aplicações dos agrotóxicos. Entretanto, ao fazer uso desses produtos para as determinações, os custos são altos e necessitam de equipamentos sofisticados para as análises e de pessoas treinadas para o trabalho. Desse modo, o uso de corantes como traçadores é muito atrativo pela facilidade de remoção, utilizando somente a água para a lavagem dos alvos coletores artificiais e folhas. O autor menciona um estudo no qual foi avaliada a eficiência desses produtos como traçadores, sendo comparados depósitos do traçador Brilhante Sulfoflavina com o agrotóxico captan, detectados por fluorimetria e cromatografia gasosa, respectivamente, em pulverizações de macieira com equipamento denominado “túnel de vento”. As diferenças constatadas entre os depósitos de ambos os produtos foram pequenas. Sendo assim, constatarem no corante uma alternativa útil e econômica para estudos de deposição nos experimentos com equipamentos de pulverizações.

Para estudar a deposição do herbicida tebuthiuron em uma aplicação em cana-de-açúcar ($1,15 \text{ kg de i.a.ha}^{-1}$), com volume de calda de 350 L.ha^{-1} e com um pulverizador Condor 600 munido de pontas de pulverização LD 11002, Cavenaghi et al. (2002) distribuíram 20 bandejas nas entrelinhas, com cada uma contendo 240 g de solo coletado na área de aplicação. As análises em cromatografia líquida indicaram uma média de deposição de 86,06%, variando de 58,38% a 117,31% da dose aplicada. Segundo os autores esses resultados estavam diretamente relacionados à realidade da aplicação, pois o alvo artificial correspondeu ao solo da área e o traçador ao herbicida aplicado. Apesar da irregularidade da dose depositada nas bandejas, o controle das plantas daninhas foi satisfatório.

Velini et al. (1995) quantificaram depósitos em pulverizações através da modificação da condutividade elétrica da solução, para o qual utilizaram os sais NaCl e KCl. O equipamento utilizado foi o condutivímetro. Nogueira et al. (1996), utilizaram esse método para um estudo de uniformidade de deposição e perdas na aplicação com pulverizador de herbicidas em ferrovias, no qual utilizaram o NaCl (1%) na calda de pulverização. As perdas ocorridas variaram entre 13,28 e 32,27% e foram estimadas através de uma relação entre a quantidade de NaCl aplicada e a recolhida nos coletores, posicionados ao longo da faixa de aplicação. Tais perdas foram creditadas principalmente à evaporação das gotas, devido às condições climáticas no momento das aplicações.

Ao avaliar a deposição da calda de pulverização em *Brachiaria plantaginea* e no solo, em função da densidade populacional dessas plantas, volume e ângulo de aplicação, Tomazela (1997) também utilizou o NaCl (5%) e a condutividade da água de lavagem dos alvos, para determinação dos depósitos. Neste estudo, o solo foi simulado por meio de placas de fórmica circulares, com 0,22 m de diâmetro. Foi constatado maior porcentagem de depósito nas plantas quando houve a redução do volume de calda pulverizada por hectare, inclinação do bico de pulverização, independente do ângulo e direção e, com o incremento da densidade populacional de *Brachiaria. plantaginea*.

No desenvolvimento de metodologia para avaliação de deposição em pulverizações, com o uso de substâncias traçadoras, Palladini (2000) constatou que a mistura do pigmento Saturn Yellow suspenso em lignosulfonatos com o corante Azul Brilhante proporcionou uma solução traçadora adequada para avaliações qualitativa e quantitativa dos depósitos obtidos nas pulverizações a campo, com a vantagem de ser estável à luz solar por até oito horas após a aplicação, de não ser absorvida pelas folhas de citros e de não alterar a tensão superficial da água. De acordo com Maciel (2001), o corante Azul Brilhante apresenta alta solubilidade em água, não é volátil, não altera a tensão superficial e apresenta características aniônicas de modo similar à vários herbicidas aplicados em pré-emergência.

Silva (2000) utilizou o corante alimetício Azul Brilhante como traçador, simulando um herbicida, para estudos de deposição em solo e em plantas de *Cyperus rotundus*, em diferentes condições operacionais (modelo de ponta de pulverização, velocidade de aplicação, ângulo de incidência do jato de pulverização e densidade de plantas). Em todos esses ensaios, a estimativa de deriva foi obtida pela diferença entre a quantidade total de

solução aplicada e a quantidade coletada nos alvos, sendo a superfície do solo representada por placas de acrílico, com superfície plana de 300 cm² e 0,5 cm de espessura. Foi observado que ao simular o solo sem cobertura (desprovido de plantas), os depósitos máximos de corante e solução de pulverização, associados a menor deriva, ocorreram quando o bico TeeJet XR110.02VS foi inclinado em 45°, 60° ou 75 ° em relação à vertical, no sentido do movimento do pulverizador.

A maior exigência para determinar a deriva é capturar e quantificar o volume de líquido pulverizado, que é transportado pelo ar, na passagem de pequenas gotas por uma estrutura definida, à uma dada distância (no sentido de deslocamento do vento) do sistema de geração de pulverização. Em pulverizadores terrestres, atribui-se a deriva à geração de gotas com diâmetro inferior a 100µm de diâmetro. A efetiva captura dessas gotas com uma eficiência conhecida, é um dos importantes elementos na maioria dos registros de quantificação de deriva. Dentre as técnicas de amostragem de deriva, podem ser utilizados os seguintes tipos de coletores (amostradores) de deriva: volumétricos de ar, rotativos, superfícies passivas, sistemas baseados em laser e plantas indicadoras (Miller, 1993). Dentre os exemplos de superfícies coletoras passivas, relatadas pelo autor, a linha de polietileno, com 2,0 mm de espessura, possui as seguintes características: área de coleta definida, amostragem contínua (pode ser seccionada), razoável eficiência de coleta e fácil manuseio em condições de campo.

Para determinar a deriva em estudo comparativo entre pulverizadores de barra, com e sem assistência de ar, para aplicação foliar na cultura da soja no estádio R6, Bauer & Raetano (2000) utilizaram limpadores convencionais de cachimbo, em alturas que variaram entre 0,25 e 6 m e; placas de fórmica (0,10 x 0,10 m) à 10 cm do solo. Para fixar esses coletores foram utilizadas hastes de bambu fixadas à distâncias de 3, 6, 9 e 12 m da ponta da barra de pulverização. Houve uma distribuição desigual das hastes na área experimental, em função da predominância da direção e sentido do vento. Os traçadores utilizados foram os sais NaCl e KCl. As aplicações foram realizadas à 6 km.h⁻¹ com um consumo de calda de 100 L.ha⁻¹. Foi constatada redução significativa da deriva com o uso da assistência de ar junto a barra de pulverização, em relação ao equipamento sem assistência de ar, em mesmas condições meteorológicas.

Harris et. al. (1996) utilizaram quadrados de papel com área de 225 cm², como coletores para determinação de deriva do herbicida pendimethalin, quando aplicado em pulverizadores terrestres em pré-emergência. Estes coletores foram locados de 10 a 100 m de distância da área de aplicação, ao nível do solo. Não foi constatada deriva nos pontos de coleta, sendo a quantificação realizada por cromatografia gasosa.

Pelo exposto verifica-se a existência de poucas informações na literatura sobre metodologia para estimativa de perdas em pulverizações de herbicidas em pré-emergência, justificando a realização do presente trabalho.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em área didática do Departamento de Engenharia Rural e no Laboratório de Matologia localizado no Departamento de Produção Vegetal, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Botucatu.

A área utilizada para a aplicação possuía cerca de um hectare, cujo solo (Latossolo Vermelho Distrófico de textura média), encontrava-se desprovido de cobertura vegetal permitindo, assim, que a aplicação fosse realizada em pré-emergência.

5.1. Alvos coletores e traçadores

Os traçadores utilizados para estimar as perdas nas aplicações foram o herbicida tebuthiuron, na formulação suspensão concentrada (produto comercial Combine 500 SC) e o corante alimentício Azul Brilhante (FD&C nº 1).

As perdas ocorridas nas aplicações dos traçadores foram determinadas através de coletores de deposição (sedimentação) e coletores passivos de deriva (aerotransportada).

Os coletores de deposição foram constituídos por bandejas de isopor modelo M7, com dimensões de 0,173 x 0,256 m (0,044288 m²). A superfície do fundo de cada bandeja foi totalmente preenchida com 100 g de solo, coletado superficialmente na área do ensaio, o qual foi previamente seco em casa-de-vegetação (Figura 1). Esses coletores foram distribuídos aleatoriamente, em número de 100, na área de aplicação (Figura 2). Entretanto, na 2ª faixa de aplicação optou-se por não colocar esses coletores, uma vez que somente metade da barra estaria aplicando nessa faixa. Para delimitar a área efetiva de aplicação, foram utilizadas estacas brancas.

Para a estimativa da deriva aerotransportada foram utilizados como alvos artificiais (coletores): fios de náilon com 2 mm de diâmetro, que são geralmente utilizados em roçadoras motorizadas manuais. Estes fios foram esticados e fixados paralelamente ao longo de tubos de ferro de 6 m de comprimento e 1,59 cm de diâmetro. Os fios foram fixados com presilhas de plástico em parafusos de 100 mm de comprimento, presos perpendicularmente aos tubos por meio de porcas de 0,63 cm e abraçadeiras hidráulicas de 1,27 cm. Cada tubo continha dois fios com 5 m úteis cada, fixados em intervalos de 1m. A Figura 3 mostra a fixação dos fios nos suportes.

Figura 1. Coletor de deposição (sedimentação).





Figura 2. Distribuição dos coletores de deposição na área de aplicação.

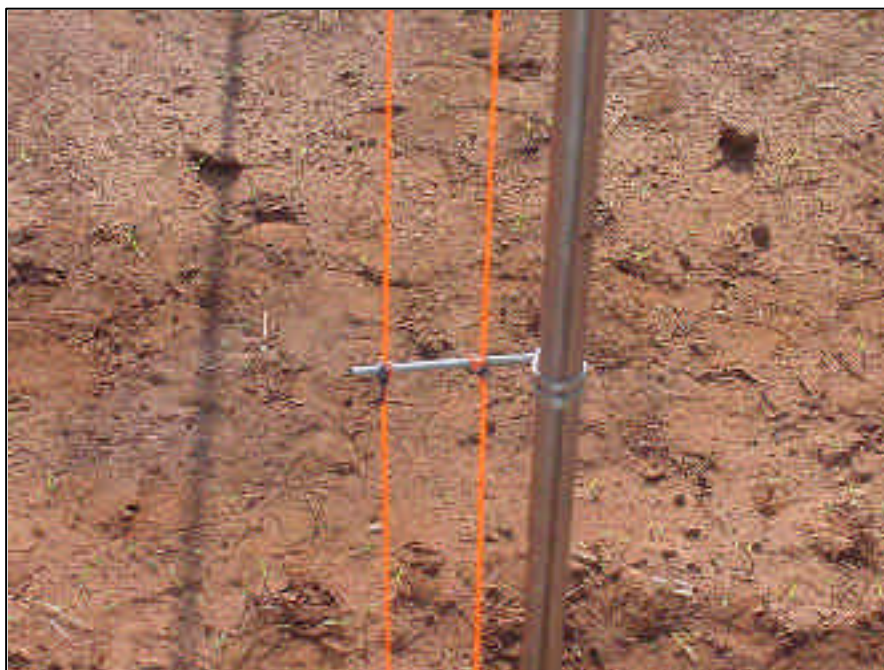


Figura 3. Detalhe do modo de fixação dos fios de náilon em suporte metálico (coletores de deriva).

