

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE  
PULVERIZADORES LOGARÍTMICOS**

**ANDERSON LUIS CAVENAGHI**  
Engenheiro Agrônomo

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

Fevereiro - 1999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE  
PULVERIZADORES LOGARÍTMICOS**

**ANDERSON LUIS CAVENAGHI**  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: **Prof. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI**

Co-orientador: **Prof. DR. DAGOBERTO MARTINS**

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

Fevereiro - 1999

**OFEREÇO**

**a meus pais:**

**Alaécio e Regina**

**DEDICO**

**À**

**DANIELA**

**E**

**FERNANDA**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini pela amizade, humildade e simplicidade no gesto de orientar.

Ao Prof. Dr. Roberto Martins pela atuação na co-orientação e sugestões.

Ao Sr. Affonso M. de Carvalho e Sra. Neide G. Carvalho pelo carinho e incentivo em vários momentos.

Ao Prof. Dr. Nilton L. Souza pela amizade e orientação nas fases iniciais deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcelo A. Pavan, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Proteção de Plantas.

Aos amigos Luiz Antônio Palladini, Cristina Mendonça e Cristiane Mendonça pela valiosa colaboração em várias etapas no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Depto. de Agricultura e Melhoramento Vegetal pela amizade e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários da biblioteca pela paciência e disposição em ajudar sempre.

Aos amigos Marco A. S. Silva, Luciano S. Soares pela amizade.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação pela dedicação na organização dos documentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
5.1. Equipamentos e materiais utilizados na execução dos experimentos.....	15
5.2. Experimento em Laboratório.....	17
5.2.1. Montagem do equipamento para simular aplicação logarítmica.....	17
5.2.2. Preparo, coleta e análise das soluções do experimento em laboratório.....	18
5.3. Experimento no campo.....	20
5.3.1. Preparo das soluções para pulverização.....	21
5.3.2. Montagem do experimento no campo.....	22
5.3.3. Condições operacionais durante o experimento.....	23
5.3.4. Coleta das lâminas.....	26
5.3.5. Análise das soluções coletadas.....	26
5.4. Equações utilizadas para ajuste dos dados experimentais.....	28
5.4.1. Experimento em laboratório.....	28
5.4.2. Experimento no campo.....	29

5.5. Análise estatística dos dados obtidos.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
6.1. Considerações finais.....	58
7. CONCLUSÕES.....	59
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
Lista de Quadros.....	VI
Lista de Figuras.....	VII

## LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Condições climáticas durante as aplicações.....	23
2	Tempos em segundos marcados de metro em metro para a aplicação da parcela em cada repetição.....	25
3	Resultados da análise de regressão dos dados obtidos em laboratório, partindo do ponto 0. Sem a curva da fluorescência e utilizando-se o Modelo de Gompertz simplificado $Y = a(1 - e^{-b-cX})$ onde: $a = 100$ e $b = 4,60517$ .....	3
4	Resultados da análise de regressão dos dados obtidos em laboratório, partindo-se do ponto 50 e utilizando-se o Modelo logarítmico $Y = 10(2 - cX) \log 2 - eX$ .....	9
5	Resultados da análise de regressão entre o tempo e a concentração de cobre coletada pelas lâminas no campo e utilizando-se o Modelo de Gompertz $Y = a(1 - e^{-b-cX})$ .....	47

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
1 Pulverizador Logarítmico.....	16
2 Equipamento montado para simular a aplicação logarítmica em laboratório.....	19
3 Leitura de condutividade elétrica das soluções.....	19
4 Solução na placa para leitura de absorbância.....	21
5 Distribuição das placas de madeira na parcela.....	24
6 Lâmina colocada para a coleta da solução pulverizada.....	24
7 Frasco plástico utilizado para a coleta das lâminas.....	27
8 Coleta das lâminas.....	27
9 Leituras de fluorescência e condutividade na Simulação 1.....	33
10 Curva de concentração da solução de NaCl e da solução do corante azul brilhante na Simulação 2.....	33
11 Percentagem de troca do NaCl em laboratório na Simulação 1, partindo-se do ponto 0, ajustada pelo Modelo de Gompertz.....	37
12 Percentagem de troca do NaCl em laboratório na Simulação 2, partindo-se do ponto 0, ajustada pelo Modelo de Gompertz.....	37
13 Percentagem de troca do corante azul brilhante em laboratório na Simulação 2, partindo-se do ponto 0, ajustada pelo Modelo de Gompertz.....	38
14 Percentagem de troca das duas simulações juntas, partindo-se do ponto 0, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.....	38

15	Percentagem de troca do NaCl na Simulação1, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logarítmico.....	40
16	Percentagem de troca da fluoresceína na Simulação1, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logarítmico.....	40
17	Percentagem de troca do NaCl na Simulação 2, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logarítmico.....	41
18	Percentagem de troca do corante azul brilhante na Simulação 2, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logarítmico.....	41
19	Percentagem de troca das Simulações 1 e 2 juntas, partindo-se do ponto 50, ajustadas pelo Modelo Logarítmico.....	42
20	Percentagem de troca das Simulações 1 e 2 juntas, sem a curva da fluoresceína, partindo-se do ponto 50, ajustadas pelo Modelo Logarítmico.....	42
21	Concentrações médias de Zinco na repetição 1 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.....	44
22	Concentrações médias de Zinco na repetição 2 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.....	44
23	Concentrações médias de Zinco na repetição 3 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.....	45

24	Concentrações médias de Zinco na repetição 4 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.....	45
25	Concentrações médias de Zinco nas 4 repetições juntas em função do tempo em cada metro da parcela para cada repetição.....	46
26	Concentrações médias de cobre na repetição 1 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.....	48
27	Concentrações médias de cobre na repetição 2 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.....	48
28	Concentrações médias de cobre na repetição 3 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.....	49
29	Concentrações médias de cobre na repetição 4 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.....	49
30	Concentrações médias de cobre das 4 repetições juntas ajustadas pelo volume.....	50
31	Percentagem de troca de cobre das 4 repetições juntas comparadas com os dados ajustados pelo volume.....	50
32	Percentagem de troca em campo e laboratório para volumes equivalentes sem ajuste pela diferença de volume.....	53
33	Volume necessário para que percentagem de troca pré-definidas fossem simultaneamente alcançadas em campo e laboratório.....	54
34	Volume necessário para que percentagens de troca pré-definidas fossem alcançadas em campo e laboratório ajustadas pela diferença	

	de volume.....	54
35	Percentagem de troca em campo e laboratório para volumes equivalentes, ajustadas pela diferença de volume.....	55

## **1. RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as curvas de aplicação de um pulverizador logarítmico, diluindo e concentrando a solução aplicada. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos, um em laboratório e outro no campo. As soluções de aplicação em ambos os casos, foram marcadas. No experimento em laboratório foram feitas duas simulações de uma aplicação logarítmica. Na primeira simulação as soluções foram marcadas com cloreto de sódio e fluoresceína e na segunda com cloreto de sódio e corante azul brilhante. As soluções foram coletadas em copos plásticos de 50ml e analisadas quanto a condutividade, fluorescência e absorbância. No campo, as soluções foram marcadas com cobre, zinco e manganês. No tanque maior do pulverizador foi colocada uma solução com cobre e manganês e no tanque menor uma solução com zinco e manganês. Durante a aplicação a concentração da solução de cobre aumentava e a de zinco diminuía. O manganês estava presente em ambos os tanques na mesma concentração para marcar a variação no volume de aplicação durante o experimento. Foram utilizadas lâminas de microscopia para a coleta das soluções aplicadas no campo. Após a aplicação as lâminas foram colocadas em frascos plásticos e posteriormente lavadas. As soluções obtidas na lavagem das lâminas foram

analisadas em em espectrofotômetro de absorção atômica. Os dados obtidos foram submetidos a análise de regressão e ajustados a modelos matemáticos que melhor refletissem as curvas de aplicação do pulverizador logarítmico. O modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos foi o Modelo de Gompertz  $Y = e^{[a - e^{(-b - c x)}]}$  e os coeficientes de determinação obtidos pela aplicação deste modelo foram 0,997376 para os dados de laboratório e 0,992135 para os dados de campo. As curvas de aplicação obtidas em laboratório e no campo foram coerentes e os maiores níveis de precisão foram alcançados com as curvas concentrando a solução aplicada, devido a menores variações nas concentrações no início da pulverização.

## **2. SUMMARY**

**EVALUATION AND CALIBRATION OF LOGARITHMIC SPRAYERS. Botucatu, 1999, 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.**

**Author: ANDERSON LUIS CAVENAGHI**

**Adviser: EDIVALDO DOMINGUES VELINI**

**Co-adviser: DAGOBERTO MARTINS**

The objective of this research was to try different options for the mounting and to compare different procedures for the evaluation and calibration of logarithmic sprayers. The equipment was operated increasing and decreasing the rates of tracers (NaCl, blue dye, fluorescein, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, and MnSO<sub>4</sub>). In two experiments, in

---

Keywords: Logarithmic sprayer, evaluation, calibration.

laboratory, the solutions of the tracers (NaCl, blue dye and fluorescein) were diluted, or concentrated, injecting in the tank, solutions with higher or lower concentrations, respectively. The injection was performed in steps of 10ml, using a hand operated dispenser connected to the tank by a rubber pipe; for each step of 10ml, the same volume of solution was drained from the tank, collected and analyzed to estimate the concentrations of the tracers. In the field trial,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ , and  $\text{MnSO}_4$  were used as tracers;  $\text{MnSO}_4$  was used in uniform concentrations in all solutions and enabled the estimation of the application volume (expressed in l/ha) in each target (glass plates of 7.6 x 2.6cm). The plates were washed in 30 ml of distilled water and the solutions were analyzed to assess the concentration and the total amounts of the three salts. The application volume and the concentrations of  $\text{CuSO}_4$  and  $\text{ZnSO}_4$  were estimated using these data. It were performed regression analysis using logarithmic ( $Y = 10^{2-cX}$  or  $\log Y = 2-cX$ ) and Gompertz ( $Y = e^{[a - e^{(-b - cx)}]}$ ) models; the concentrations of the tracers and the percent of liquid in the tank that was substituted were expressed as functions of the spraying time, distance from the start point of the plot or total volume of liquid sprayed or pumped. The best fitness was obtained for the Gompertz model and the determination coefficients were 0,997376 and 0,99214 for the laboratory and field studies, respectively. The fitness and the value of the parameters of the regression curves for the laboratory and field studies were similar.

### **3. INTRODUÇÃO**

Plantas daninhas, insetos e doenças, interferindo no desenvolvimento das culturas, são responsáveis por perdas consideráveis na produção agrícola, chegando em alguns casos a ocasionar a perda total da produção.

A indústria brasileira de defensivos agrícolas oferece ao agricultor quase 500 diferentes produtos comerciais, entre inseticidas, acaricidas, fungicidas e herbicidas, correspondendo a cerca de duas centenas de ingredientes ativos, apresentados isoladamente ou em misturas (Ferreira & Tsunehiro, 1998).

Segundo Willes (1994), o Brasil se situa entre os maiores consumidores de defensivos agrícolas do mundo, sendo que mais de 50% dos defensivos utilizados são herbicidas, dos quais 40% são aplicados em soja, e a maior parte do restante, em cana-de-açúcar; milho; arroz e outros cereais. Ainda para este autor, no Brasil, a pesquisa, desenvolvimento e testes confiáveis e independentes de pulverizadores são quase inexistentes.

Dentre os diversos insumos que oneram a produção agrícola, os defensivos agrícolas representam uma parcela significativa dos custos de produção para várias

culturas. Em culturas anuais os gastos com herbicidas podem variar de 8 a 20% do custo total de produção da cultura.

A agricultura atual, pressionada pela sociedade e entidades ligadas ao ambiente, busca novas tecnologias, para produzir com maior eficiência, utilizando somente a quantidade necessária de insumos e defensivos agrícolas.

As pesquisas desenvolvidas com defensivos agrícolas são de grande importância para que se possa adequar as dosagens a serem utilizadas. Na montagem de ensaios, a utilização de pulverizadores logarítmicos possibilita a obtenção de um grande número de dados, sem que no entanto tenha que se utilizar um grande número de parcelas, normalmente necessárias em ensaios com defensivos agrícolas.

A utilização de doses corretas de defensivos torna-se imprescindível para que se possa ter uma eficiência máxima, o que significa menor custo e maior proteção ao ambiente.

O pulverizador logarítmico aplica diferentes doses de herbicidas em uma mesma parcela, possibilitando ao pesquisador determinar qual dose do produto testado proporciona maior eficácia no controle de plantas daninhas e tolerância da cultura testada.

Para Feng et al. (1989) a variação das dosagens de herbicidas aplicados por um pulverizador logarítmico pode ser estimada por modelos matemáticos e testes laboratoriais, conforme a construção do equipamento, mas a performance do mesmo deve ser verificada através de ensaios no campo.

A averiguação na variação das concentrações das soluções aplicadas pelo pulverizador logarítmico se faz necessária antes da utilização deste, e a possibilidade de se concentrar a solução aplicada, em vez de diluir, também deve ser estudada.

O presente trabalho teve como objetivo estudar as variações nas concentrações das soluções aplicadas por um pulverizador logarítmico e confeccionar curvas de calibração para o equipamento, testando a possibilidade de se utilizar o pulverizador concentrando a solução aplicada, em vez de diluindo, como normalmente é utilizado.



Pequenas parcelas são desejáveis quando se tem uma área limitada para instalação do ensaio e trabalha-se com compostos químicos desconhecidos ou altamente tóxicos. Ries & Terry (1955), estudando o desenvolvimento de um pulverizador para herbicidas em pequenas parcelas, consideraram importantes as seguintes características: a exata aplicação do herbicida deve ser facilmente atingida em pequenas parcelas; o custo deve ser baixo; a construção e operação devem ser simples; a operação deve ser exata e eficiente em várias condições de solo; a troca de um herbicida por outro deve ser rápida; a contaminação entre herbicidas deve ser nula; a pressão uniforme deve ser mantida; e os aparatos devem ser suficientemente leves para permitir fácil operação por uma pessoa, sem necessitar de rodas, tratores ou pessoas extras.