Do total da área do experimento, foi selecionada a porção central para realização da aplicação (3.400 m²), resultando em uma área cercada por 4 áreas adjacentes (lados), cujo espaços foram utilizados para fixação dos coletores de deriva.

Os coletores de deriva foram enfileirados à 1, 2, 4, 8 e 16 m de distância da faixa de aplicação, com 4 repetições para cada distância, em cada uma das quatro áreas adjacentes à área de aplicação. Com isso, em dois lados da área os coletores de deriva foram enfileirados perpendicularmente e, nos outros dois, no mesmo sentido de deslocamento dos pulverizadores. Cada tubo foi fixado verticalmente enterrando-o 1 m no solo, deixando somente a porção com fios acima da superfície. Em cada lado, as distâncias entre as fileiras de tubos foi determinada em função do espaço disponível, em função dos lados não terem o mesmo comprimento, o que não possibilitou que as fileiras estivessem separadas por uma mesma distância, dentro de cada área. A visualização parcial desses coletores distribuídos na área do ensaio está apresentada na Figura 4.



Figura 4. Distribuição dos coletores para estimativa de deriva aerotransportada.

5.2. Aplicações dos traçadores

Para as aplicações foram utilizados dois pulverizadores de barra fabricados pela Máquinas Agrícolas Jacto S. A., modelo Condor M-12, dotado de barras de pulverização de 12 m, tanque com capacidade de 600 L e 24 bicos de pulverização cada, espaçados 0,50 m entre si. Os dois tratores utilizados foram da Massey Ferguson modelo 275. O modelo de ponta de pulverização utilizado foi o SF 11002, de jato plano, também comercializado pela Jacto S.A..

Em um dos pulverizadores foi utilizado o herbicida tebuthiuron, na formulação suspensão concentrada (Combine 500 SC) e no outro, o traçador Azul Brilhante (FD&C nº 1), sendo as duas aplicações realizadas na mesma área e com os mesmos coletores.

Na aplicação da calda com o herbicida tebuthiuron a média de vazão das pontas de pulverização foi de $0,838 \text{ L.min}^{-1}$, a qual proporcionou o volume de aplicação de $167,75 \text{ L.ha}^{-1}$, enquanto para a aplicação da calda com o corante Azul Brilhante esses valores corresponderam, respectivamente, a $0,818 \text{ L.min}^{-1}$ e $163,75 \text{ L.ha}^{-1}$. A pressão de trabalho e a velocidade de deslocamento foram respectivamente de 316,5 kPa e 6 km.h^{-1} , em ambas as pulverizações. A altura das barras em relação ao solo foi de 0,50 m.

Para preparar a calda com herbicida diluiu-se 2,9 L de produto comercial (1,45 kg de ingrediente ativo) em um balde de 20 L, sendo este volume completado para 200 L de calda no tanque do pulverizador, com a bomba acionada para promover por agitação a homogeneização da calda de pulverização, o que resultou em uma concentração do herbicida de 0,73% (p/v). Este mesmo procedimento foi utilizado no preparo da calda com o Azul Brilhante, empregando-se, neste caso, 1,2 kg do corante, resultando em uma concentração de 0,60% (p/v).

As aplicações foram realizadas simultaneamente, em cinco faixas adjacentes, as quais totalizaram 3.400 m^2 , sendo a segunda faixa aplicada com metade da barra de pulverização, enquanto que nas demais utilizou-se a barra inteira. O pulverizador contendo a calda com o herbicida deu início à aplicação. No momento em que este começou a aplicação da segunda faixa, iniciou-se a aplicação do traçador Azul Brilhante, seguindo o caminho do primeiro pulverizador. Desse modo, os pulverizadores ficaram distanciados por uma faixa aplicada, para que fosse possível a realização das manobras ao final de cada faixa (Figura 5).



Figura 5. Aplicação simultânea dos traçadores.

O tempo total gasto para as duas aplicações foi de 18 min, para as cinco faixas, tendo início às 12:10 h e o término às 12:28 h.

No transcorrer das aplicações, a cada intervalo de 3 minutos, foram registrados os seguintes dados meteorológicos: velocidade e direção do vento à 2,0 m de altura do solo, umidade relativa e temperatura do ar. Para tanto utilizou-se anemômetro e termohigrômetro digitais, biruta e bússola. Os mesmos parâmetros climáticos também foram fornecidos pelo Departamento de Recursos Naturais pertencente à F.C.A., os quais foram coletados em uma estação meteorológica localizada próxima à área de aplicação.

Para cada lado da área de aplicação onde estavam instalados os coletores de deriva, determinou-se a posição em relação aos pontos cardeais, também com auxílio da bússola, o que pode ser observado no croqui da área (Figura 6), onde também estão representados os coletores de deriva com as respectivas distâncias em relação à área de aplicação e o sentido de deslocamento dos pulverizadores durante a aplicação (1^a, 2^a, 3^a, 4^a e 5^a faixa).

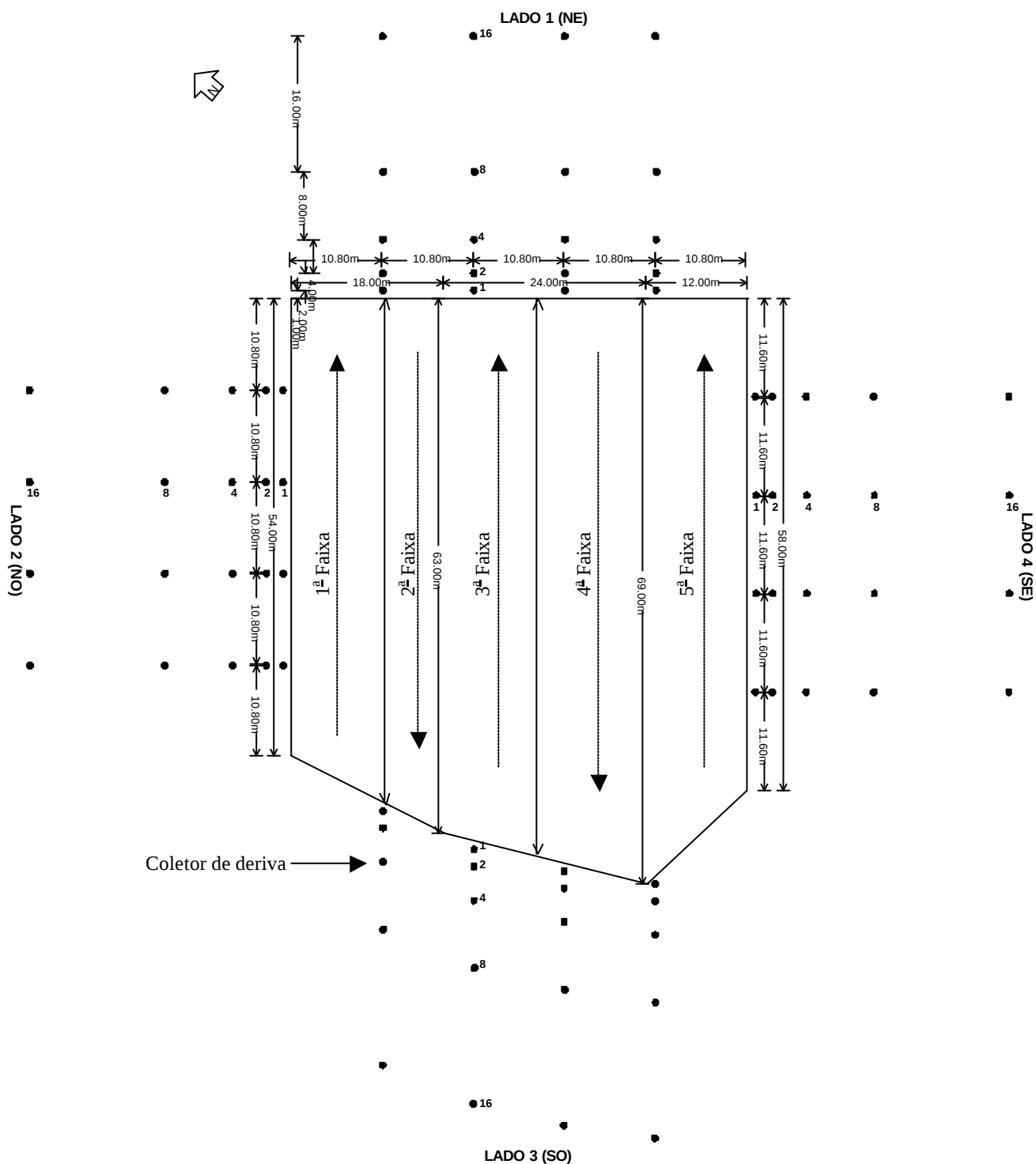


Figura 6. Croqui da área experimental com a posição dos coletores em relação aos pontos cardeais, suas respectivas distâncias da área de aplicação e o sentido de deslocamento dos pulverizadores nas aplicações.

Após o término da aplicação, foram retiradas amostras das caldas, coletando-se o líquido pulverizado nas pontas de pulverização, para que posteriormente fosse determinada a concentração exata das soluções aplicadas.

5.3. Coleta dos alvos

Os coletores de deriva e deposição foram os mesmos para as aplicações do herbicida e do corante Azul Brilhante, sendo que aos 30 minutos após a aplicação (tempo suficiente para secagem da calda capturada pelos coletores), iniciou-se a coleta e acondicionamento das amostras, para análises posteriores em laboratório.

Os fios de náilon foram seccionados na região próxima à fixação no tubo (de 1 em 1 m), com auxílio de alicates e pinças, obtendo-se assim, cinco intervalos de alturas de coleta em relação ao solo: 0 a 1, 1 a 2, 2 a 3, 3 a 4 e 4 a 5 m. Cada secção de fio foi acondicionada em saco de polietileno com a respectiva identificação de lado (em relação aos pontos cardeais), altura e distância em relação à área aplicada.

As amostras de solo dos coletores de deposição também foram acondicionadas em sacos de polietileno, tomando-se o cuidado para que o contato entre o solo e as bordas (paredes) da bandeja fosse mínimo.

Posteriormente, ainda no campo, os sacos de polietileno, contendo os fios e solo, foram acondicionados em caixas de isopor sendo, em seguida, armazenadas em sala escura mantida a temperatura de 20 ± 2 °C, até que fosse possível a extração dos traçadores em laboratório.

5.4. Precisão dos métodos analíticos

Para verificar a porcentagem de recuperação dos traçadores nos métodos de lavagem e extração a serem utilizados, especificamente do solo da área de aplicação, procedeu-se contaminações desse solo (10 g), com 100 µL de soluções padrões contendo o herbicida e o corante Azul Brilhante, respectivamente, nas seguintes concentrações: 1.000 e 1.250, 2.000 e 2.500, 3.000 e 3.750, 4.000 e 5.000, 5.000 e 6.250 e, 6.000 e 7.500 mg.L⁻¹, com 5 repetições para cada solução de contaminação e para cada traçador. A medição desse volume e a contaminação foram realizados com auxílio de uma

microseringa de cromatografia (250 µL). O método para lavagem e extração de tebuthiuron do solo foi fornecido por Velini et al. (2002)¹, o qual se encontrava em desenvolvimento.

Em relação aos coletores de deriva, para verificar a precisão do método de lavagem e extração, utilizou-se 3 µL de calda amostrada de cada traçador para contaminar 1 m de um mesmo fio de náilon, em 6 repetições. A medição do volume e a contaminação foram realizados com uma seringa de cromatografia de 5 µL.

5.5. Lavagem dos alvos e extração dos traçadores

Na extração do tebuthiuron, para cada amostra obtida nos coletores de deposição, agitou-se o solo dentro do próprio saco de polietileno e retirou-se uma alíquota de 10 g, utilizando-se balança analítica.

Cada porção de solo foi colocada em um tubo de ensaio, ao qual foi adicionado 50 ml de metanol, com auxílio de dispensador volumétrico devidamente calibrado. Na sequência, estas amostras foram agitadas, com os tubos na posição vertical, em uma mesa agitadora para análise de solo, por 2 horas à 230 rpm, sendo posteriormente colocadas durante 15 minutos em ultrassom. Para finalizar o processo de lavagem do solo, as amostras foram deixadas em descanso por 24 horas, para que houvesse a decantação das partículas de solo.

Após esse período de repouso, parte do sobrenadante das amostras foi retirado com auxílio de uma pipeta automática de 10 ml, o qual foi filtrado em seringas de polietileno com capacidade de 3,0 ml, equipadas com filtro marca Millipore, modelo HV Millex em polietileno com membrana durapore de 0,45 micrômetros (µm) de espessura e 13,0 mm de diâmetro. O sobrenadante filtrado foi colocado em “vials” e armazenado em geladeira (8 ± 3 °C).

Para a lavagem do solo, objetivando a extração do corante Azul Brilhante, o processo foi semelhante àquele utilizado para o herbicida e, neste caso, utilizou-se água destilada como extrator, sendo retirada outra porção de 10 g de solo de cada amostra. Outra diferença se referiu ao processo de filtração, que foi muito dificultado pela menor decantação das partículas de solo em água, o que resultava em um rápido entupimento dos

¹ Método fornecido por Edivaldo Domingues Velini (Prof. Dr. da F.C.A., UNESP – Câmpus de Botucatu), Eng.^o. Agr.^o. MSc. Anderson Luís Cavehaghi e Eng.^o. Agr.^o. MSc. Gustavo Radomile Tofoli (doutorandos da F.C.A./UNESP – Câmpus de Botucatu). Comunicação pessoal, 2002.

filtros. Desse modo, a quantidade de sobrenadante filtrada foi pequena (cerca de 0,5 ml). Sendo assim, a porção filtrada foi pesada em balança analítica e diluída em 4,5 ml de água destilada, aumentando-se o volume, para que fosse obtida quantidade suficiente para as posteriores leituras de densidade óptica por espectrofotometria.

Em relação aos coletores de deriva, utilizou-se 40 ml de água destilada para lavar os dois fios da mesma distância e altura (repetição), também com o auxílio de um dispensador volumétrico devidamente calibrado. A lavagem foi feita dentro dos próprios sacos plásticos de polietileno, vertendo-se o volume de um para o outro, para uniformizar as soluções. Com esse volume de água foi possível lavar, simultaneamente, as paredes desses recipientes que continham os fios. As soluções de lavagem foram também filtradas com seringas de polietileno com capacidade de 3,0 ml e filtros de mesmo modelo utilizado para as extrações do solo.

5.6. Quantificação e análise das amostras

Para a quantificação da concentração (mg.L^{-1}) dos depósitos nos alvos coletores, foram determinadas curvas padrões de linearidade, utilizando-se soluções com concentrações conhecidas do corante Azul Brilhante e do herbicida. Estas soluções foram analisadas juntamente com as amostras, em espectrofotometria e em cromatografia, respectivamente.

Para quantificar o corante Azul Brilhante, determinou-se a densidade óptica (absorbância), em 630 nm, das soluções de lavagem de solo e fios, em água destilada, utilizando um espectrofotômetro de UV visível GBC, modelo Cintra 40.

Os valores obtidos em mg.L^{-1} , para soluções de lavagem de solo, foram convertidos à concentração original da solução, ou seja, dividiu-se 4,5 (volume de água destilada, em ml, usada para aumento do volume da solução original filtrada) pelo valor do peso, em gramas, do volume filtrado da solução original. Esse fator de diluição obtido, correspondente para cada amostra, foi multiplicado pela concentração lida no espectrofotômetro.

A concentração original da solução de lavagem do solo, em mg.L^{-1} , foi transformada em porcentagem de depósito do traçador, em relação ao total aplicado, dividindo-se a concentração da solução original das amostras pela concentração esperada

(teórica) na solução de lavagem (50 ml de água), considerando que toda a calda aplicada com Azul Brilhante tenha atingido o solo (100%). Para o cálculo da concentração esperada, considerou-se a concentração efetiva do traçador na calda, obtida com a leitura da respectiva amostra em espectrofotometria; o consumo de calda por área ($163,75 \text{ L.ha}^{-1}$), a área da bandeja dos coletores de deposição ($0,044288 \text{ m}^2$) e a fração de solo retirada da amostra para lavagem (1.10^{-1}). Dessa forma, a determinação do volume de calda coletado por bandeja (mL) = $163.750 \text{ mL.ha}^{-1} \cdot 0,044288 \text{ m}^2 / 10.000 \text{ m}^2$, possibilitou o cálculo da quantidade de corante Azul Brilhante coletado por bandeja, bem como da concentração esperada desse traçador na solução de lavagem através das equações 1 e 2, respectivamente.

$$QAB = \frac{C.V}{1.000} \quad (E_1)$$

onde:

QAB = quantidade de Azul Brilhante na bandeja (mg)

C = concentração do traçador na calda (mg.L^{-1})

V = volume de calda coletado na bandeja (mL) e;

$$Ce = QAB.0,005 \quad (E_2)$$

onde:

Ce = concentração esperada na solução de lavagem (mg.L^{-1})

QAB = quantidade de Azul Brilhante na bandeja (mg)

Para as soluções de lavagem dos fios, as concentrações encontradas nas amostras foram transformadas em volume de calda depositado através da equação 3.

$$C_1.V_1 = C_2.V_2 \quad (E_3)$$

onde:

C_1 = concentração real da calda, correspondente a leitura da amostra coletada no pulverizador (mg.L^{-1})

V_1 = quantidade de calda depositada no alvo (L)

C_2 = leitura de concentração da amostra (mg.L^{-1})

V_2 = 0,04 L de água destilada (lavagem)

O valor da quantidade de calda depositada em litros, foi multiplicado por 10^9 , para que se obtivesse o volume em nanolitros e, dividido pela área de superfície correspondente às duas secções de fios lavadas por intervalo de altura (repetição), obtendo-se assim, o depósito de calda por área de fio (nL.cm^{-2}). As áreas de superfícies foram calculadas considerando-se o fio como um cilindro de 2mm de diâmetro e, a área da superfície do cilindro o produto entre o comprimento da circunferência da base ($2.\pi.r$) pela altura. Assim, o raio (r) do cilindro foi fixado em um milímetro e a altura correspondeu ao somatório do comprimento dos dois fios lavados.

Para a preparo das soluções de lavagem e quantificação do herbicida tebuthiuron, as análises foram realizadas por cromatografia líquida de alta resolução, sendo o método analítico e as características cromatográficas necessárias fornecidos por Velini et al. (2002)¹, os quais se encontravam em desenvolvimento.

As amostras de soluções de lavagem de solo e fios foram previamente preparadas para injeção e análise no cromatógrafo. Para as soluções de lavagem de solo, misturou-se 1 ml de cada amostra com 1 ml de água purificada filtrada e, para as soluções de lavagem de fios, utilizou-se 1 ml de cada amostra misturado à 1 ml de metanol filtrado. Dessa forma, obteve-se as amostras diluídas na fase móvel necessária (v.v^{-1}): metanol:água (50:50); sendo estas acondicionadas em “vials” e posteriormente guardados sob refrigeração ($8 \pm 3^\circ \text{C}$), até o momento da análise.

O cromatógrafo líquido de alta eficiência utilizado foi o da marca Shimadzu modelo LC-10 AC, com detector espectrofotométrico UV-visível, marca Shimadzu, modelo LC-10 AD, equipado com coluna e pré-coluna de sílica-octadecil-polímero (C_{18}), marca Shimadzu modelo Shim-pack CLC-ODS (M) de 150 mm de comprimento e 4,6 mm de diâmetro interno, com volume de injeção de 200 μL , acoplado em microcomputador com programa Borwin (versão Windows), para aquisição e tratamento dos dados e interligado a um injetor automático marca Gilson modelo Aspec. A temperatura utilizada na coluna foi de $20 \pm 3^\circ \text{C}$.

¹ Método fornecido por Edivaldo Domingues Velini (Prof. Dr. da F.C.A., UNESP – Câmpus de Botucatu), Eng.^o Agr.^o MSc. Anderson Luís Cavehaghi e Eng.^o Agr.^o MSc. Gustavo Radomile Tofoli (doutorandos da F.C.A./UNESP – Câmpus de Botucatu). Comunicação pessoal, 2002.

Os valores da concentração do herbicida (mg.L^{-1}) nas soluções de lavagem, foram transformados para porcentagem de depósito de herbicida no solo, em relação ao total aplicado e, nanolitros de calda por cm^2 de fio, do mesmo modo anteriormente descrito para o traçador Azul Brilhante.

5.7. Avaliação de contaminações

Visando avaliar se existiam compostos contidos no solo, nos fios de náilon e sacos de polietileno, que superestimassem ou interferissem nas leituras das soluções de lavagem, foram lavadas porções de 10 g de solo coletado na área do experimento, antes da aplicação, e fios de náilon dentro dos sacos de polietileno com 10 repetições cada. As porções de solo e os fios foram lavados e preparados, para análises espectrofotométrica e cromatográfica, de maneira análoga às amostras oriundas do experimento.

5.8. Análise estatística

Os dados de depósito das caldas dos traçadores (tebuthiuron e Azul Brilhante) nos coletores de deriva, em nL.cm^{-2} , foram analisados no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial $4 \times 5 \times 5$, sendo 4 lados, 5 distâncias e 5 alturas dos coletores em relação à área aplicada e as médias comparadas pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Para os dados de depósito nos coletores de deposição, os valores de porcentagem de depósito de traçador foram ajustados ao modelo de Gompertz para representar a frequência acumulada (Y), em porcentagem, conforme a Equação 4 com o auxílio do programa estatístico SAS. O modelo foi simplificado segundo procedimento descrito por Velini (1995). Adotou-se o valor 4,60517 para o parâmetro “a”, de modo que “ e^a ” = 100. Para melhor visualização dos resultados optou-se por apresentar, também, as curvas de frequência não acumuladas (Y’), que correspondem à primeira derivada do referido modelo (Equação 5).

Modelo de Gompertz:

$$Y = e^{(a - e^{(-b \cdot c \cdot X)})}$$

Frequência acumulada (%) (E₄)

$$Y' = c \cdot e^{(a - b \cdot c \cdot X - e^{(-b \cdot c \cdot X)})}$$

Frequência não acumulada ou densidade de probabilidade (%) (E₅)

onde:

a, b e c = parâmetros da equação;

$e^a = 100$, sendo “a” o valor máximo da assíntota da curva;

$|b|$ = deslocamento da curva ao longo do eixo X;

c = inclinação ou concavidade da curva em relação as respectivas frequências Y e Y’;

X = porcentagem de depósito do traçador em relação ao total aplicado.

Segundo Velini (1995), a primeira derivada corresponde à curva de distribuição de frequências não acumuladas, ou ao incremento que se obtém nas frequências acumuladas, quando se aumenta em uma unidade o valor referente. O ponto máximo da primeira derivada corresponde à moda da porcentagem de depósito de traçador, que ocorre quando a segunda derivada é igual à zero. A mediana pode ser calculada igualando-se a própria expressão que representa as frequências acumuladas a 50%. As modas e as medianas podem ser calculadas pelas seguintes expressões:

$$\text{Moda} = -b / c$$

$$\text{Mediana} = [\ln(a - \ln 50) + b] / c = [\ln(a - 3,912) + b] / c$$

onde a, b e c são parâmetros do modelo de Gompertz.