Estes mesmos autores desenvolveram um pulverizador, para ensaios com herbicidas, montado apenas com um pequeno cilindro de CO<sub>2</sub> e uma garrafa de vidro onde se colocava a solução a ser aplicada. Na tampa da garrafa de vidro haviam dois furos, sendo um para entrada da pressurização e outro para a saída do líquido para a barra de pulverização. A pressão era mantida constante pelo uso de um diafragma regulador de pressão colocado no sistema, porém este diafragma não possibilitava a troca do valor de pressão, que era sempre a mesma em qualquer aplicação. O sistema de pulverização era preso à cintura do operador por um cinto que o tornava prático e fácil de operar. Este sistema não apresentava limitações de uso para diferentes terrenos, como os sistemas montados sobre rodas de bicicletas, mas ainda não possibilitava a variação da dosagem do produto aplicado dentro de uma mesma parcela.

Em um dos primeiros estudos com pulverizadores que variavam a concentração da solução aplicada, dentro de uma mesma parcela, Pfeiffer et al. (1955)

desenvolveram um pulverizador onde a concentração da solução aplicada decrescia continuamente. Estes autores adaptaram um tanque para água antes do tanque onde normalmente se colocava a solução a ser aplicada. Quando o pulverizador era acionado, todo o volume de calda que saía do tanque para barra de pulverização era repostado pela água, diluindo, assim, a solução inicialmente preparada.

Baseando-se nos princípios descritos por Pfeiffer et al. (1955), Leasure (1959) propôs um pulverizador logarítmico para uso em pequenas parcelas. O pulverizador era montado sobre rodas de bicicletas e impulsionado por um pequeno motor; possuía dois reservatórios, sendo um para a solução concentrada a ser pulverizada (tanque do concentrado) e outro para água que funcionava como diluente da solução concentrada (tanque do diluente). No momento em que se iniciava a pulverização, a solução começava a sair do tanque do concentrado para a barra de pulverização, e o volume que saía era substituído imediatamente pela água do tanque do diluente, fazendo com que a concentração da solução aplicada fosse diminuindo. Para confeccionar curvas de calibração do pulverizador, este autor mediu o índice refratométrico de uma solução de cloreto de cálcio que foi colocada no reservatório do concentrado e coletada a cada cinco segundos a partir do início da pulverização. Segundo o autor a curva de redução da concentração da solução assemelhava-se às curvas de meia vida de radio isótopos. A concentração da solução aplicada pelo bico de pulverização em dado tempo era função de diversas variáveis, como: a vazão de trabalho, o volume do tanque do concentrado, a concentração inicial, a velocidade de aplicação e o tempo gasto desde o início da pulverização.

A relação tempo–dose aplicada era dada, para o sistema, pela equação:

$C_t = C_0 e^{-kt}$  onde  $C_0$  é a concentração inicial;  $C_t$  é a concentração no tempo  $t$ ;

R é a vazão; t é o tempo; V é o volume do tanque do concentrado; k e m são constantes ajustadas para o sistema.

Montiel (1976) desenvolveu um pulverizador manual utilizando os mesmos princípios do pulverizador logarítmico, porém tentando manter por mais tempo a aplicação de uma mesma concentração da solução. Sendo assim, a variação da dosagem aplicada não era constante como no pulverizador logarítmico. A amplitude das dosagens aplicadas era dada pelo acionamento de uma chave colocada no tanque do concentrado.

Estudando um pulverizador logarítmico montado com uma fonte de pressurização e dois reservatórios interligados, um para solução diluente e outro para a solução concentrada, Almeida et al. (1982) desenvolveram a expressão:  $C_d = C_i \frac{V_c}{V_d + V_c} \left( \frac{x}{x_0} \right)^k$ ; onde:  $C_d$  é a concentração da solução aplicada na distância x;  $C_i$  é a concentração inicial da solução aplicada;  $V_d$  é a quantidade de diluente gasto para atingir o ponto x e  $V_c$  é o volume de solução concentrada a ser usado para a aplicação. Esta expressão permite determinar a concentração da calda aplicada em qualquer ponto da parcela, uma vez que se conheça a concentração inicial ( $C_i$ ), o volume do diluente gasto até o ponto x ( $V_d$ ) e o volume de concentrado necessário para a aplicação ( $V_c$ ).

O pulverizador logarítmico aplica diferentes doses de herbicidas, ou outros compostos, em uma única parcela, em seguida o pesquisador pode determinar qual a dose providencia a melhor eficiência no controle de ervas e melhor tolerância da cultura testada em um local específico.

Weidenhamer et al. (1983), utilizando um pulverizador logarítmico para estudar a fitotoxicidade do herbicida dicamba em soja, destacaram, pela utilização do

equipamento, o grande número de dosagens examinadas, sem, no entanto, necessitar de uma grande área para a instalação do ensaio.

Para avaliar a performance de um pulverizador logarítmico, Feng et al. (1989) analisaram a deposição de hexazinona em parcelas de 2 metros de largura por 50 metros de comprimento, coletando a solução pulverizada em placas de Petri colocadas sobre postes de 1,5m de altura. A cada 5 metros da parcela foram colocados dois postes; um a 0,5 metro à esquerda e outro 0,5 metro à direita da linha central da parcela. As amostras coletadas foram avaliadas por cromatografia gasosa. O pulverizador utilizado para o estudo com hexazinona constava de uma fonte de pressão; um tanque de 2 litros para água destilada usada como diluente; um tanque de 0,5 litro para a calda com herbicida e uma barra de pulverização com 4 bicos. Através da equação  $\text{Log } Y = A_0 + A_1 \cdot X$ , onde  $A_0$  é a interseção,  $A_1$  é a inclinação dada pela regressão dos dados obtidos e  $X$  é a distância em metros desde o início da parcela, pode-se calcular  $Y$ , que é a dose de hexazinona em kg/ha em cada metro da parcela. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da curva utilizado pelos autores foi 0,95.

Em ensaios utilizando pulverizadores logarítmicos e que envolvam comparações entre diferentes volumes de aplicação, existe a necessidade de se modificar, além do bico de pulverização, a capacidade do tanque do concentrado e/ou o tamanho da parcela utilizada para que se possa obter uma mesma amplitude de dosagens em todos os volumes testados.

Estudando os efeitos de dosagens e volumes de aplicação de glyphosate no controle de *Brachiaria decumbens* Stapf, Silva (1996) utilizou um pulverizador logarítmico variando a dosagem aplicada do herbicida de 8,007 a 1,160 l de p.c./ha em quatro volumes de aplicação: 93,16; 187,17; 291,19 e 393,59 l/ha. Na construção do pulverizador, a

maior dificuldade correspondeu à adequação do tamanho do reservatório da solução do produto, a cada volume de aplicação. Em alguns casos tornou-se necessário reduzir o volume dos reservatórios (garrafas plásticas) disponíveis no mercado introduzindo-se volumes conhecidos de cola nos mesmos. O ajuste do volume do reservatório foi necessário para que houvesse um equilíbrio entre este e a vazão de calda do tratamento, permitindo que as amplitudes de dosagens fossem similares nas várias condições testadas. Para o menor volume de aplicação (93,16 l/ha), haveria necessidade de se utilizar reservatórios ainda menores que os utilizados (330ml). No entanto, os testes realizados indicaram que com o uso de reservatórios pequenos ocorre a formação de turbulência no interior do mesmo, reduzindo o coeficiente de determinação da curva dosagem x tempo a menos de 0,95. A única solução foi o aumento do tamanho da parcela de 50 para 100 metros, permitindo que a amplitude de dosagens do tratamento com menor vazão se aproximasse das obtidas para as demais vazões.

Velini et al. (1997) observaram a interação entre o espalhante Aterbane BR e doses do herbicida glyphosate no controle de *Brachiaria decumbens* Stapf e *Panicum maximum* Jacq. Fixando a dose do espalhante e variando a do herbicida foi possível observar a melhor interação entre os dois produtos, isto é, qual concentração do espalhante permitiu reduzir a dose do herbicida, alcançando ainda níveis de controle satisfatórios.

Osipe (1998) utilizou o pulverizador logarítmico para desenvolver um estudo semelhante ao de Velini et al. (1997), estudando o efeito de concentrações de uréia na eficácia do herbicida sulfosate para o controle de *Brachiaria decumbens* Stapf e *Panicum maximum* Jacq. Este estudo possibilitou averiguar qual porcentagem de uréia adicionada ao sulfosate permite maximizar sua eficiência e quais as doses necessária do herbicida para alcançar níveis de controles pré-fixados.

Todos os trabalhos citados nesta revisão estudam a diluição de doses de herbicidas, mas em nenhum deles tentou-se trabalhar com o pulverizador elevando a dosagem aplicada do herbicida, onde se pode partir de doses menores e eliminar a necessidade de troca dos tanques quando se trabalha com diferentes volumes de aplicação. Essa possibilidade, testada neste trabalho, é conseguida invertendo-se as soluções dos tanques de concentrado e diluente.

Apesar das possibilidades proporcionadas pelo pulverizador logarítmico no desenvolvimento de ensaios com defensivos agrícolas, deve ser destacada a escassez de publicações envolvendo esse equipamento.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

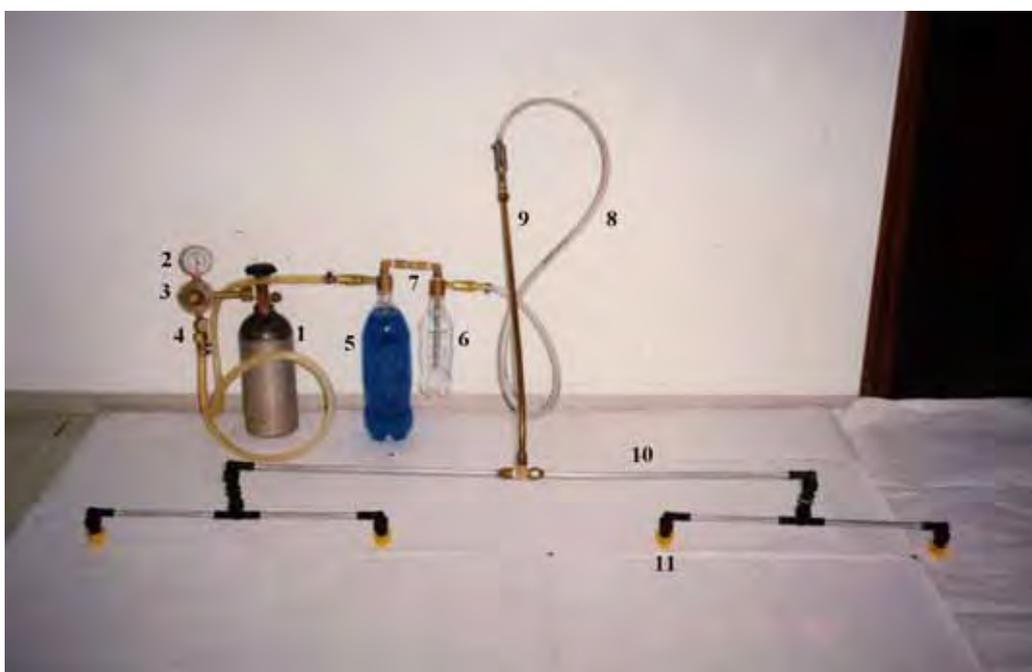
Com o objetivo de estudar as variações nas concentrações das soluções aplicadas por um pulverizador logarítmico, através da coleta e análise destas soluções e confecção de curvas de calibração, foram realizados dois experimentos, sendo um em laboratório e outro no campo.

O experimento em laboratório foi realizado no Laboratório de Matologia, pertencente ao Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal e o experimento no campo foi realizado em área pertencente às Fazendas de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP), ambos localizados na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Botucatu, SP.

### **5.1. Equipamentos e materiais utilizados na execução dos experimentos**

Os principais equipamentos e materiais utilizados na realização dos trabalhos foram:

- **Pulverizador Logarítmico Manual:** o pulverizador montado para este experimento era constituído por um botijão de gás carbônico para a pressurização do sistema; bolsa para transporte do botijão de gás carbônico; manômetro; registro; válvula reguladora de pressão; dois tanques para soluções a serem pulverizadas (garrafas plásticas com capacidade de 2 e 0,6 litros); pescadores ligando os dois tanques de soluções; mangueiras para conexões do sistema; lança de pulverização; e barra de pulverização com 4 bicos DG 110.02 VS equidistantes 0,5m (Figura 1).



**Figura 1.** Pulverizador Logarítmico: 1. Botijão de CO<sub>2</sub>; 2. Manômetro; 3 Válvula reguladora de pressão; 4. Registro; 5. Tanque de 2 litros; 6. Tanque de 0,6 litro; 7. Pescadores; 8. Mangueiras; 9. Lança de pulverização com gatilho; 10. Barra de pulverização; e 11. Bicos de pulverização.

- **Condutímetro:** Ciperscan 100, com precisão de 0,01 $\mu$ S e leitura na faixa de 0,01 $\mu$ S a 200mS.
- **Espectrofotômetro de Absorção Atômica**

- **Espectrofotômetro -Fluorímetro: FL 600 FA**
- **Balanças de precisão de 2 e 4 casas decimais**
- **Dispensadores de 25 e 50ml**
- **Cronômetro com memória para 100 números**
- **Pipetas automáticas de 1 – 5ml**
- **Lâminas para microscopia de 7,6 x 2,6cm**
- **Placas com 24 poços para leitura em fluorímetro**
- **Frascos plásticos com tampa utilizados em citologia para lavagem de lâminas**
- **Copos plásticos de 50ml**
- **Placas de madeira com 1 metro de comprimento por 12cm de largura**
- **Drogas para preparo das soluções:- Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); Sulfato de Zinco ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); Sulfato de Manganês ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ); Cloreto de sódio (NaCl), corante azul brilhante e fluoresceína sódica.**

## **5.2 Experimento em Laboratório**

### **5.2.1. Montagem do equipamento para simular aplicação logarítmica**

Utilizou-se, no experimento de laboratório, uma garrafa de vidro de 4 litros que substituiu o tanque de 2 litros. Um dispensador de 25ml foi colocado na boca da garrafa para gerar o fluxo de saída da solução. A saída do dispensador foi conectada ao pescador, que na aplicação com o equipamento normal fica dentro da garrafa de 2 litros, através de uma mangueira de latex. No outro pescador foi colocado uma garrafa plástica de 0,6 litro (Figura 2).

### 5.2.2. Preparo, coleta e análise das soluções do experimento em laboratório

Neste experimento foram realizadas duas simulações. Para a primeira simulação foram preparadas duas soluções distintas, para que possibilitassem a observação do comportamento das soluções nas duas garrafas. Foram preparados 3 litros de uma solução contendo 120g de cloreto de sódio (NaCl), ou seja, uma solução a 4%, que foi colocada na garrafa de 4 litros. Para a garrafa de 0,6 litro foi preparado 1 litro de uma solução contendo 0,001g de fluoresceína (concentração de 0,0001%). As soluções colocadas nas garrafas permitiram observar, no decorrer do experimento, a variação da concentração dos traçantes na solução que saía para a barra de pulverização, através da leitura da condutividade e fluorescência da solução coletada.

Toda vez que o dispensador era acionado, forçava a passagem de 10ml da solução da garrafa de 4 litros para a garrafa de 0,6 litro, fazendo com que a condutividade da solução nessa garrafa fosse aumentando e a fluorescência diminuindo, e no final do sistema saíssem 10ml. Quando esses 10ml chegavam ao final do sistema, eram coletados em copos plásticos. Considerando 200 amostragens, foram bombeados 2000ml através do sistema. Após a coleta, a solução contida em cada copo foi avaliada quanto a condutividade (Figura 3), utilizando-se um condutivímetro com precisão de 0,01 $\mu$ S a 200mS. Para a leitura de fluorescência utilizou-se 1,5ml de cada copo que foram colocados em placas contendo 24 poços, apropriadas para leitura de fluorescência em fluorímetro FL 600 FA. Nesta simulação observou-se uma interferência da solução com cloreto de sódio nas leituras de fluorescência da solução formada com fluoresceína, já que estas soluções se misturavam na garrafa de 0,6 litro. Portanto, foram utilizados os dados de condutividade, apenas.



**Figura 2.** Equipamento montado para simular a aplicação logarítmica em laboratório.



**Figura 3.** Leitura da condutividade elétrica das soluções.

Na segunda simulação, a solução de fluoresceína da garrafa de 0,6 foi por uma solução contendo 0,0025% de corante azul brilhante brilhante e a solução da garrafa de 4 litros foi idêntica a utilizada na primeira simulação.

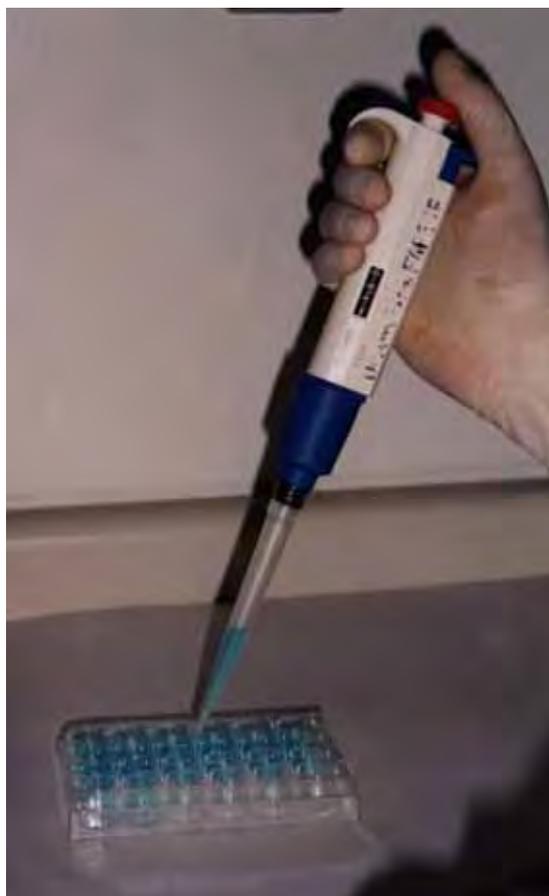
A solução com corante azul permitiu avaliar, através da determinação da absorvância, a variação da concentração da solução na garrafa de 0,6 litro, ocasionada pela entrada da solução da garrafa de 4 litros. Utilizou-se, para o preparo de ambas as soluções, água destilada. A garrafa de 0,6 litro foi preenchida totalmente com a solução com corante azul. Novamente, acionando o dispensador, coletava-se 10ml da solução no final do sistema. Após a coleta, a solução contida em cada copo foi avaliada quanto a absorvância e condutividade. Para a leitura de absorvância foram utilizados 1,5ml de cada solução, colocados em placas contendo 24 poços (Figura 4), apropriadas para leitura de absorvância em Espectrofotômetro-fluorímetro FL 600 FA. A condutividade foi avaliada através de condutivímetro com precisão de  $0,01\mu\text{S}$  e leituras na faixa de  $0,01\mu\text{S}$  a  $200\text{mS}$ .

Os copos plásticos de 50ml foram previamente testados quanto a possibilidade de contaminação, e as soluções da segunda simulação foram previamente testadas quanto a possibilidade de uma solução interferir na leitura de absorvância ou condutividade da outra, devido a mistura das soluções na garrafa de 0,6 litro.

### **5.3. Experimento no campo**

O experimento no campo foi realizado para observar as variações nas concentrações dos traçantes na solução aplicada por um pulverizador logarítmico, e a partir daí confeccionar curvas de calibração para o pulverizador.

Utilizou-se, para este experimento, um pulverizador logarítmico constituído segundo o esquema apresentado na Figura 1.



**Figura 4.** Solução na placa para leitura de absorbância.

### **5.3.1. Preparo das soluções para pulverização**

Foram preparadas três soluções distintas para a aplicação. Uma solução com cobre e manganês, outra com zinco e manganês e uma última contendo apenas manganês. Este último elemento estava presente nas três soluções, na mesma concentração, e tinha como função marcar e identificar qualquer variação no volume aplicado, isto é, toda vez

que a dosagem de manganês, que deveria ser constante, mudasse, indicava uma variação no volume aplicado.

Foram preparados 10 litros de uma solução com água destilada contendo 307,87g de  $Mn.SO_4.H_2O$  e 786,40g de  $Cu SO_4.5H_2O$ , obtendo-se uma solução com 1% de Mn e 2% de Cu. Esta solução foi utilizada para preencher o tanque de 2 litros do pulverizador em todas as repetições.

Para o tanque de 0,6 litro, foram preparados 5 litros de uma solução com água destilada contendo 153,93g de  $Mn.SO_4.H_2O$  e 439,67g de  $ZnSO_4.7H_2O$ , obtendo-se uma solução com 1% de Mn e 2% de Zn.

Foram preparados, ainda, 10 litros de uma terceira solução com água destilada contendo 307,87g de  $Mn.SO_4.H_2O$ , obtendo-se uma solução com 1% de Mn, a qual foi utilizada para preencher o sistema de mangueiras e barra, após a lavagem do pulverizador logarítmico, com água destilada, entre uma repetição e outra, para que a solução de manganês estivesse sempre presente.

### **5.3.2. Montagem do experimento no campo**

Para a realização do experimento montou-se uma parcela de 30 m<sup>2</sup> (1 x 30m), onde foram estendidos no solo uma trena do mesmo comprimento da parcela e ao seu lado uma faixa de papel manilha (papel de embrulho), sobre o qual foram colocadas placas de madeira de 01 metro de comprimento por 12cm de largura, transversal ao sentido do caminamento durante a aplicação. As placas de madeira foram colocadas espaçadas de metro em metro em toda a parcela, e entre os metros 4 e 7 foram colocadas de 20 em 20cm para tentar marcar o início da aplicação dos traçantes, isto é, o momento da troca do líquido da

barra pelo líquido do tanque (Figura 5). Sobre as tábuas foram fixados, com o auxílio de percevejos, copos plásticos de 50ml, invertidos, sobre os quais foram colocadas lâminas de 7,6cm x 2,6cm para a coleta das soluções aplicadas (Figura 6). Os copos plásticos foram fixados 20cm distantes um do outro, totalizando 4 copos por placa de madeira.

O centro da barra, durante a aplicação, passava sobre o centro da tábua. Após cada repetição as lâminas eram trocadas e cada copo era coberto por outro copo limpo para evitar qualquer contaminação entre uma repetição e outra.

### 5.3.3. Condições operacionais durante o experimento

Foram realizadas quatro repetições da aplicação das soluções com pulverizador logarítmico. Em cada repetição foram medidas a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento (Quadro 1).

**Quadro 1.** Condições climática durante as aplicações

<b>Condições Climáticas</b>	<b>Repetição 01</b>	<b>Repetição 02</b>	<b>Repetição 03</b>	<b>Repetição 04</b>
<b>Temperatura °C</b>	<b>23</b>	<b>24,5</b>	<b>24,5</b>	<b>25,5</b>
<b>Umidade relativa do ar %</b>	<b>62</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>56</b>
<b>Velocidade do vento m/s</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>

As condições operacionais durante aplicação foram: pressão de trabalho de 2,5bar; velocidade de caminamento de 1m/s; barra de pulverização com bicos Teejet DG 110.02 VS, que foram mantidos a 0,5 metro de altura do solo, e volume de aplicação utilizado foi 240 l/ha.

Durante a aplicação de cada repetição, os tempos foram marcados pela passagem do pulverizador em cada metro da parcela (Quadro 2).



**Figura 5.** Distribuição das placas de madeira na parcela.



**Figura 6.** Lâmina colocada para coleta da solução pulverizada.

**Quadro 2.** Tempo em segundos, marcados de metro em metro, para aplicação da parcela em cada repetição.

METRO	REPETIÇÃO 1	REPETIÇÃO 2	REPETIÇÃO 3	REPETIÇÃO 4
0	0	0	0	0
1	1,21	0,90	0,91	1,05
2	2,21	1,76	1,90	2,00
3	3,26	2,85	2,86	2,96
4	4,29	4,07	3,97	4,08
5	5,31	5,29	4,98	5,05
6	6,46	6,35	5,91	6,01
7	7,43	7,46	6,86	7,15
8	8,43	8,71	7,93	8,08
9	9,57	9,92	8,90	9,19
10	10,64	11,09	9,86	10,19
11	11,74	12,25	10,92	11,30
12	12,84	13,42	11,97	12,38
13	13,79	14,47	12,93	13,49
14	14,79	15,66	14,18	14,44
15	15,75	16,77	15,16	15,45
16	16,89	17,96	16,24	16,64
17	17,94	19,16	17,40	17,70
18	19,11	20,32	18,40	18,70
19	20,29	21,58	19,54	19,89
20	21,57	22,63	20,65	20,90
21	22,66	23,75	21,79	21,99
22	23,75	25,03	22,90	23,08
23	24,79	26,28	23,99	24,23
24	25,97	27,53	25,15	25,33
25	27,21	28,50	26,19	26,53
26	28,25	29,78	27,33	27,62
27	29,35	30,93	28,52	28,71
28	30,49	32,07	29,51	29,62
29	31,50	33,35	30,56	30,58
30	32,77	34,60	31,77	31,64
<b>TOTAL</b>	<b>32,77</b>	<b>34,60</b>	<b>31,77</b>	<b>31,64</b>

#### **5.3.4. Coleta das lâminas**

Após cada repetição, esperou-se que a solução sobre a lâmina secasse, e em seguida as lâminas foram recolhidas em frascos plásticos com capacidade de 40ml (Figura 7). Para a coleta das lâminas, a própria tampa do frasco serviu para empurrá-las para dentro do mesmo, evitando qualquer contato com outro tipo de acessório que depois tivesse que ser lavado, para a coleta da lâmina seguinte, evitando-se qualquer tipo de contaminação (Figura 8). Todo material utilizado foi previamente lavado.

#### **5.3.5. Análise das soluções coletadas**

Para a extração dos elementos cobre, zinco e manganês, contidos nas soluções coletadas nas lâminas, adicionou-se, utilizando-se um dispensador, 30ml de água destilada dentro de cada frasco; em seguida os frascos foram agitados por 30 segundos e colocados em repouso por 48 horas. Após o repouso da solução formada dentro dos frascos, os mesmos foram novamente agitados. Este procedimento possibilitou a extração de todo o material coletado pela lâmina.

A partir das soluções de lavagem das lâminas dentro de cada frasco, foram preparadas amostras para a leitura dos elementos em espectrofotômetro de absorção atômica. De cada frasco foram tomados 3ml da solução de lavagem dentro de cada frasco e colocados em outro frasco limpo, ao qual adicionou-se, com auxílio de dispensador, 27ml de água destilada. Na solução final, preparada para leitura, a concentração originalmente coletada encontrava-se diluída 300 vezes.

Repetiu-se vinte vezes a leitura de cada amostra, sendo que o valor final utilizado foi a média das leituras, dadas em ppm.



**Figura 7.** Frasco plástico utilizado para a coleta das lâminas.



**Figura 8.** Coleta das lâminas.

## **5.4. Equações utilizadas para ajuste dos dados experimentais.**

### **5.4.1 Experimento em laboratório**

Para verificar se as leituras de condutividade e absorvância da solução coletada em laboratório apresentavam-se lineares nas mais diversas concentrações obtidas, foram confeccionadas curvas de leituras de soluções com concentrações conhecidas de cloreto de sódio e corante azul. Os valores obtidos foram submetidos a análise de regressão, o que possibilitou calcular a concentração do cloreto de sódio e do corante azul em cada ponto coletado. Os valores obtidos com a regressão das leituras de condutividade foram: 0,99721 para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ); 0,0018 para interseção e 13,05969 para a inclinação. Para as leituras de absorvância os valores obtidos pela regressão foram: 0,99993 para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ); -1.35103 para a interseção e 10,66927 para a inclinação.