Com o mesmo modelo foram calculados os percentis: 1, 2, 5, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90, 95, 98 e 99; sendo estes calculados igualando-os à expressão de frequência acumulada.

Os coeficientes de variação foram determinados pela Equação 6, descrita a seguir:

$$CV = \text{Desvio padrão} \cdot 100 / \text{média} \quad (E_6)$$

onde:

CV = Coeficiente de Variação

Desvio Padrão = dados em porcentagem de depósito de traçador

Média = média dos dados em porcentagem de depósito de traçador

O nível de precisão do modelo de Gompertz foi avaliado através dos coeficientes de determinação e pelas somas dos quadrados de resíduos das equações.

Os dados de porcentagem de depósito dos traçadores, em relação ao total aplicado, foram submetidos ao teste t a 5% de probabilidade, em relação ao número de repetições utilizado, para verificar o intervalo de confiança dos resultados obtidos.

Para tanto, os dados originais em porcentagem de depósito foram sorteados aleatoriamente 20 vezes, com o auxílio do programa Microsoft Excel, o que resultou em 20 sequências de dados diferentes, sendo que a ordem em que o dado foi sorteado determinou o número da respectiva repetição. Foi calculado o erro padrão para cada valor de porcentagem de depósito, em relação ao conjunto de dados sorteados até esse valor, dentro da mesma sequência (sorteio). Calculou-se a média do erro padrão, para todos os dados referentes ao mesmo número de repetição. Essas médias foram multiplicadas pelos valores referentes de t tabelado à 5%, resultando no valor limite de erro, que pode ser subtraído ou somado a média obtida a partir dos dados originais (intervalo de confiança).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Aplicação dos traçadores

6.1.1. Condições meteorológicas

Os dados meteorológicos registrados durante a aplicação dos traçadores são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Condições meteorológicas no momento da aplicação: direção e velocidade do vento (km/h), umidade relativa (%) e temperatura (°C) nos respectivos tempos (h), durante a aplicação.

Tempo (h)	Direção do vento ¹ .	Velocidade do vento (km/h) ¹ .	Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)
12:10	NE	12,0	46,3	23,8
12:13	NE	9,0	47,6	23,1
12:16	NE	7,0	44,4	23,6
12:19	SE	5,0	41,0	27,0
12:22	SE	4,9	42,3	28,0
12:25	NE	4,3	43,3	27,2
12:28	SE	7,8	39,8	28,0

¹ Direção (pontos colaterais) e velocidade do vento à 2 m de altura.

Tabela 2. Condições meteorológicas no momento da aplicação: direção e velocidade do vento (km/h), umidade relativa (%) e temperatura (°C) nos respectivos tempos (h), durante a aplicação. Dados coletados na Estação Meteorológica do Departamento de Recursos Naturais, da F.C.A.-UNESP/Câmpus de Botucatu.

Tempo (h)	Direção do vento ¹ .	Velocidade do vento (km/h) ² .		Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)
		2 m	10 m		
12:10	ENE	6,4	8,8	55,8	25,1
12:15	ENE	5,9	8,6	56,0	25,2
12:20	ENE	5,3	8,0	55,8	25,4
12:25	ENE	5,1	7,3	56,2	25,5

¹-Direção do vento à 10 m de altura (pontos subcolaterais).

²- Velocidade do vento à 2 e 10 m de altura.

Os lados da área de aplicação, em relação aos pontos cardeais, encontravam-se nos seguintes pontos colaterais NE (lado1), NO (lado 2), SO (lado 3) e SE (lado 4).

6.1.2. Concentração das caldas

As concentrações das amostras na calda de aplicação dos traçadores, após as análises em espectrofotometria e cromatografia, apresentaram concentrações de 4.315,27 e 5.453,10 mg.L⁻¹, para o Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente.

6.2. Precisão dos métodos analíticos

Para a extração dos traçadores das amostras de solo foram obtidas recuperações médias de 90,49 e 90,60 % para Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente. Entretanto, deve-se considerar que esses valores podem variar de acordo com o tipo de solo. Como exemplo, Cavenaghi et al. (2002) obtiveram recuperação média de 67,75% na extração desse mesmo herbicida do solo, utilizando coletor de deposição semelhante (bandejas com 240 g de solo) e cromatografia líquida de alta resolução para análise das amostras.

Com relação ao método utilizado para extrair o corante Azul Brilhante do solo, deve-se ressaltar que o processo de filtragem das soluções de lavagem foi pouco eficiente, o que ocasionou a necessidade de novas etapas neste processo, como a diluição das soluções filtradas para se obter volume suficiente para as análises. Portanto, o método para extração desse traçador das soluções de lavagem de solo precisa ser mais estudado.

Em relação aos traçadores nos coletores de deriva, constatou-se recuperação média de 95,64 e 74,55% para o Azul Brilhante e para o tebuthiuron, respectivamente.

Assim, os valores de porcentagem de depósito, em relação ao total aplicado, e de deriva (nL.cm^{-2}), foram corrigidos pelas respectivas porcentagens de recuperação dos traçadores, multiplicando-se os valores obtidos nas análises pelos seguintes fatores de correção: 1,105 e 1,104 para as porcentagens de depósito (solo) e 1,046 e 1,341 para os valores de deriva, respectivamente em relação ao corante Azul Brilhante e o herbicida tebuthiuron.

Nas leituras em cromatografia líquida de alta resolução, o tempo de retenção para o traçador tebuthiuron variou entre 3,53 e 4,00 minutos, essa variação foi atribuída à oscilação de temperatura do laboratório ($20 \pm 3^\circ\text{C}$). Nas Figuras 7 e 8, encontram-se exemplos dos cromatogramas obtidos para uma solução padrão de 1 mg.L^{-1} e uma das amostras dos coletores de deposição.

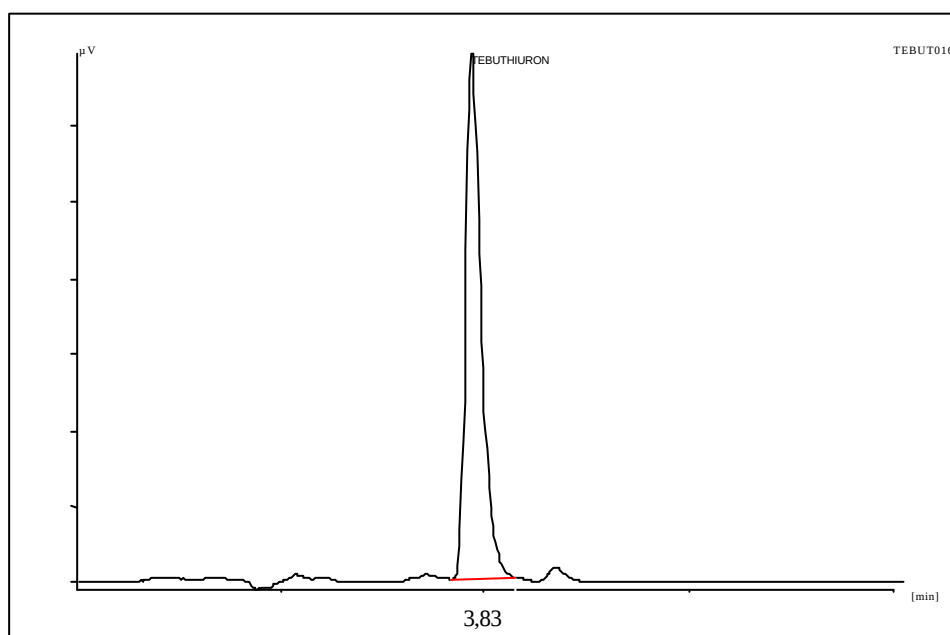


Figura 7. Cromatograma de leitura de uma amostra padrão de $1,0\text{ mg.L}^{-1}$ de tebuthiuron (tempo de retenção de 3,83 minutos).

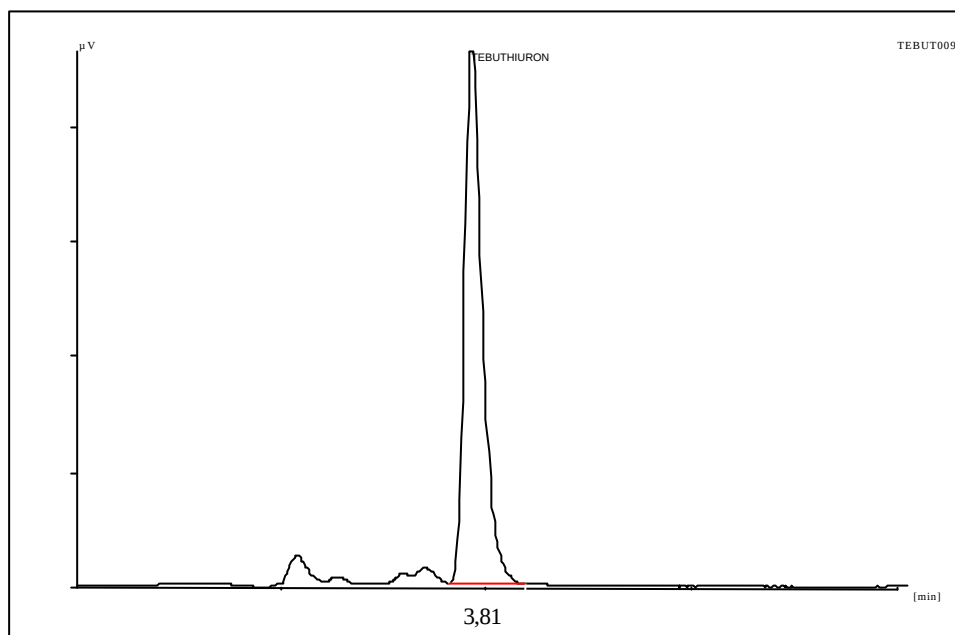


Figura 8. Cromatograma de leitura de tebuthiuron presente em amostra de coletor de deposição (tempo de retenção de 3,81 minutos).

6.3. Avaliação de contaminações

Ao avaliar a presença de contaminantes no solo, fios de náilon e sacos de polietileno, que pudessem interferir nas leituras para detecção dos traçadores, constatou-se contaminantes nos dois métodos de extração e quantificação do Azul Brilhante. As absorbâncias geradas por esses contaminantes em 630 nm, equívaleram às concentrações de 0,064 e 0,070 $mg.L^{-1}$ nas soluções de lavagem de solo e fios de náilon, respectivamente. Estes valores foram subtraídos das estimativas iniciais das concentrações de Azul Brilhante encontradas nas amostras experimentais.

Nas análises cromatográficas, não foi observada a presença de nenhum contaminante que pudesse interferir nas concentrações obtidas para o herbicida tebuthiuron.

6.4. Avaliação dos depósitos nos coletores de deposição

Na Figura 9 são apresentadas as linhas que correspondem às frequências acumuladas em função da deposição, representada em porcentagem de depósitos dos traçadores (tebuthiuron e Azul Brilhante), em relação ao total aplicado. O gráfico foi

confeccionado com os dados originais. As inclinações das curvas são muito semelhantes, sobrepondo-se em vários pontos, indicando que os dados de depósito dos dois traçadores utilizados apresentaram dispersão muito próxima. O intervalo de variação das porcentagens de depósitos do herbicida correspondeu a valores entre 26,9 e 164,9% da dose aplicada e, para o corante, a variabilidade dos depósitos corresponderam a valores entre 32,0 e 255,7% em relação ao total aplicado. Essa dispersão nos depósitos pode ser atribuída principalmente às oscilações na altura da barra e às condições meteorológicas, resultando em subdoses e sobredoses. Entretanto, Cavenaghi et al. (2002) ao constatarem variações nos depósitos entre 58,38% e 117,31% da dose aplicada de tebuthiuron (1,15 kg i.a.ha⁻¹) em cana-de-açúcar, inferiram que apesar da irregularidade da dose depositada nos alvos artificiais (bandejas com solo), o controle das plantas daninhas foi satisfatório.