Para a obtenção da concentração do cloreto de sódio nas simulações 1 e 2 e do corante azul na simulação 2, nos diversos pontos coletados, utilizou-se as seguintes equações:

#### **Concentração do cloreto de sódio na simulações 1 e 2**

$$\mathbf{CSx = (LCx - interseção) / inclinação}$$

**Onde:**

**CSx** = Concentração do cloreto de sódio na solução no ponto x;

**LCx** = Leitura da condutividade em mS no ponto x;

**Interseção** = 0,0018;

**Inclinação** = 13,05969

### Concentração do corante azul na simulação 2

$$CCx = LAx \times \text{inclinação} + \text{interseção}$$

**Onde:**

**CCx** = Concentração do corante na solução no ponto x;

**LAx** = Leitura da absorbância no ponto x;

**Inclinação** = 10,66927;

**Interseção** = -1,351032489

### 5.4.2. Experimento no campo

Para a transformação das leituras de cobre, zinco e manganês de ppm para kg/ha, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Dosagem em kg/ha} = (L \times D \times A) / (T \times P)$$

**Onde:-**

**L:** Leitura em ppm;

**D:** diluição (300);

**T:** tamanho da lâmina em cm<sup>2</sup>;

**A:** ajuste de área (10<sup>8</sup>) de cm<sup>2</sup> para ha

**P:** ajuste de dosagem (10<sup>9</sup>) de µg para kg

Para o cálculo do volume aplicado em cada lâmina, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Volume real} = Vp \times DM / Dp$$

**Onde:-**

**Vp** = Volume previsto para aplicação (240l/ha)

**DM** = Dosagem de manganês coletado em cada lâmina em kg/ha

**Dp** = Dosagem prevista de manganês (2,4 kg/ha)

Para o cálculo das concentrações médias de cobre e zinco em cada metro, utilizaram-se as seguintes equações:

$$\text{Concentração média de cobre} = \text{Dmc} / \text{Vm}$$

**Onde:-**

**Dmc** = Dose média de cobre coletada pelas 4 lâminas em kg/ha colocadas no metro x

**Vm** = Volume médio aplicado nas 4 lâminas em l/ha colocadas no metro x

$$\text{Concentração média de zinco} = \text{Dmz} / \text{Vm}$$

**Onde:-**

**Dmz** = Dose média de zinco coletada pelas 4 lâminas em kg/ha no metro x

**Vm** = Volume médio aplicado nas 4 lâminas em litros/ha colocadas no metro x

### **5.5. Análise estatística dos dados obtidos**

Os dados obtidos foram submetidos a análise de regressão segundo o Modelo de Gompertz. A variável independente (x) foi o volume do líquido injetado no sistema ou o tempo de aplicação e a variável (y) correspondeu às concentrações dos traçantes. O

mesmo modelo foi ajustado aos dados de percentagem de troca, calculadas a partir das concentrações dos traçantes.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Figura 9 estão representadas as leituras de fluorescência e condutividade das soluções utilizadas na Simulação 1 do experimento em laboratório. Os dados de fluorescência não foram transformados para concentração, pois a solução contendo cloreto de sódio interferiu nas leituras de forma desordenada. A solução inicial de fluoresceína (solução padrão) apresentava leitura de 53000 unidade de fluorescência (UF), enquanto em alguns pontos em que ocorreu mistura com cloreto de sódio, foram encontrados valores de até 72000 UF, mesmo após a diluição.

Para a leitura de condutividade, nenhuma interferência foi verificada, possibilitando a observação da curva de condutividade e cálculo da concentração do cloreto de sódio em cada amostra coletada.

Os dados da Simulação 2 do experimento em laboratório estão apresentados na Figura 10 e correspondem à concentração de cloreto de sódio e do corante azul nas soluções coletadas. Pela concentração de cada traçante colocado nas soluções das simulações 1 e 2, pode se calcular a percentagem de troca das soluções no tanque de 0,6 litro nos vários pontos avaliados.

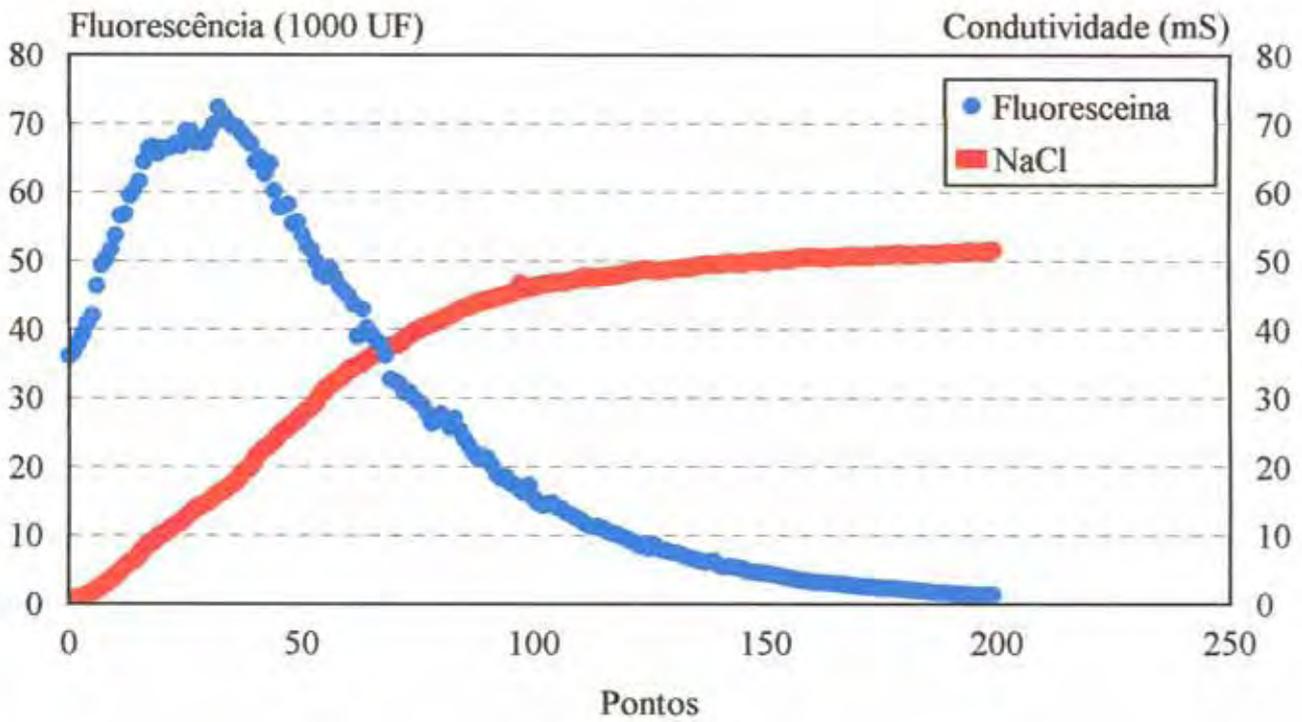


Figura 9. Leituras de fluorescência e condutividade na Simulação 1.

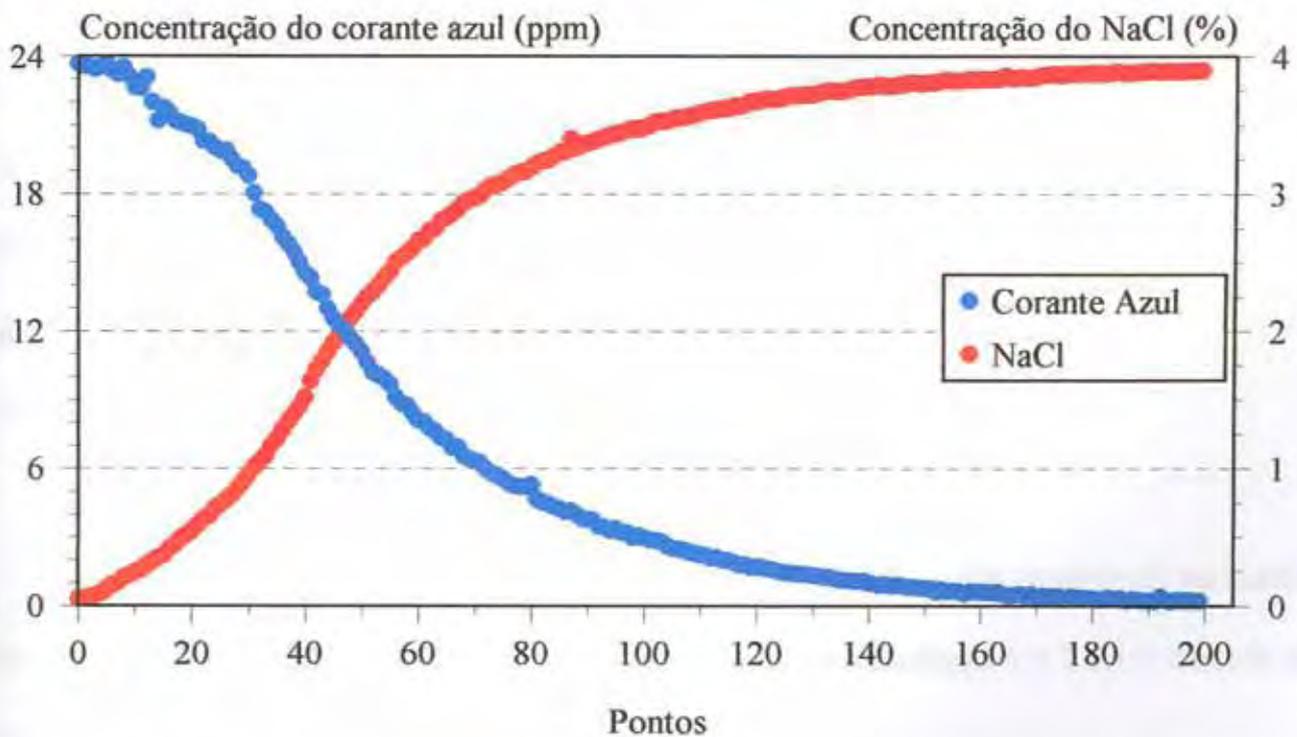


Figura 10. Curva de concentração da solução de NaCl e da solução do corante azul brilhante na Simulação 2.

Exemplificando, partindo-se de uma concentração inicial do traçante de 10g/l, uma concentração de 6g/l indicaria que 40% da solução do reservatório foi substituída.

Para o cálculo das trocas de soluções dentro do tanque, utilizou-se as seguintes equações:

**Percentagem de troca da solução com cloreto de sódio – Simulações 1 e 2:**

$$\text{Percentagem de troca} = 100 \times (C_x - C_p) / (C_i - C_p)$$

**Onde:-**

**C<sub>x</sub>** = Concentração em % da solução com NaCl no ponto x

**C<sub>p</sub>** = Concentração em % da solução padrão

**C<sub>i</sub>** = Concentração em % da solução com NaCl no ponto zero

**Percentagem de troca da solução com corante azul – Simulação 2**

$$\text{Percentagem de troca} = 100 \times (C_x - C_p) / (C_f - C_p)$$

**Onde:-**

**C<sub>x</sub>** = Concentração em ppm da solução com corante azul no ponto x

**C<sub>p</sub>** = Concentração em ppm da solução padrão

**C<sub>f</sub>** = Concentração em ppm da solução com corante azul no ponto final

O modelo que melhor se ajustou aos dados e foi empregado na análise das curvas de percentagens de troca das soluções obtidas na simulação 1 e 2 foi o Modelo de Gompertz descrito no trabalho de Velini (1995):

$$Y = e^{[a - e^{(-b - c x)}]}$$

e uma simplificação deste modelo onde o valor de  $e^a = 100$  e o parâmetro  $a$  assume o valor de 4,60517. Neste modelo a assíntota vertical corresponde ao valor de “ $e^a$ ”. O parâmetro “ $b$ ” está diretamente relacionado ao valor da ordenada quando a abscissa é nula. O parâmetro “ $c$ ” é tanto maior quanto mais côncava a curva. O Modelo de Gompertz apresentou elevada precisão de ajuste aos dados originais, visto que os valores de  $R^2$  apresentados no Quadro 3, foram sempre superiores a 0,99.

Nas Figuras 11, 12, 13 e 14 são apresentados os dados de percentagem de troca da solução contida na garrafa de 0,6 litro, partindo-se do ponto 0, durante as simulações 1 e 2. Neste caso a curva de fluoresceína foi excluída em função da interferência do cloreto de sódio nas leituras de fluorescência, nos pontos iniciais da curva.

Os dados em laboratório não se ajustaram ao Modelo Logarítmico desde o início da aplicação. Os melhores ajustes foram obtidos para o Modelo de Gompertz. Esses resultados concordam com os obtidos por Pfeiffer et al (1955) que utilizando um pulverizador logarítmico obtiveram curvas que mais se aproximavam de Modelos Logísticos e não de Modelos Logarítmicos. Deve ser observado que o Modelo Logístico e o de Gompertz são bastante semelhantes. Neste estudo, o Modelo Logístico também foi testado, mas os coeficientes de determinação foram inferiores aos obtidos para o Modelo de Gompertz.