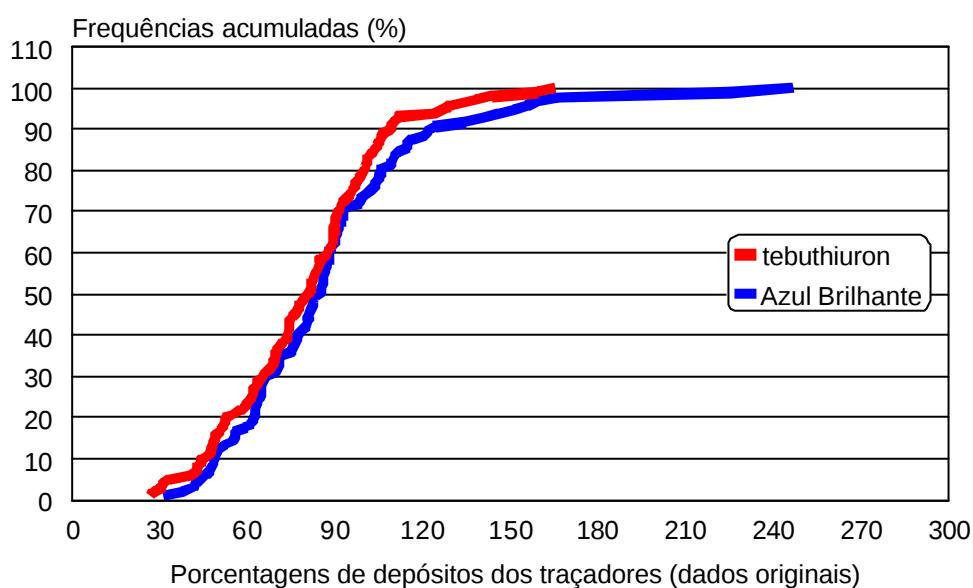


Figura 9. Frequências acumuladas em função das porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação à quantidade total aplicada (dados originais).

Os dados originais foram ajustados pelo modelo de Gompertz. A partir desses ajustes, foram confeccionadas as curvas de frequência acumulada, em função da porcentagem de depósito dos traçadores, em relação ao total aplicado.

Os resultados da análise de regressão, os coeficientes de determinação, os valores de F da regressão ao nível de 1% de probabilidade, assim como os parâmetros utilizados pelo modelo, para as porcentagens de depósito dos traçadores em relação ao total aplicado, encontram-se na Tabela 3. Os coeficientes de determinação (R^2) foram respectivamente de 0,991684 e 0,983376 para os traçadores Azul Brilhante e tebuthiuron. Dessa forma, os valores de soma de quadrado de resíduo foram baixos (desvios da regressão), indicando elevada precisão nos ajustes efetuados pelo uso desse modelo.

A média, mediana, moda e coeficiente de variação das porcentagens dos depósitos dos respectivos traçadores em relação ao total aplicado, são apresentados na Tabela 4. Os maiores valores desses parâmetros foram obtidos com o traçador Azul Brilhante.

A mediana foi determinada calculando-se o valor do depósito a qual condiciona a frequência acumulada ser igual a 50. Neste caso, os valores de porcentagem de depósito foram de 81,5 e 77,3 % para os traçadores Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente.

A moda é o valor mais freqüente no conjunto de dados, e é determinada pelo ponto máximo da derivada primeira dos dados de frequência acumulada (densidade de probabilidade). O valor de porcentagem de depósito mais freqüente para o traçador Azul Brilhante foi de 72,6 % e para o tebuthiuron, de 68,8% (Tabela 4).

As médias das porcentagens de depósitos, em relação aos totais aplicados, para o herbicida tebuthiuron e o corante Azul Brilhante, respectivamente, foram de 87,6 e 79,8%. Cavenaghi et al. (2002), em uma aplicação com esse mesmo herbicida em uma área de cultivo de cana-de-açúcar, constatou um depósito médio de 83,1%, utilizando um coletor semelhante (solo em bandeja).

As médias das porcentagens de depósito dos traçadores foram 20,66 e 15,99% maiores que os valores da moda, para o Azul Brilhante e o tebuthiuron, respectivamente, indicando que a moda pode ser mais adequada para comparar depósitos em pulverizações agrícolas. Segundo Tofoli (2001), a utilidade da média para indicar a deposição em pulverizações agrícolas deve ser discutida, pois aplicando-se uma determinada dose de um suposto herbicida, a dose pontual mais freqüente (moda) na área pode ser bastante inferior à dose média.

Os coeficientes de variação dos depósitos dos traçadores foram de 40,3 e 34,0% para o Azul Brilhante e o tebuthiuron, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 3. Resultados das análises de regressão entre as porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação ao total aplicado, e as frequências acumuladas, utilizando-se o modelo de Gompertz.

Modelo de Gompertz $Y = e^{**}(A - e^{**}(-B - C * X))$	Traçador	
	Azul Brilhante	Tebuthiuron
Estimativa dos parâmetros	A = 4,605170	A = 4,605170
	B = -3,040705	B = -2,983045
	C = 0,040241	C = 0,043329
SQ Total	327.678,32616	341.683,16831
SQ Regressão	328.350,50515	340.284,14052
SQ Resíduo	672,17900	1.399,02779
F Regressão	23.155,61332**	12.039,83912**
R ²	0,991684	0,983376

Y = porcentagem de frequência acumulada; X = porcentagem de depósito do traçador em relação ao total aplicado; A, B e C são estimativas dos parâmetros do modelo para os respectivos traçadores.

* significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 4. Média, Mediana, Moda e Coeficiente de Variação das porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação ao total aplicado.

Traçador	Porcentagem de depósito do traçador			
	Média	Mediana	Moda	CV (%)
Azul Brilhante	87,6	81,5	72,6	40,3
Tebuthiuron	79,8	77,3	68,8	34,0

A representação gráfica destes dados foi confeccionada a partir da frequência acumulada obtida pelo modelo. Nas Figuras 10 e 11, estão apresentadas as curvas de frequência acumulada com os dados originais e ajustados dos depósitos, para os traçadores Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente. Tanto os dados ajustados, quanto os originais estão apresentados em porcentagem de depósito dos traçadores, em relação ao total aplicado. A precisão obtida nos ajustes com o modelo de Gompertz, pode também ser constatada pela sobreposição das curvas dos dados ajustados sobre os dados originais para cada traçador.

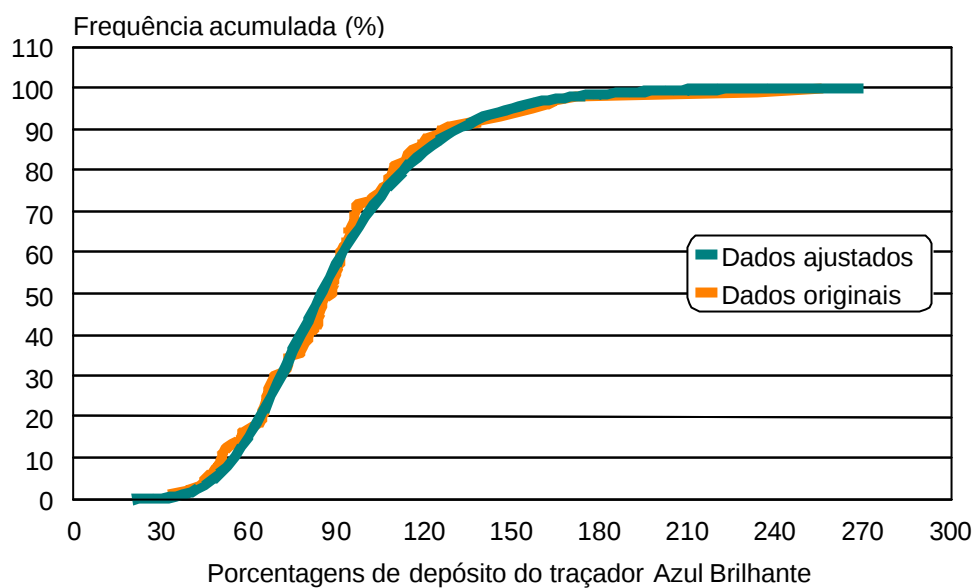


Figura 10. Frequências acumuladas em função das porcentagens de depósitos do traçador Azul Brilhante, em relação à quantidade total aplicada (dados originais e ajustados).

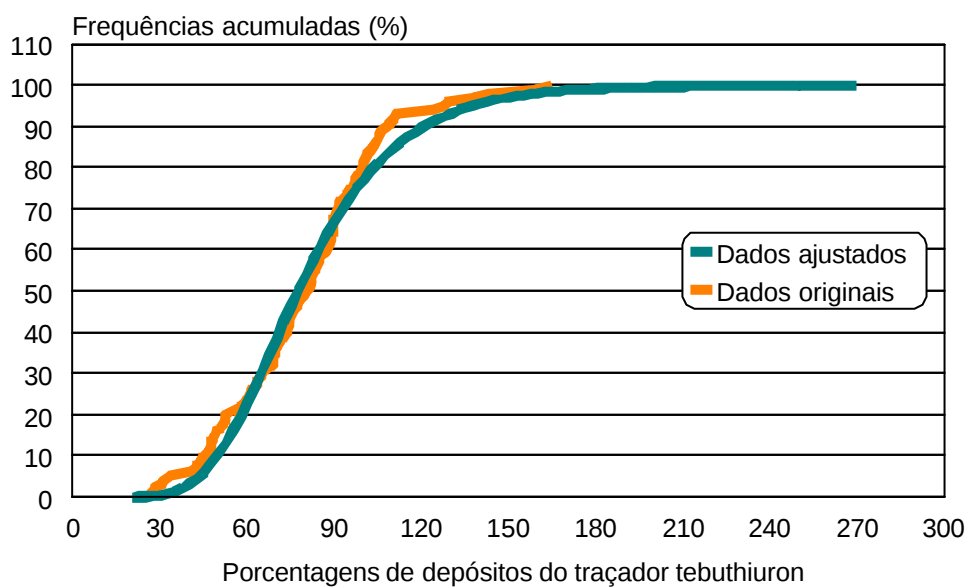


Figura 11. Frequências acumuladas em função das porcentagens de depósitos do traçador tebuthiuron, em relação à quantidade total aplicada (dados originais e ajustados).

Na Figura 12 estão apresentados os dados ajustados de frequência acumulada das porcentagens de depósitos dos traçadores. É possível constatar, novamente, comportamento semelhante das curvas de frequência acumulada dos depósitos para ambos os traçadores utilizados (Figura 9), ocorrendo, nesse caso, uma maior sobreposição entre as curvas obtidas com os dados ajustados em relação à sobreposição entre as curvas com os dados originais.