No entanto, a partir de um dado momento, próximo ao ponto 50, as curvas assumem um Modelo Logarítmico. Nas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 são apresentados os dados a partir do ponto 50, de cada curva, das simulações 1 e 2, incluindo-se as leituras de fluorescência. O modelo utilizado é apresentado a seguir e os resultados das análises de regressão são apresentados no Quadro 4.

$$Y = 10^{2 - cX} \text{ ou } \text{Log } Y = 2 - cX$$

**QUADRO 3.** Resultados da análise de regressão dos dados obtidos em laboratório, partindo-se do ponto 0. Sem a curva da fluorescência e utilizando-se o Modelo de Gompertz simplificado  $Y = e^a / e^{e^{(-b - cX)}}$  onde:  $e^a = 100$  e  $a = 4,60517$

	SIMULAÇÃO 1		SIMULAÇÃO 2		SIMULAÇÃO 1 E 2 JUNTAS	
	Sal	Sal	Sal	Corante Azul		
SQTotal	286663,223	303592,6196	303978,0189		719279,6204	
SQRegressão	286290,6388	303172,6998	303306,6037		717392,494	
SQResíduo	372,5842	419,9198	671,4151		1887,1264	
F Regressão	166738,8694*	156670,3012*	98479,36741*		234933,3554*	
b	-1,29188974	-1,48484628	-1,45047317		-1,39275504	
c	0,035062495	0,038979116	0,036738194		0,036609637	
R <sup>2</sup>	0,998700272	0,998616831	0,997791236		0,997376366	

\* - significativo a 1% de probabilidade

**Quadro 4.** Resultados da análise de regressão dos dados obtidos em laboratório, partindo-se do ponto 50 e utilizando-se o Modelo Logarítmico

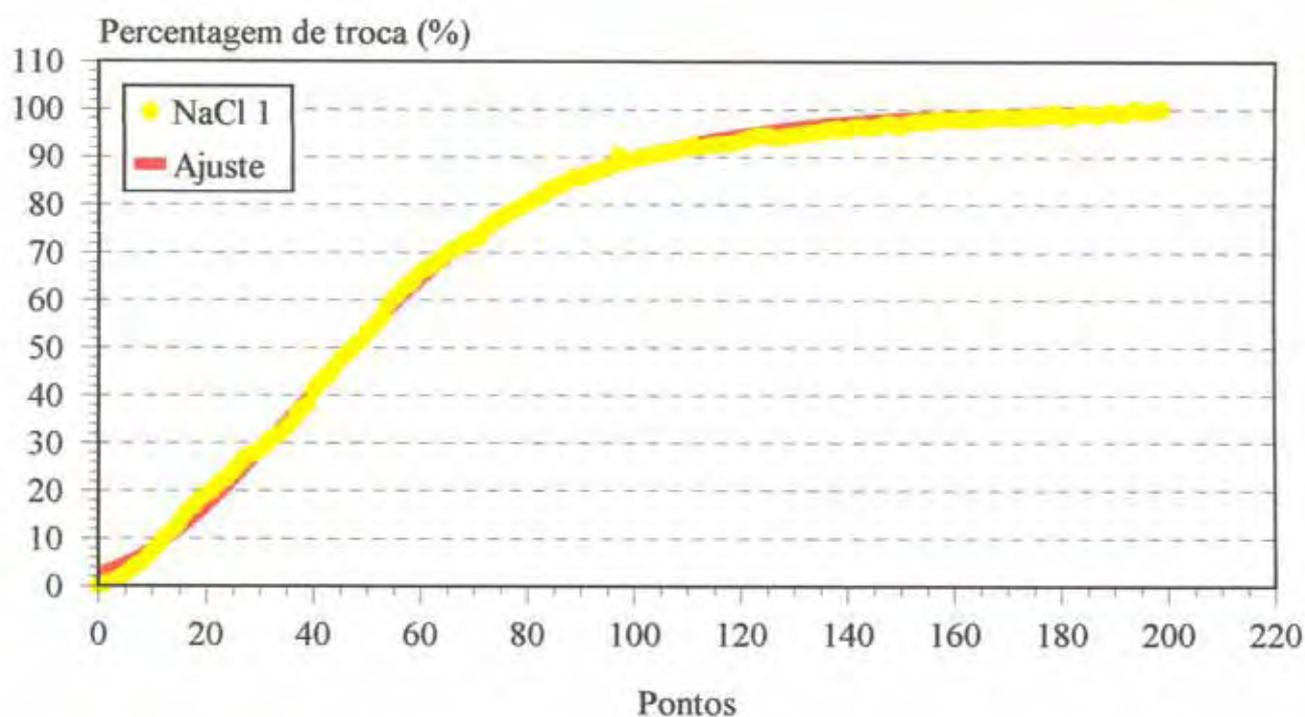
$$Y = 10^{(2 - cX)} \text{ ou } \text{Log } Y = 2 - cX$$

	SIMULAÇÃO 1			SIMULAÇÃO 2			TODAS JUNTAS	
	Sal	Fluoresceína	Sal	Corante Azul	Com fluoresceína	Sem fluoresceína		
SQTotal	200633,7431	199688,8858	202810,1102	196118,9447	506374,2224	401154,5695		
SQRegressão	200461,3463	199411,0515	202682,2917	195986,2073	503678,621	400402,433		
SQResíduo	172,39675	277,83429	127,81838	132,73741	2695,6014	752,1365		
F Regressão	196511,4658*	121296,9979*	267984,8367*	249527,2746*	115660,5633*	249674,1492*		
c	0,012586301	0,016023544	0,012800788	0,011801817	0,011899149	0,012386776		
R <sup>2</sup>	0,999140738	0,998608664	0,999369763	0,999323179	0,994676661	0,998125071		

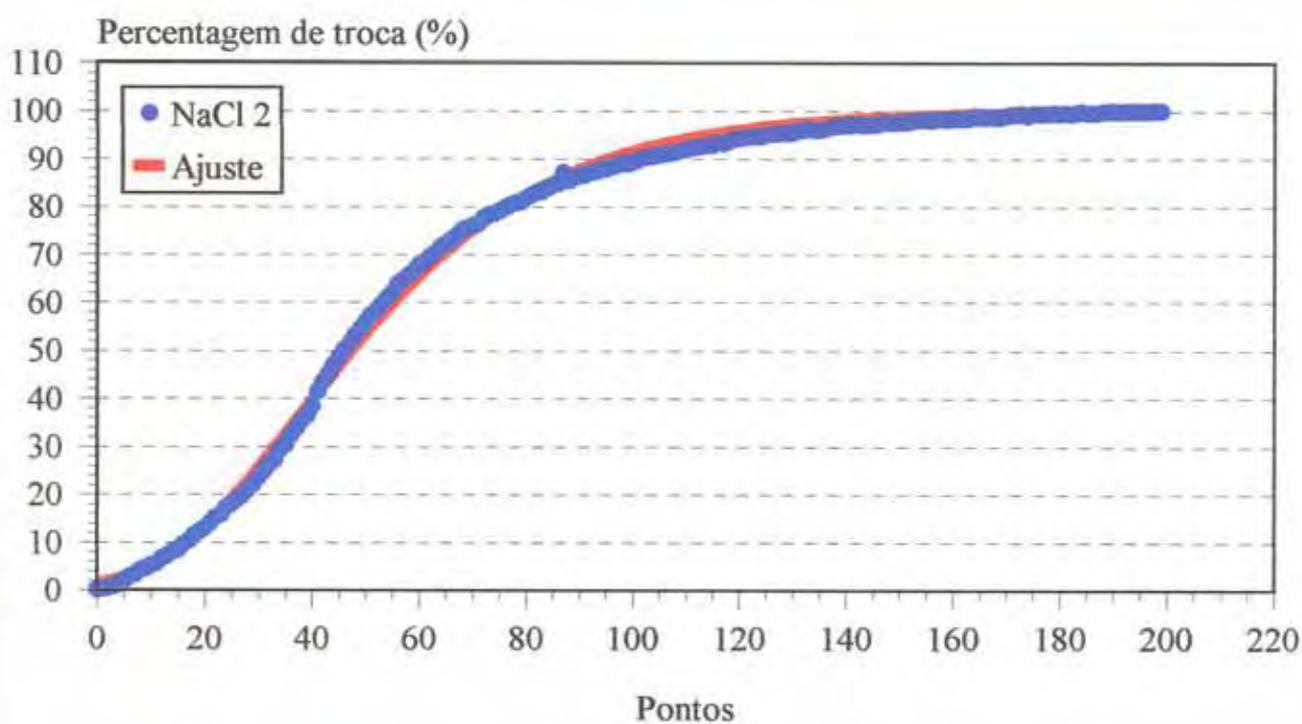
\* - significativo a 1% de probabilidade

**Quadro 5.** Resultados da análise de regressão entre o tempo e a concentração de cobre coletada pelas lâminas no campo e utilizando-seModelo de Gompertz  $Y = e^{a(e^{-b-c \cdot x})}$ 

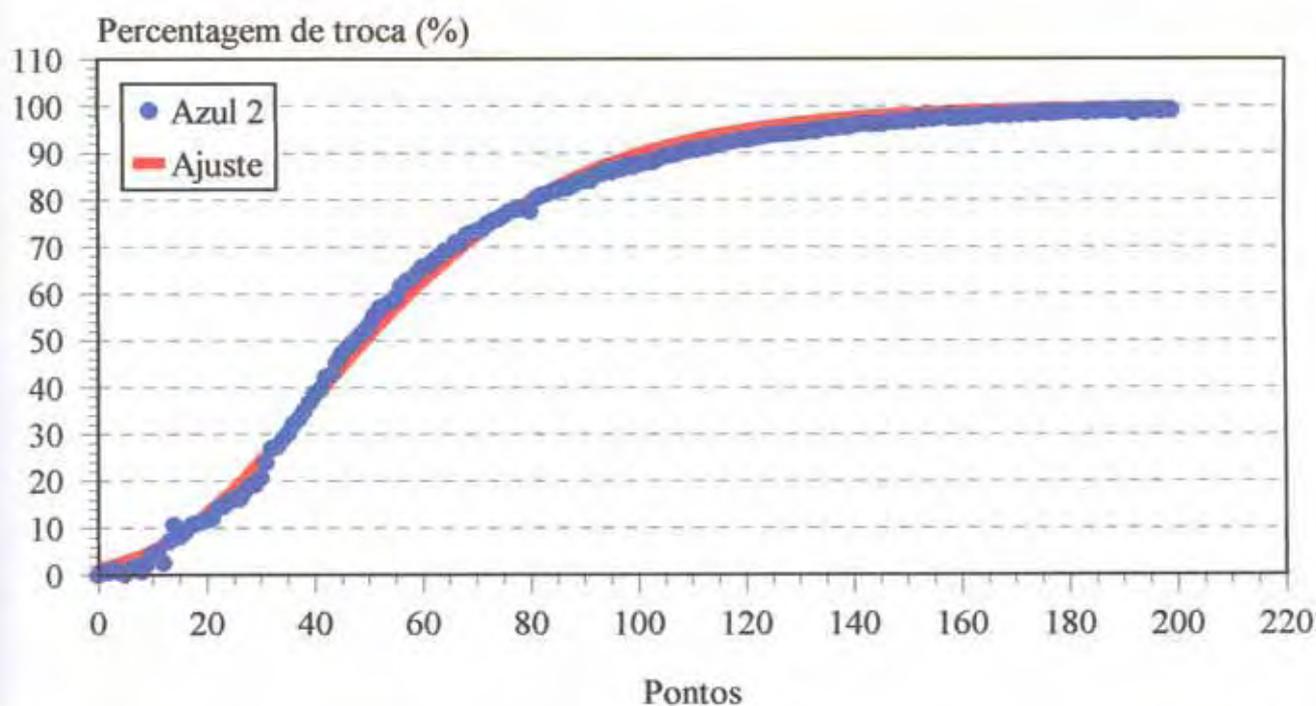
	<u>REPETIÇÃO 1</u>	<u>REPETIÇÃO 2</u>	<u>REPETIÇÃO 3</u>	<u>REPETIÇÃO 4</u>	<u>TODAS AS REPETIÇÕES JUNTAS</u>
SQTotal	35,04882037	39,08839901	32,68555963	30,71780769	103,8591888
SQRegressão	34,92749798	38,94706536	32,32164205	30,5648807	103,0424062
SQResíduo	0,121322387	0,141333644	0,263913912	0,152926976	0,81678251
F Regressão	33952,2408*	32517,06052*	11267,2766*	18387,66124*	39865,44419*
a	0,709516501	0,753440903	0,769566372	0,671363589	0,722488903
b	-2,106397284	-1,935807709	-1,71674012	-2,010905692	-1,964874622
c	0,19614151	0,169330112	0,151502384	0,188403313	0,177902258
R <sup>2</sup>	0,996538474	0,996384256	0,991900893	0,995021462	0,992135676



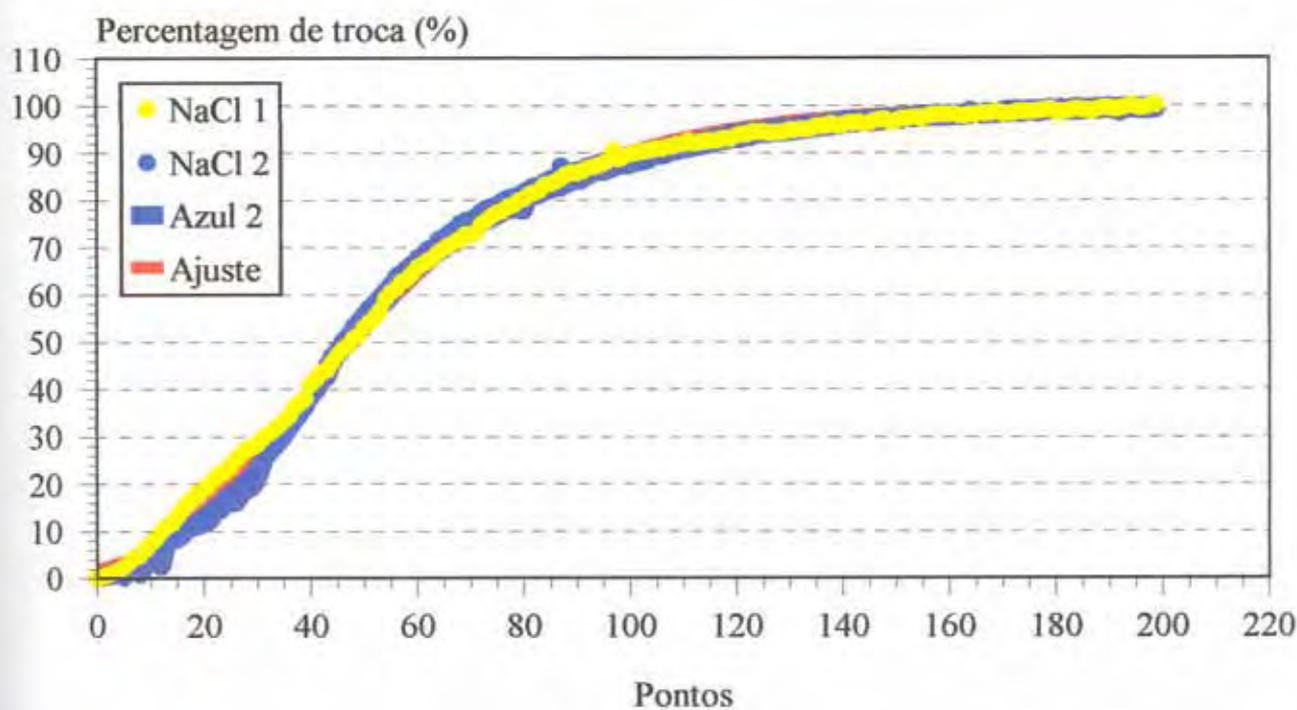
**Figura 11.** Percentagem de troca do NaCl em laboratório na Simulação 1, partindo-se do ponto 0, ajustada pelo Modelo de Gompertz.