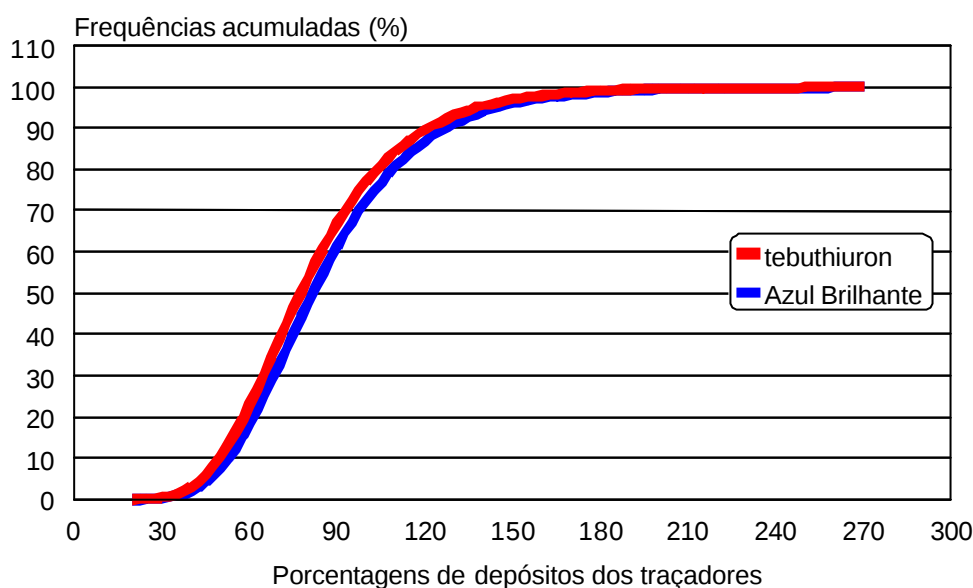


Figura 12. Frequências acumuladas em função das porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação à quantidade total aplicada (dados ajustados).

As curvas de frequência não acumulada ou densidade de probabilidade correspondem a primeira derivada das curva de frequência acumulada, sendo que para a confecção dessas duas curvas foram utilizados os dados originais da variável independente (porcentagens de depósitos dos traçadores, em relação ao total aplicado).

Os gráficos contendo a representação dos modelos de frequência acumulada e a primeira derivada, para as porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação ao total aplicado, estão nas Figuras 13 e 14, respectivamente. Os valores de moda citados anteriormente (72,6 e 68,8% para Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente), correspondem ao ponto máximo da primeira derivada, que pode ser observado nessas figuras.

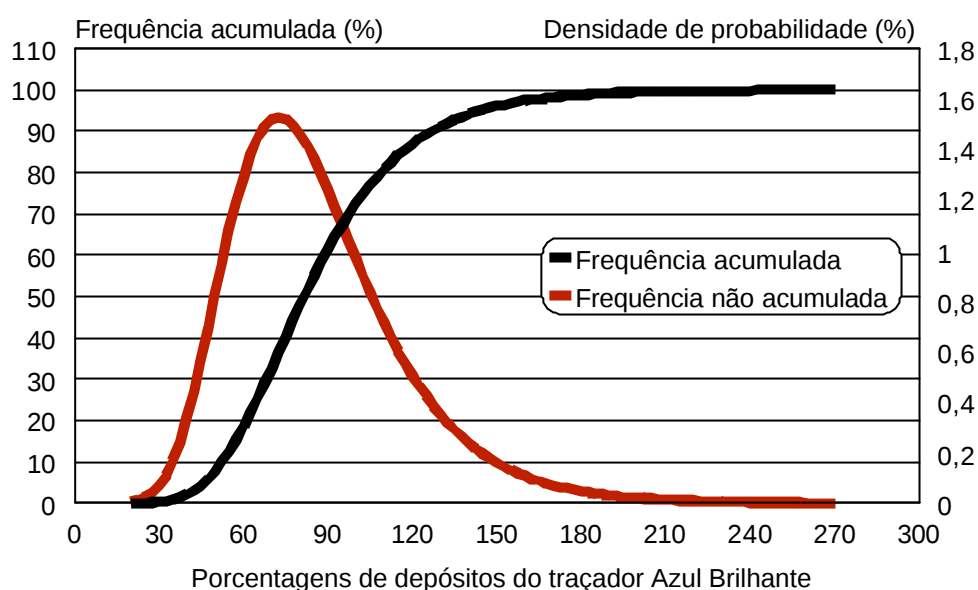


Figura 13. Frequência acumulada e densidade de probabilidade em função das porcentagens de depósito do traçador Azul Brilhante, em relação à quantidade total aplicada (dados ajustados).

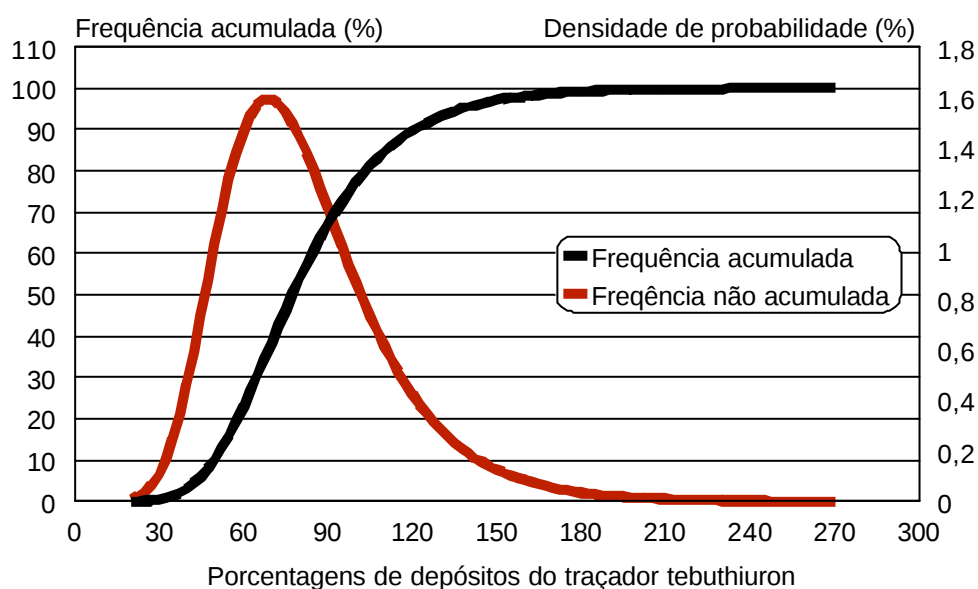


Figura 14. Frequência acumulada e densidade de probabilidade em função das porcentagens de depósito do traçador tebuthiuron, em relação à quantidade total aplicada (dados ajustados).

Na Figura 15 estão representadas as curvas de densidade de probabilidade (frequência não acumulada) das porcentagens de depósitos dos traçadores, em relação ao total aplicado. Comparando-se as curvas deste gráfico, observa-se, assim como para as curvas de frequência acumulada (Figura 12), que os depósitos foram muito semelhantes e houve sobreposição entre as curvas. Sendo assim, ambos traçadores geraram padrões de depósitos com uma dispersão e uniformidade de dados muito próximos, o que também foi confirmado pela proximidade dos valores do parâmetro “c”, presentes na Tabela 3. Entretanto, há uma pequena diferença entre as concavidades dessas curvas (Figura 15), sendo a do corante Azul Brilhante mais plana que a do herbicida tebuthiuron e, segundo Velini (1995), quanto maior a curtose (mais plana é a curva) maior é a frequência de valores extremos.

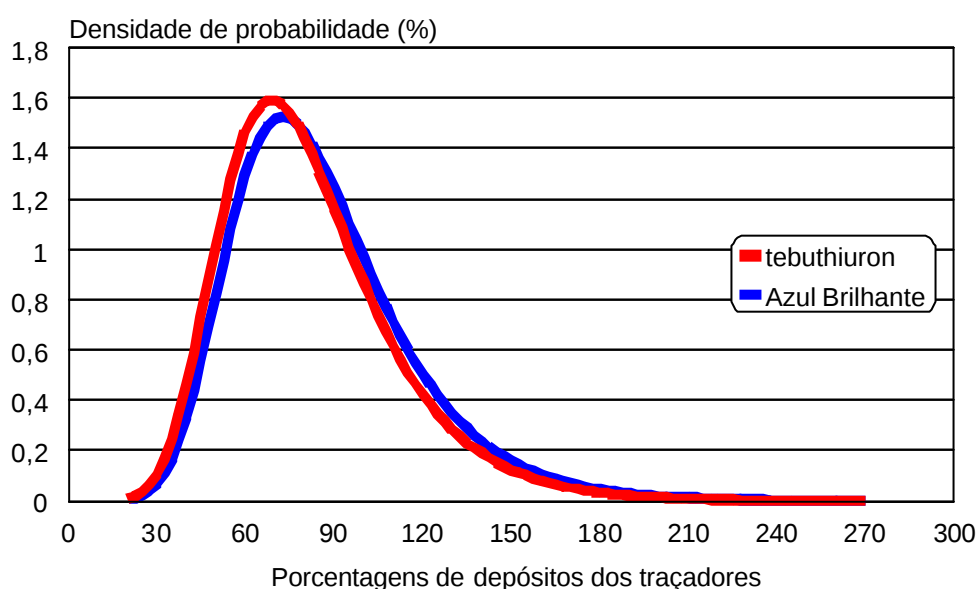


Figura 15. Densidade de probabilidade em função das porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação à quantidade total aplicada (dados ajustados).

Nesse sentido, essa diferença pode ser explicada também com base nos dados originais, onde a maior porcentagem de depósito obtida de Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente, foi oito e seis vezes maior que a menor porcentagem encontrada para cada um desses traçadores. Portanto, apesar da semelhança da dispersão dos depósitos obtidos nas duas aplicações, torna-se evidente que a simples determinação da média da porcentagem de depósito, sem que se tenha uma caracterização precisa da dispersão desses dados, pouco

informa sobre a qualidade da pulverização realizada. De acordo com Souza (2002), essa irregularidade dos depósitos pode levar à necessidade de aumentos na dose aplicada dos herbicidas, como por exemplo, para compensar perdas por deriva.

Os valores dos percentis obtidos através das porcentagens de depósitos dos traçadores, em relação ao total aplicado estão apresentados na Tabela 5. Foram considerados percentis entre 1 e 99%. Observa-se que para os maiores percentis, principalmente a partir de 80%, as diferenças entre as porcentagens de depósitos dos dois traçadores são sutilmente maiores, indicando haver uma tendência de maior efeito da deriva, ou uma maior perda, nos maiores depósitos do tebuthiuron, em relação aos maiores depósitos do Azul Brilhante.

Tabela 5. Percentis das porcentagens de depósitos dos traçadores (Azul Brilhante e tebuthiuron), em relação ao total aplicado.

Traçador	Porcentagem de depósito do traçador												
	Percentis (%)												
	1	2	5	10	20	40	50	60	80	90	95	98	99
Azul Brilhante	38	42	48	55	64	78	85	92	113	131	149	173	190
Tebuthiuron	34	37	44	50	58	71	77	84	103	121	137	159	175

Considerando-se a moda como parâmetro para comparação das perdas ocorridas entre as aplicações dos traçadores, em pré-emergência, pode-se inferir que as perdas resultantes apresentaram valores muito próximos: 27,4% para Azul Brilhante e 31,2% para tebuthiuron, em relação ao total aplicado de cada traçador. Essa diferença, embora pequena (3,8%), pode ser atribuída, aos ingredientes inertes presentes na formulação do tebuthiuron que diminuem a tensão superficial da água utilizada na calda, podendo gerar gotas menores durante a pulverização, que poderiam ser mais propensas à deriva.

A possibilidade da alteração da tensão superficial da água da calda de pulverização de tebuthiuron foi confirmado por Palladini (2000), ao constatar que as soluções de corante Azul Brilhante não alteram a tensão superficial da água, além de verificar que

diferentes produtos fitossanitários e formulações proporcionam diferentes valores de tensão superficial na calda de aplicação.