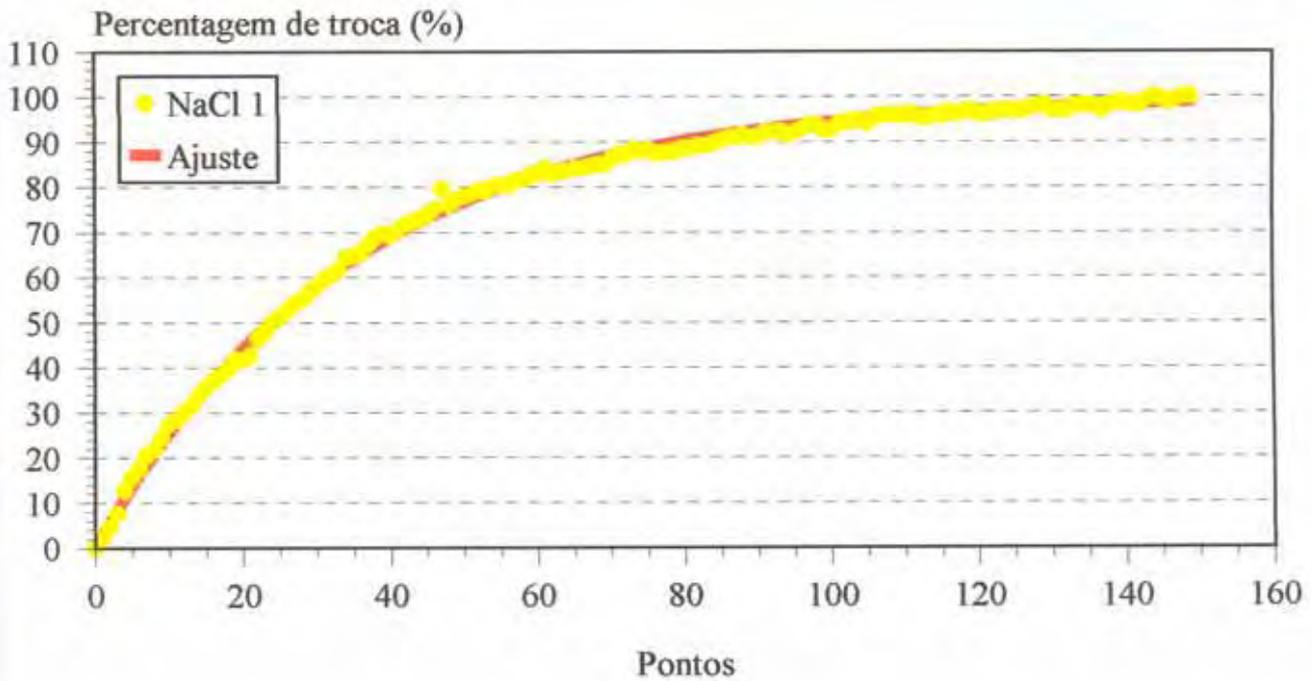
**Figura 12.** Percentagem de troca do NaCl em laboratório na Simulação 2, partindo-se do ponto 0, ajustada pelo Modelo de Gompertz.



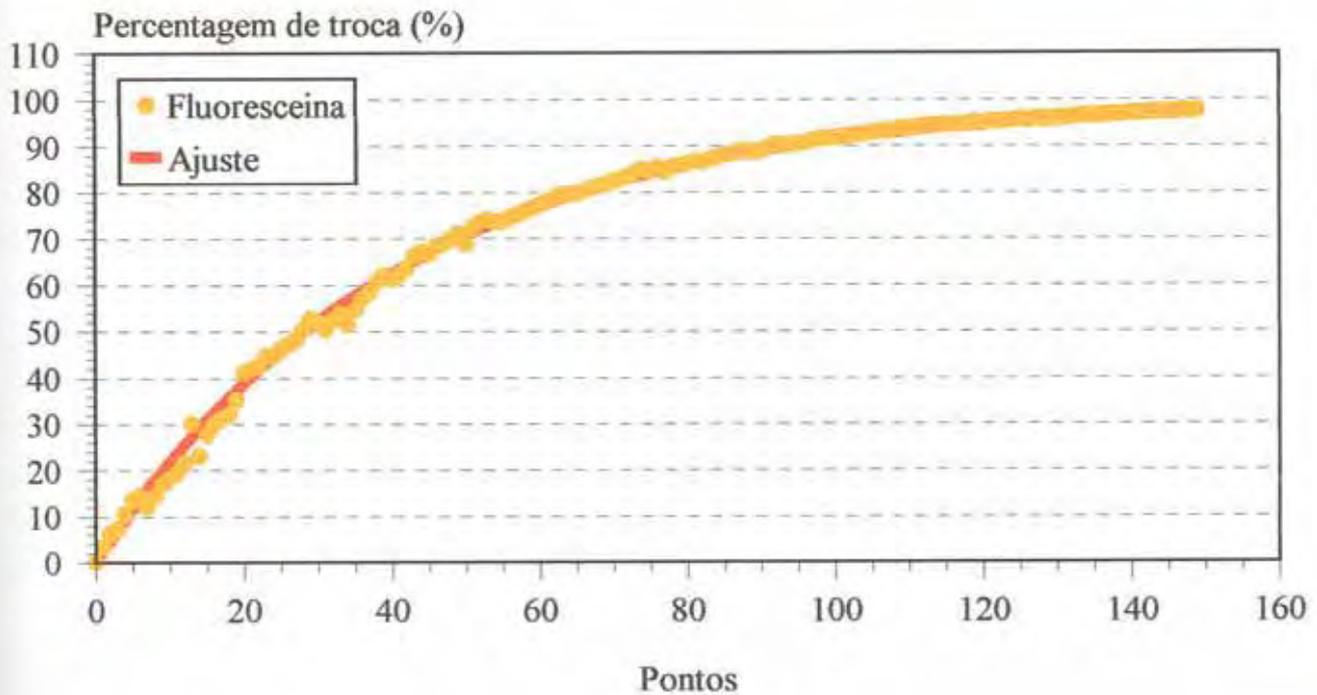
**Figura 13.** Percentagem de troca do corante azul brilhante na Simulação 2, partindo-se do ponto 0, ajustada pelo Modelo de Gompertz.



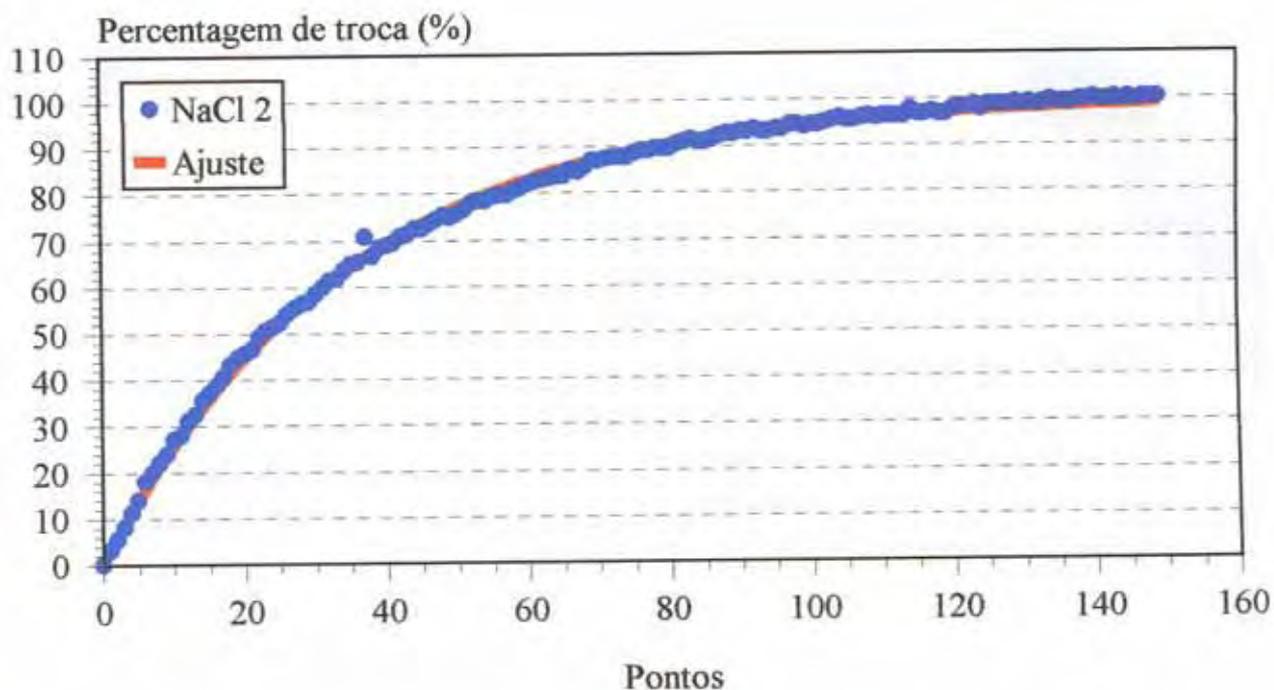
**Figura 14.** Percentagem de troca das duas simulações juntas, partindo-se do ponto 0, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.



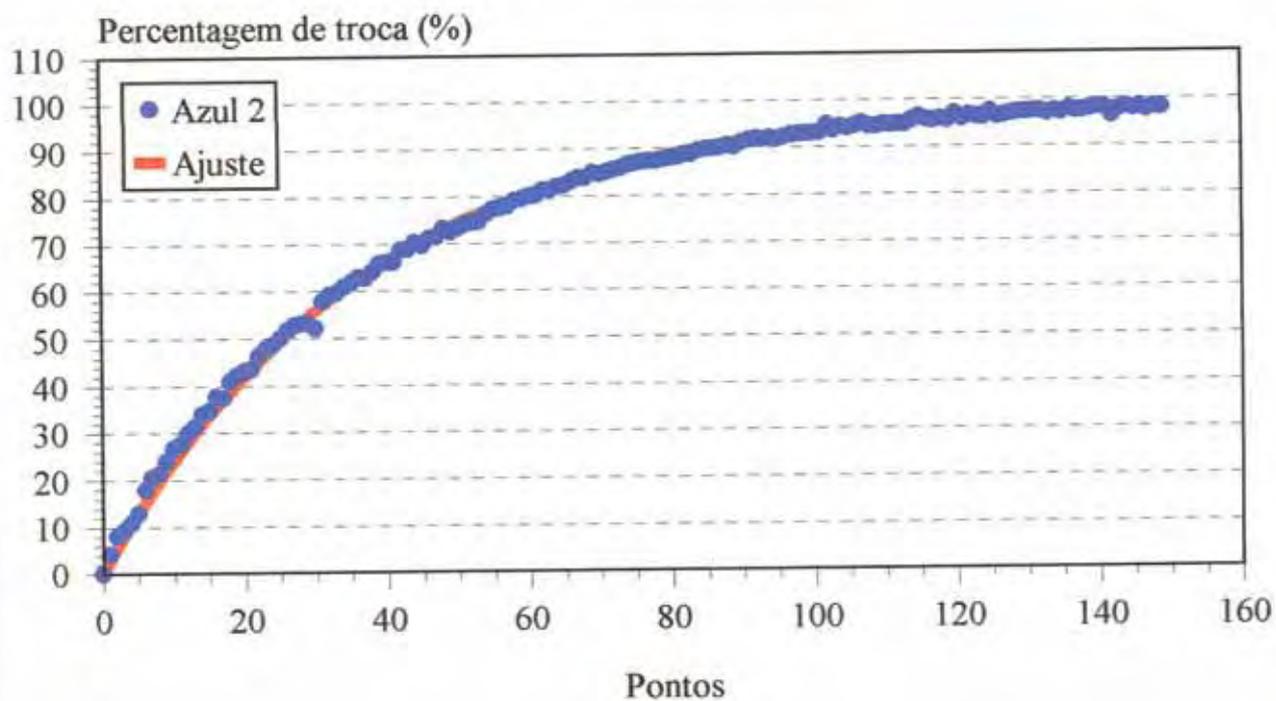
**Figura 15.** Percentagem de troca do NaCl na Simulação 1, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logarítmico.



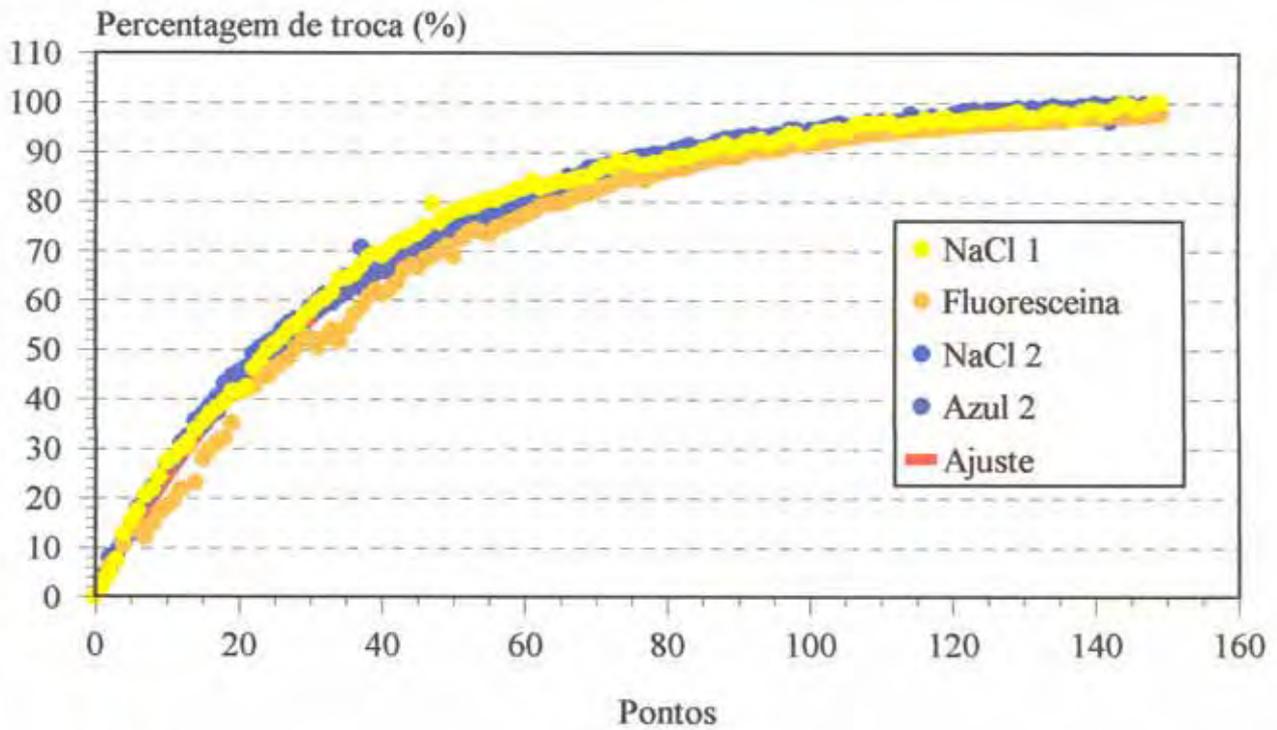
**Figura 16.** Percentagem de troca da fluoresceína na Simulação 1, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logarítmico.