É possível que em condições climáticas e operacionais mais extremas, a diferença entre as estimativas de perdas ocorridas na pulverização desses traçadores sejam maiores, o que revela a possibilidade de novos estudos.

O método utilizado para avaliação da deposição demonstrou ser uma alternativa viável para se estimar perdas em pulverizações em pré-emergência, por apresentar dados de depósito com alto grau de confiabilidade e precisão, permitindo uma acurada estimativa das perdas. Além disso, os coletores de deposição são de baixo custo, fácil montagem e manuseio.

As porcentagens de depósitos do traçador Azul Brilhante no solo foram muito similares àsquelas verificadas para o herbicida tebuthiuron, apresentando comportamento semelhante quanto à dispersão dos dados, além de valores próximos de média, mediana e moda. Portanto, o traçador Azul Brilhante pode ser utilizado em estudos de deposição e deriva em substituição à outros herbicidas. Somando-se a isso, conforme observações de Palladini (2000) e Maciel (2001), o corante mostrou-se vantajoso nesse tipo de estudo por ser atóxico, de baixo custo, não volátil, não apresentar fotodegradação até 8 horas após a aplicação, não alterar a tensão superficial da água e por permitir a substituição de complexos e onerosos procedimentos cromatográficos envolvidos na detecção e quantificação de herbicidas, por procedimentos espectrofotométricos simples e de baixo custo, podendo ser detectado a partir de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

Em relação ao uso do tebuthiuron como traçador, foi possível avaliar os depósitos e estimar por diferença as perdas ocorridas com o próprio herbicida, devido a estabilidade de sua molécula, pois Rodrigues & Almeida (1998) afirmaram que o tebuthiuron possui fotodecomposição e volatilização (pressão de vapor de 10^{-7} mmHg a 25°C) insignificantes. Além disso, apresentou também um nível alto de detecção ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$).

Com relação ao intervalo de confiança obtido com o número de repetições de coletores de deposição, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade, verificou-se os intervalos de $\pm 1,449$ e $\pm 1,068$ para as porcentagens de depósito do Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente. Dessa forma, pode-se afirmar com 95% de probabilidade que o

intervalo de $12,4 \pm 1,449\%$ e $20,2 \pm 1,068\%$ contém a verdadeira média de porcentagem de perda dos traçadores em relação ao total aplicado. A variação dos intervalos de confiança, subtraídos e somados a média, em relação ao número de repetições está apresentada nos gráficos das Figuras 16 e 17. Em virtude do grande intervalo de confiança verificado para as cinco primeiras repetições, optou-se por apresentar os dados a partir da sexta repetição.

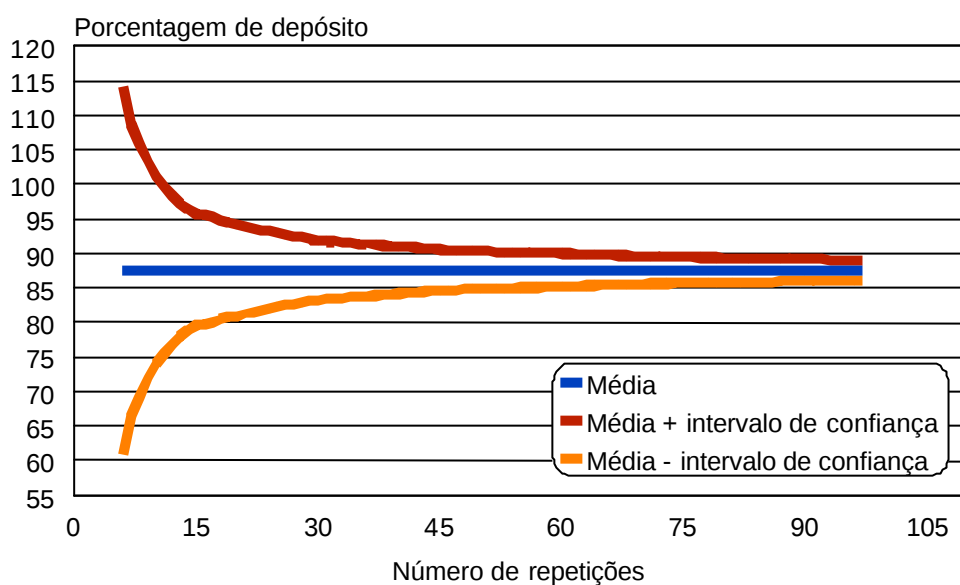


Figura 16. Intervalo de confiança dos dados originais, em porcentagem de depósito do traçador Azul Brilhante, obtido pelo teste t a 5% de probabilidade, em relação ao número de repetições.

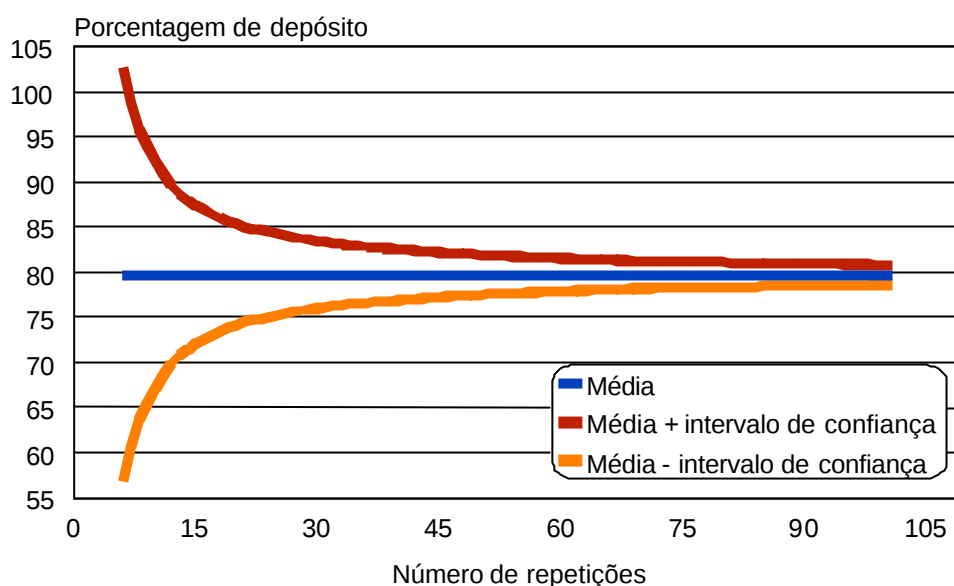


Figura 17. Intervalo de confiança dos dados originais, em porcentagem de depósito do traçador tebuthiuron, obtido pelo teste t a 5% de probabilidade, em relação ao número de repetições.

6.5. Avaliação dos depósitos nos coletores de deriva

Pode-se observar pela Tabela 6, onde estão apresentados os resultados da análise dos dados de depósito dos traçadores nos coletores de deriva, após a pulverização, que ocorreram efeitos significativos, pelo teste F e teste t a 5% de probabilidade, para os fatores relacionados ao posicionamento dos coletores em relação à aplicação (lado, distância e altura), para os dois traçadores.

De uma forma geral, os resultados dessa análise indicam que os fatores lado, distância e altura atuam de forma independente na deriva. Entretanto, houveram interações significativas entre os fatores lado e altura pelo teste F, para a deriva do traçador Azul Brilhante capturada pelos coletores.

Para o fator lado, em relação ao traçador tebuthiuron, é possível constatar que o lado 2, à NO, foi o que apresentou as maiores coletas de deriva, em média 5,7 vezes maior que as outras posições. Considerando-se a predominância da direção dos ventos (Tabelas 1 e 2), durante as pulverizações, não se observou relação com as posições geográficas de maior depósito, para esse traçador. A ausência dessa relação pode ser explicada pela presença de um quebra-vento formado por plantas adultas de eucalipto, adjacente aos lados 1 e

4, ou seja, nos pontos situados à NE e SE da área de aplicação, respectivamente. Essas plantas podem ter formado uma barreira que afetou a direção do vento predominante observada (NE e SE), pois essas medidas locais (Tabela 1) foram realizadas fora da área experimental entre os pontos colaterais SO e NO, que eram opostos aos pontos dos coletores que estavam na direção do vento. Assim, o vento predominante na direção NE e SE pode ter sofrido mudança de rumo e carregado as gotas para os coletores localizados à NO e SO, onde houve as maiores capturas de deriva para o herbicida tebuthiuron e o corante Azul Brilhante, respectivamente.

Ainda, pela Tabela 6, verifica-se que as maiores médias de depósitos, para o fator distância da área aplicada, ocorreram à 1 m. Em relação ao traçador Azul Brilhante, o valor obtido a 1 m de distância diferiu significativamente daqueles obtidos às distâncias 4, 8 e 16 m e não diferiu estatisticamente do obtido à 2 m, porém diferente dos depósitos quantificados a 16 m. Para o traçador tebuthiuron, os valores detectados a distância de 1 m diferiram significativamente daqueles à 8 e 16 m, sendo que os valores desse traçador nas distâncias de 2 e 4 m não diferiram estatisticamente dos demais. Sendo assim, esses dados confirmam o que já foi mencionado por Bauer (1999), que afirma que a deriva depositada diminui à medida que aumenta a distância em relação a área de aplicação.

Em relação ao fator altura, para o traçador tebuthiuron, os depósitos detectados nas alturas de 0 a 1 e 1 a 2 m diferiram significativamente daqueles obtidos nas alturas de 3 a 4 e 4 a 5 m e o valor obtido na altura de 2 a 3 m não diferiu estatisticamente dos demais.

Tabela 6. Influência do lado, distância e altura dos coletores na deriva após a pulverização dos traçadores em pré-emergência.

Fatores de variação	GL	Azul Brilhante	Tebuthiuron
		Valores de F (α) e médias de deriva (nL/cm ²)	Valores de F (α) e médias de deriva (nL/cm ²)
Lado (L)	3	8,32 (0,01)*	4,53 (0,40)*
Distância (D)	4	3,08 (1,66)*	2,08 (8,27)*
Altura (H)	4	5,99 (0,01) *	2,42 (4,83)*
L x D	12	0,84 (60,60) n.s.	0,82 (62,71) n.s.
L x H	12	4,17 (0,01)*	1,09 (37,14) n.s.
D x H	16	0,98 (47,35) n.s.	0,84 (64,45) n.s.
L x D x H	48	0,56 (99,18) n.s.	0,66 (96,05) n.s.
CV (%)		359, 44	560,86
Médias de deriva (nL/cm ²)			
Lado 1 (NE)		2,368 B	0,085 B
Lado 2 (NO)		1,701 B	1,222 A
Lado 3 (SO)		11,260 A	0,553 B
Lado 4 (SE)		2,321 B	0,008 B
DMS 5%		3,701	0,612
Distância de 1 m		9,034 A	1,090 A
Distância de 2 m		5,575 AB	0,573 AB
Distância de 4 m		4,238 BC	0,525 AB
Distância de 8 m		1,932 BC	0,123 B
Distância de 16 m		1,284 C	0,025 B
DMS 5%		4,138	0,684
Altura 0 a 1 m		12,098 A	0,930 A
Altura 1 a 2 m		3,414 B	0,957 A
Altura 2 a 3 m		2,628 B	0,373 AB
Altura 3 a 4 m		2,186 B	0,045 B
Altura 4 a 5 m		1,736 B	0,030 B
DMS 5%		4,138	0,684

* significativo ao nível de probabilidade igual ao valor de α

n.s. = não significativo, em função do valor de α

Médias na mesma coluna e dentro do mesmo fator não diferem estaticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Na Tabela 7, estão apresentados os resultados do desdobramento da interação dos fatores lado e altura, para os depósitos de deriva do traçador Azul Brilhante. É possível constatar que o lado 3 (SO) apresentou depósitos significativamente maiores em relação aos demais, somente dentro da altura de 0 a 1 m (11,1 vezes mais, em média). Do mesmo modo, dentro do fator altura, somente o lado 3 apresentou diferenças significativas, sendo que na altura de 0 a 1 m os depósitos do traçador foram significativamente maiores (8,3

vezes, em média) do que os encontrados nas demais alturas. Dessa forma, assim como para o traçador tebuthiuron, não foi encontrada relação entre a direção dos ventos predominantes, durante a aplicação (Tabelas 1 e 2), e a posição geográfica do lado onde foram detectados os maiores depósitos.