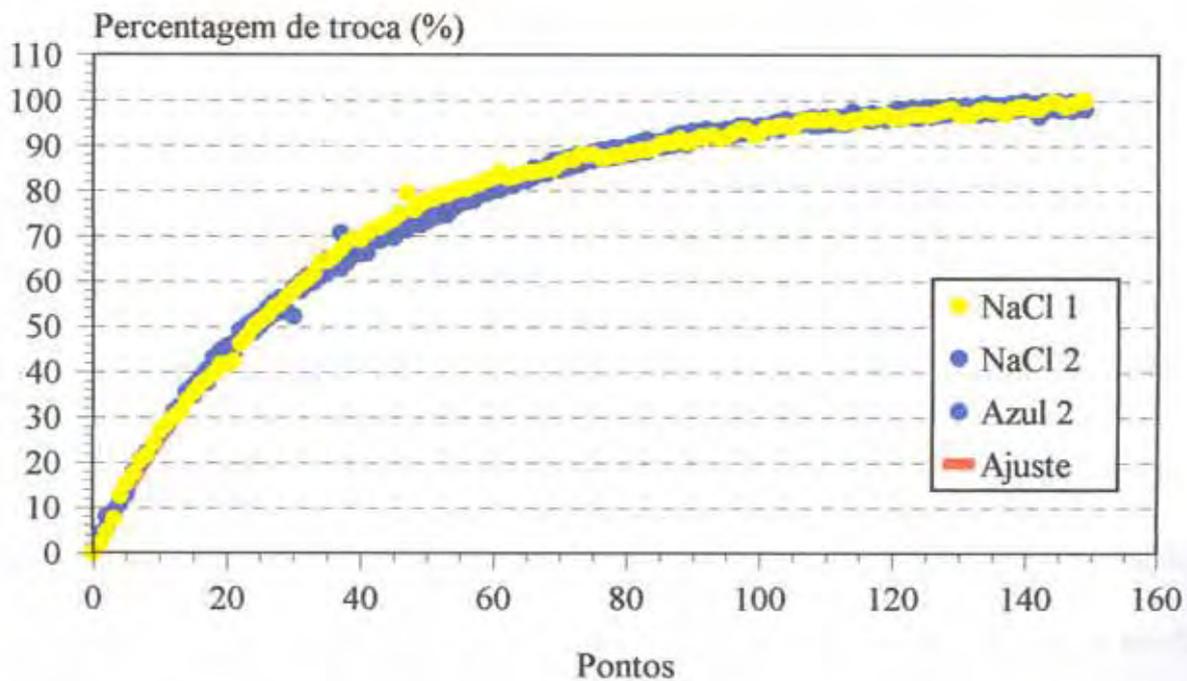
**Figura 17.** Percentagem de troca do NaCl na Simulação 2, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logaritmico.



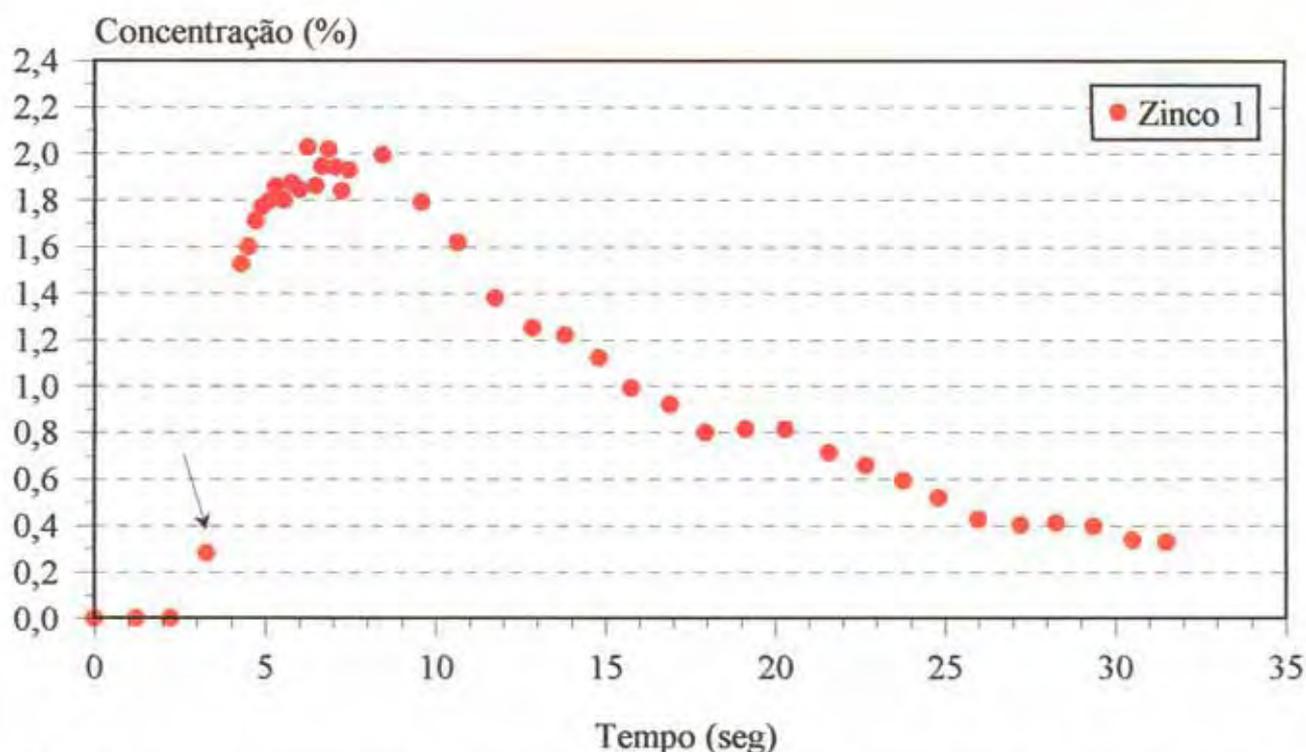
**Figura 18.** Percentagem de troca do corante azul brilhante na Simulação 2, partindo-se do ponto 50, ajustada pelo Modelo Logaritmico.



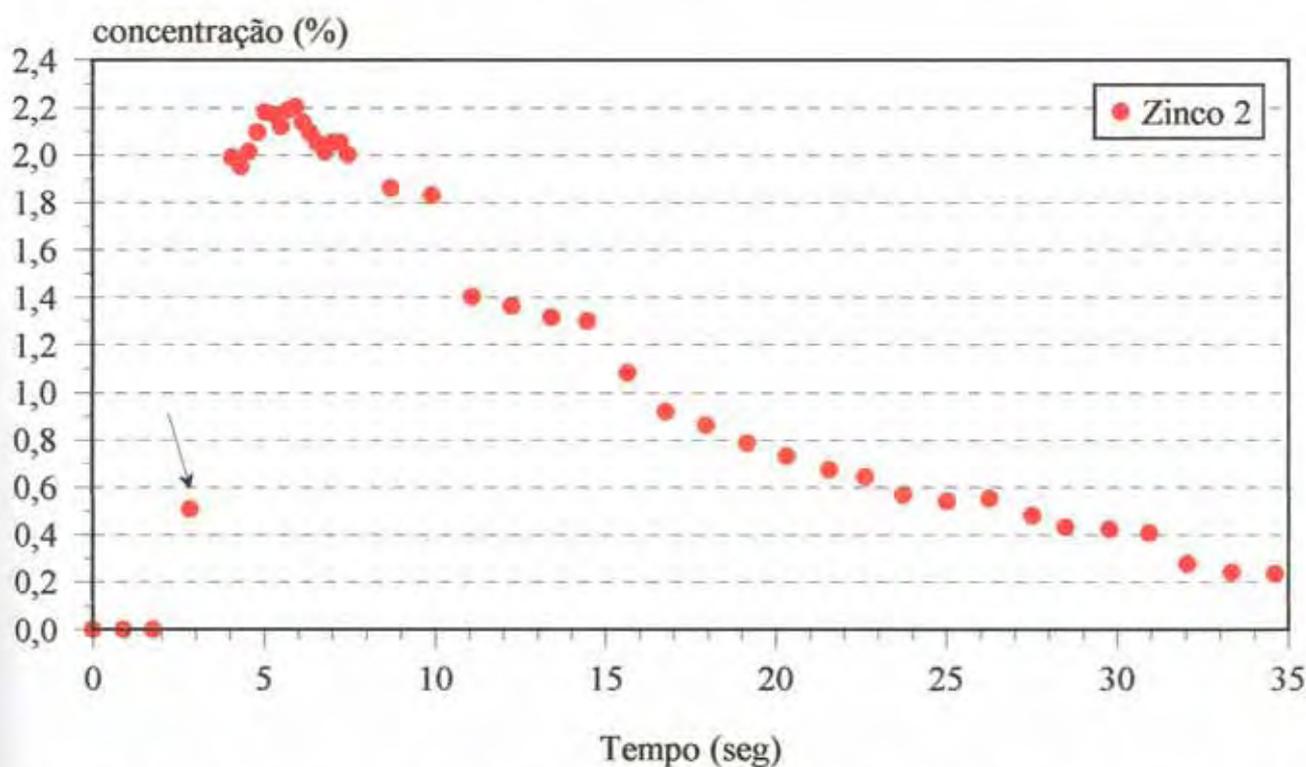
**Figura 19.** Percentagem de troca das Simulações 1 e 2 juntas, partindo-se do ponto 50, ajustadas pelo Modelo Logaritmico.



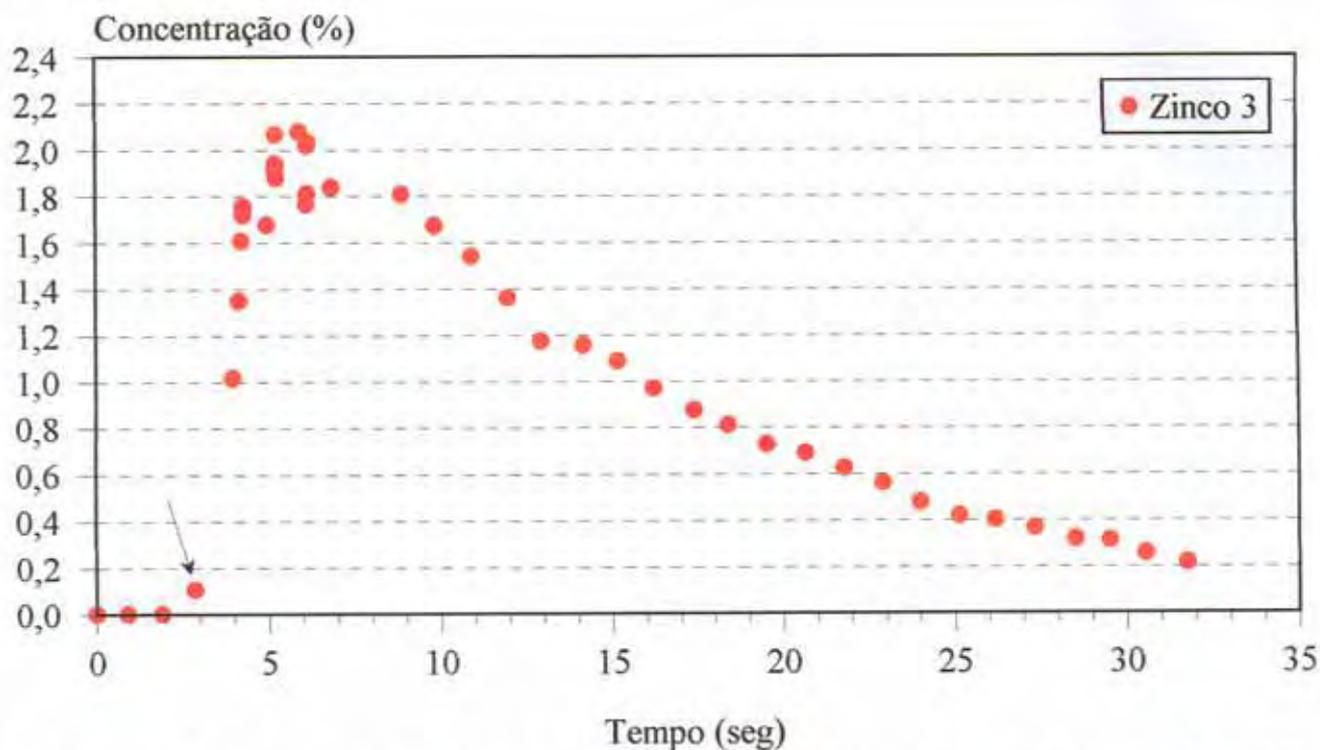
**Figura 20.** Percentagem de troca das Simulações 1 e 2, sem a curva da fluoresceína, partindo-se do ponto 50, ajustadas pelo Modelo Logaritmico.