Tabela 7. Médias de deriva (nL/cm^2) após a pulverização dos traçador Azul Brilhante em pré-emergência para a interação Lado x Altura (L x H).

Lado	Altura (metros)				
	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5
Lado 1 (NE)	3,604 a ¹ A ²	2,572 aA	1,892 aA	2,279 aA	1,494 aA
Lado 2 (NO)	2,413 aA	1,465 aA	1,225 aA	1,178 aA	2,223 aA
Lado 3 (SO)	38,062 bA	8,078 aB	5,246 aB	2,405 aB	2,511 aB
Lado 4 (SE)	4,313 aA	1,541 aA	2,150 aA	2,881 aA	0,717 aA

¹ Médias na coluna, seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste T ao nível de 5% de probabilidade.

² Médias na linha, seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo Teste T ao nível de 5% de probabilidade.

Como foram observados valores significativos de deriva para o corante Azul Brilhante no ponto SO e na altura de 0 a 1 m, é possível que os uso desse tipo de coletor possa trazer resultados plenamente satisfatórios quando posicionados somente em pontos mais próximos à pulverização, em até 1 m de altura. Entretanto, ao se analisar o conjunto dos dados originais desse traçador, é possível verificar que as secções de fios correspondentes à altura de 0 a 1 m pertencentes aos coletores do lado 3, que estavam enfileirados próximos à terceira faixa de aplicação nas distâncias de 1, 2 e 4 m (Figura 6), apresentaram valores de depósito de deriva 53,3, 37,6 e 30,4 vezes maiores que a média geral dos depósitos de Azul Brilhante. Esse fato pode ser explicado pela proximidade desses coletores na altura de 0 a 1 m, junto ao ponto de partida do pulverizador para a aplicação na 3ª faixa. Dessa forma, talvez o tempo entre o início da pulverização e o princípio do deslocamento pode ter sido suficiente para ocorrer pulverização com o pulverizador ainda parado, o que provocou um depósito maior nesses coletores mais próximos, além disso rajadas de vento no sentido SO podem ter contribuído para essa discrepância de valores.

Ao se observar as médias de depósitos (Tabela 6), se forem calculadas médias considerando todos os níveis de qualquer fator (lado, distância ou altura), pode se constatar que a média geral dos depósitos do traçador Azul Brilhante ($4,413 \text{ nL}/\text{cm}^2$) foi quase

nove vezes maior que a média dos depósitos de tebuthiuron ($0,467 \text{ nL/cm}^2$). Observação semelhante pode ser constatada ao se comparar a maior média de depósito dos traçadores, encontradas dentro de cada um desses fatores, pois os depósitos de Azul Brilhante foram 9,2; 8,3 e 12,6 vezes maiores que os depósitos de tebuthiuron, em relação à lado, distância e altura, respectivamente.

Sendo assim, o potencial de deriva das aplicações, considerando-se as estimativas de perdas obtidas, não apresentou relação com depósitos dos traçadores detectados nos coletores de deriva, pois essas estimativas apresentaram-se como valores de porcentagem muito próximos, enquanto a deriva constatada nos fios de náilon foi muito maior para o Azul Brilhante. Ainda, ao considerar o somatório do volume de calda dos traçadores detectado em todas as repetições dos coletores de deriva, esse valor representa somente 0,16 e 0,02% do volume total de calda aplicado na área experimental (3.400 m^2), para o corante Azul Brilhante e o herbicida tebuthiuron, respectivamente, comprovando novamente a discrepância entre as estimativas de perdas e as derivas diretamente detectadas.

A presença das árvores de eucalipto ao redor de metade da área experimental, à SE e NE, formando um quebra-vento, pode ter contribuído para que os valores de estimativa de perdas e deriva encontrados fossem baixos. Em uma área sem a presença dessas plantas a pulverização possivelmente estaria sujeita à uma maior influência das condições meteorológicas.

Um outro aspecto que pode ser destacado, refere-se aos altos valores de coeficientes de variação (CV%) obtidos na análise em esquema fatorial apresentados na Tabela 6. Pode-se atribuir esses altos índices de variação dos dados ao grande número de repetições que apresentaram níveis não detectáveis do traçador ou valores muito próximos de zero, principalmente para o herbicida tebuthiuron, em função do limite de detecção dos equipamentos utilizados para as análises e do alto volume de água utilizado para lavagem dos fios de náilon e sacos de polietileno. Verificou-se que do total de 400 amostras lavadas, apenas 77 apresentaram detecção diferentes do valor zero para o tebuthiuron. Portanto, a alta frequência de valores nulos reduziu a média experimental e, consequentemente, elevou o valor do coeficiente de variação. Contudo, a SBCPD (1995) afirma que o valor do coeficiente de variação não está relacionado à precisão experimental e trata-se de uma medida da dispersão dos dados. Segundo os autores, a precisão experimental é determinada pelas relações de

variâncias (valores de F, significativos para vários fatores em estudo e interações). Apesar disso, o desenvolvimento de menores recipientes para acondicionamento dos fios de náilon, que necessitem de menores volumes do extrator, para a satisfatória lavagem do fio e de próprio recipiente, devem ser desenvolvidos.

7. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento e com base na análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O corante Azul Brilhante mostrou-se adequado para ser utilizado como traçador em estudos de perdas em aplicações de herbicidas em pré-emergência;
- As perdas determinadas em aplicações de herbicidas em pré-emergência foram de 27,4% e 31,2%, para os traçadores Azul Brilhante e tebuthiuron, respectivamente;
- Traçadores com potenciais de deriva similares podem gerar diferentes depósitos em alvos destinados à quantificação do processo;
- O modelo de Gompertz proporcionou ajuste adequado aos dados de frequência acumulada para as porcentagens de depósitos dos traçadores Azul Brilhante e tebuthiuron, em relação ao total aplicado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUER, F.C. **Influência da assistência de ar na deposição e perdas em pulverizações na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- BAUER, F.C.; RAETANO, C.G. Assistência de ar na deposição e perdas de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.2, p. 271-276, 2000.
- BLANCO, H.G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de plantas daninhas. **O Biológico**, São Paulo, v. 38, p. 343-350, 1972.
- BLEASDALE, J.K.A. Studies on plant competition. In: HARPER, J.L. **The biology of weeds**. Oxford: Blackwell, 1960. p. 133-143.
- BRIGHENTI, A.M. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R.S.O.; CONSTATIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 15-57.
- CAVENAGHI, A.L. et al. Estudo de deriva e deposição de tebuthiuron em uma aplicação comercial de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS

- PLANTAS DANINHAS, 23, 2002, Gramado. **Resumos....** Londrina: SBCPD, 2002. p. 711.
- CHAIM, A. et al. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Teejet South America, 1999. 14 p. (Boletim técnico, 5).
- FOLONI, L.L. Impacto ambiental do uso de herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz-do-Iguaçu. **Palestras....** Londrina: SBCPD, 2000. p. 49-91.
- GAZZIERO, D.L.P. et al. Herbicide alternatives for 2,4-D in no-till cropping systems. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3, 2000, Foz do Iguaçu-Brasil. **Abstracts....** Corvallis: Weed Science Society, 2000. p. 134.
- HARRIS, B.J. et al. Determination of pendimethalin (Prowl 480 EC) spray drift from ground applications. **Journal of Environmental Science and Health**, s.l., v. 31, n. 5, p. 969-985, 1996.
- MACIEL, C.D.G. **Simulação do caminhamento de herbicidas em diferentes tipos e quantidades de palhadas utilizadas no sistema de plantio direto**. 2001. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- MATTHEWS, G.A. General comments. In:____. **Pesticides to crops**. London: Imperial College Press, 1999. p. 287-299.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139 p.
- MILLER, L.C.; RESENDE, L.C.L.; MEDEIROS, A.M.L. Manejo de herbicidas na lavoura de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 4, p. 9-13, 1995.
- MILLER, P.C.H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G.A.; HISLOP, E.C. **Application technology for crop protection**. Oxon: CAB International, 1993. p. 101-122.
- MILLER, P.C.H.; HADFIELD, D.J. A simulation model of the spray drift from hydraulic nozzles. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 42, n. 2, p. 135-147, 1989.

MOKEBA, M.L. et al. Computer modelling of the meteorological and spraying parameters that influence the aerial dispersion of agrochemical sprays. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 41, n. 4, p. 149-199, 1998.

MORTON, H.L. et al. Soil applied herbicides for brush control in southwestern United States and northeast Brazil. In: INTERNATIONAL RANGELAND CONGRESS, 1, 1978, Denver-USA. **Proceedings...** Denver-USA: Society for Range Management, 1979. p. 647-650.

NOGUEIRA, H.C.; ANTUNIASSI, U.R.; VELINI, E.D. Avaliação da uniformidade de deposição e perdas de calda na utilização de um pulverizador de herbicidas em ferrovias. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 27-43, 1996.

OZKAN, H.E. **Reduzindo a deriva nas pulverizações**. Disponível em: <<http://www.comam.com.br>>. Acesso em: 17 jul. 2001.

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

PITELLI, R.A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4. Londrina: edição dos autores, 1998. 648 p.

SILVA, M.A.S. **Depósitos da calda de pulverização no solo e em plantas de tiririca (Cyperus rotundus L.) em diferentes condições operacionais**. 2000. 57 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE DEFESA AGRÍCOLA. **Vendas de defensivos agrícolas por classe – 2001**. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

SOUZA, R.T. Efeito da eletrização de gotas na variabilidade de depósitos de pulverização e eficácia teórica do glyphosate no controle de plantas daninhas na cultura da soja. 2002. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas,

Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

THREADGILL, E. D.; SMITH, D. B. Effects of physical and metereological parameters on the drift of controlled-size droplets. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 18, n. 1, p. 51-56, 1975.

TOFOLI, G.R. **Efeito do tamanho do alvo e condições operacionais sobre a uniformidade de deposição de pulverizações em pré-emergência**. 2001. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

TOMAZELA, M.S. **Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da densidade populacional de Brachiaria plantaginea (Link) Witch, volume e ângulo de aplicação**. 1997. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ULUDAG, A.; KUSDEMIR, A.; UREMIS, I. Drift effects of 2,4-D on cotton. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3, 2000, Foz do Iguaçu-Brasil. **Abstracts....** Corvallis: Weed Scienci Society, 2000. p. 242.

VELINI, E.D. **Estudos e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia**. 1995. 250 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

VELINI, E.D. et al. Utilização da condutividade elétrica para avaliação do depósito da calda de pulverização em alvos ou folhas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 20, 1995, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1995. p.427-429.

VELLOSO, J.A.R.; GASSEN, D.N.; JACOBSEN, L.A. Características da tecnologia de aplicação. In:____. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizadores de barra**. Passo Fundo: Centro Nacional de Pesquisa de Trigo/Embrapa, 1984. p.10-14.

YATES, W.E.; EKESSON, N.B.; BAYER, D.E. Drift of glifosate sprays applied with aerial and ground equipment. **Weed Science**, Champain, v.26, n. 6, p.597- 604, 1978.