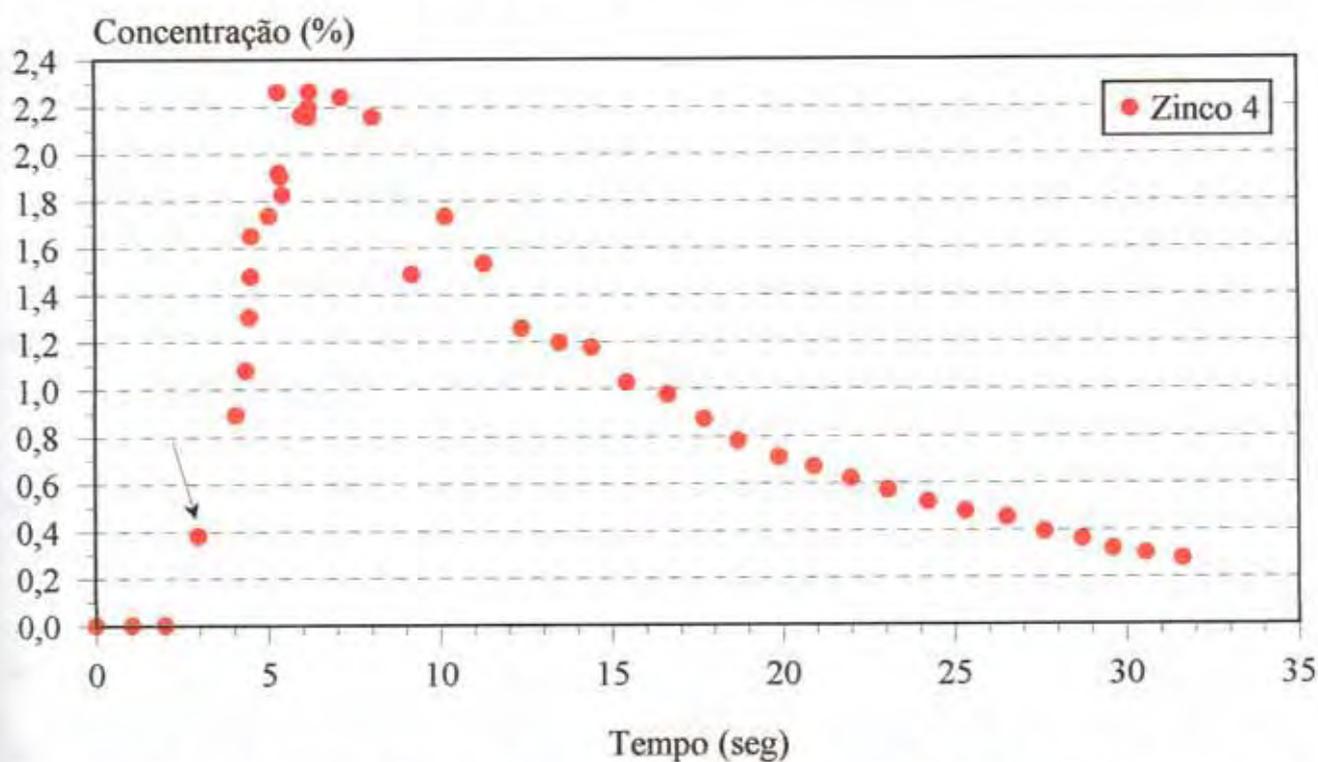
**Figura 21.** Concentrações médias de Zinco na repetição 1 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.



**Figura 22.** Concentrações médias de Zinco na repetição 2 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.



**Figura 23.** Concentrações médias de Zinco na repetição 3 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.



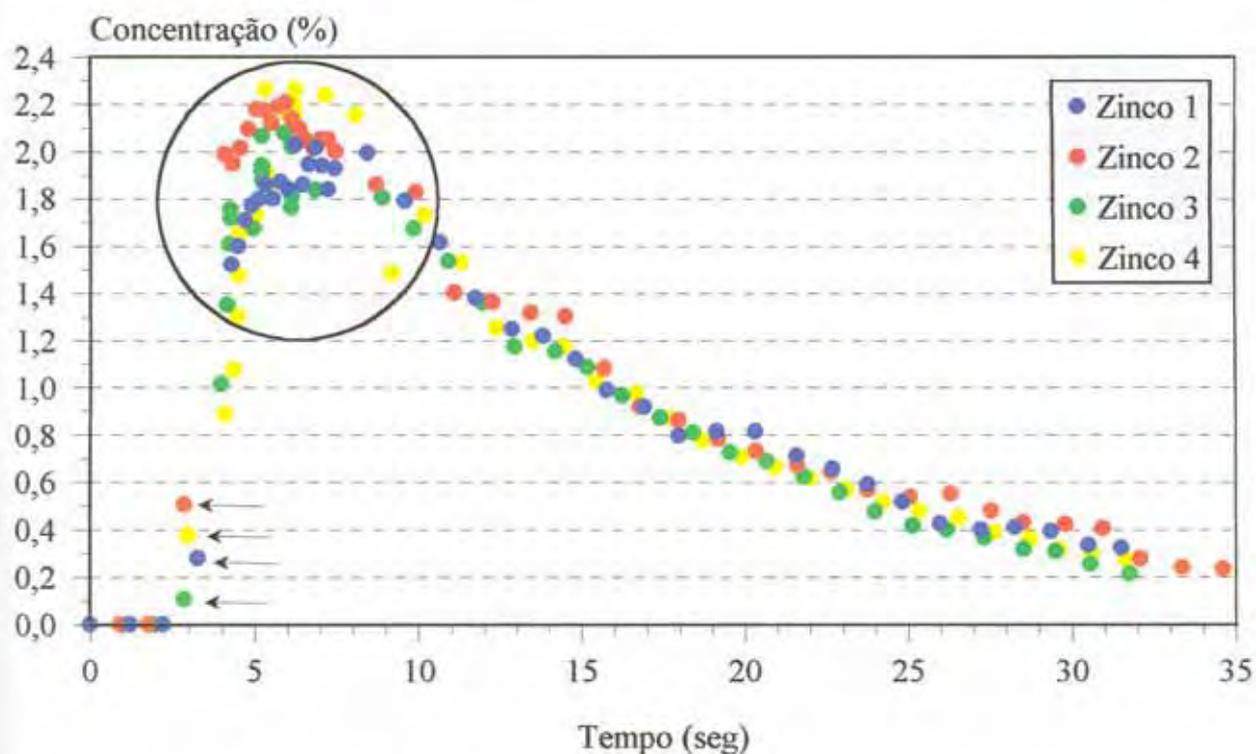
**Figura 24.** Concentrações médias de Zinco na repetição 4 em função do tempo em cada metro da parcela, com destaque para o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque.

Os dados obtidos com o experimento montado no campo possibilitou observar a performance do pulverizador logarítmico diluindo a solução aplicada, através da solução contendo zinco, e ao mesmo tempo, aumentando a concentração da solução aplicada, através da solução contendo cobre.

A análise do manganês coletado nas lâminas permitiu determinar a concentração correta dos demais elementos coletados, sendo utilizado para estimar o volume que atingiu cada lâmina utilizada como alvo.

No experimento de campo, assim que o pulverizador foi ligado, as soluções começaram a ser coletadas, não esperando-se portanto, a substituição do líquido contido na barra pela solução do tanque.

As Figuras 21, 22, 23, 24 e 25 apresentam as curvas de concentração de zinco na solução aplicada, para cada repetição. As setas nessas figuras indicam o momento da troca da solução da barra pela solução do tanque de 0,6 litro. O tempo médio para esta troca foi 3,08 segundos. Ainda, nessas figuras, pode-se observar que ocorre uma demora maior para que o pulverizador atinja uma dosagem máxima a partir da qual se inicia a diluição. A diferença entre a concentração da solução de zinco e a concentração do diluente que normalmente é zero, é muito alta, o que acaba ocasionando uma demora maior para homogeneizar a solução a ser pulverizada. Esta demora gera no início da pulverização uma grande variação de doses, o que acaba dificultando o ajuste das dosagens aplicadas em função do tempo ou distância do início da parcela (círculo na Figura 25).



**Figura 25.** Concentrações médias de Zinco nas 4 repetições juntas em função do tempo em cada metro da parcela para cada repetição.

No Quadro 5 são apresentados os resultados referentes às análises de regressão dos dados com cobre. O Modelo de Gompertz ajustou-se adequadamente aos dados.

Nas Figuras 26, 27, 28 e 29 são apresentadas as curvas de regressão e os dados originais para as quatro repetições.

Na Figura 30, os dados apresentados são das concentrações de cobre na solução aplicada em função do volume acumulado de aplicação calculado para cada segundo, e tendo como referencial a vazão de 48 ml/s para os quatro bicos da barra.

Na Figura 31, os dados apresentados são da percentagem de troca da solução em função também do volume de aplicação.

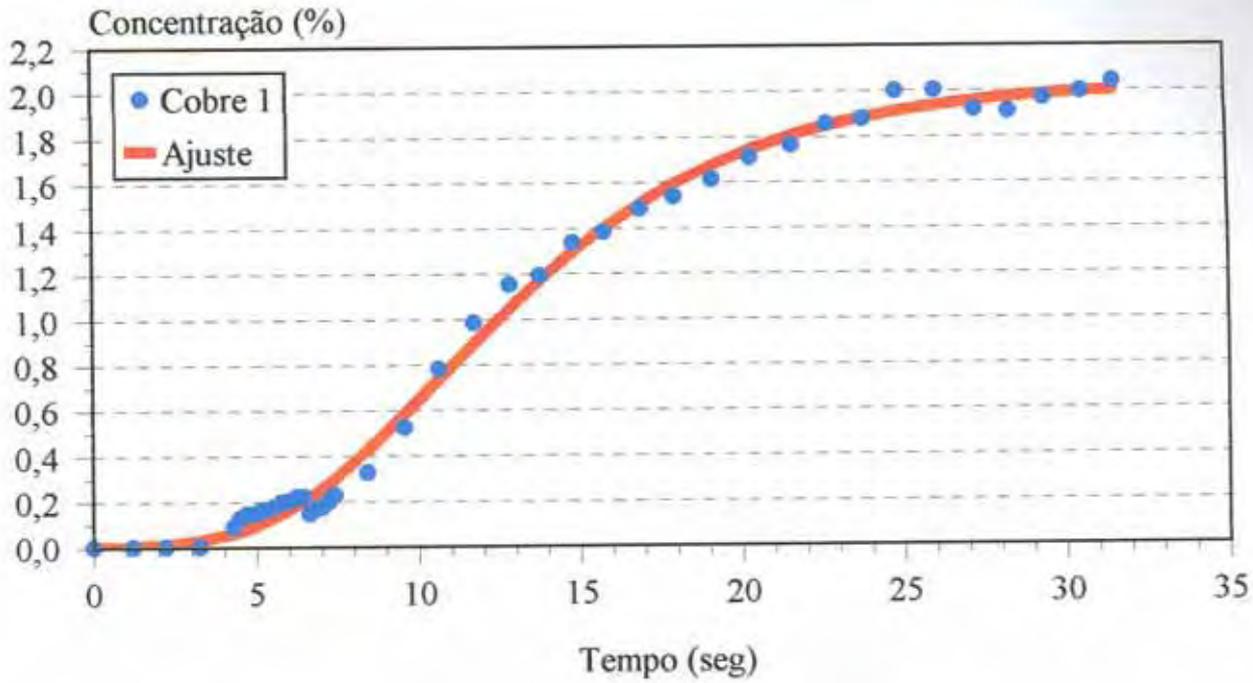


Figura 26. Concentrações médias de cobre na repetição 1 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.

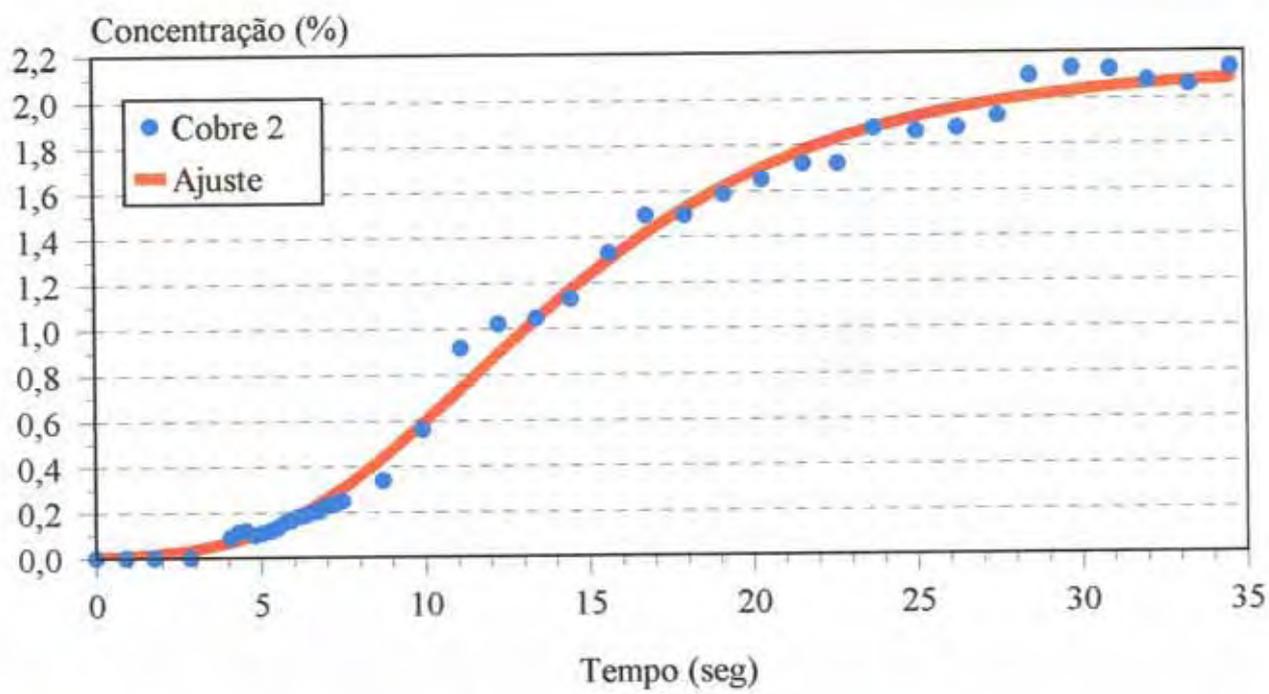
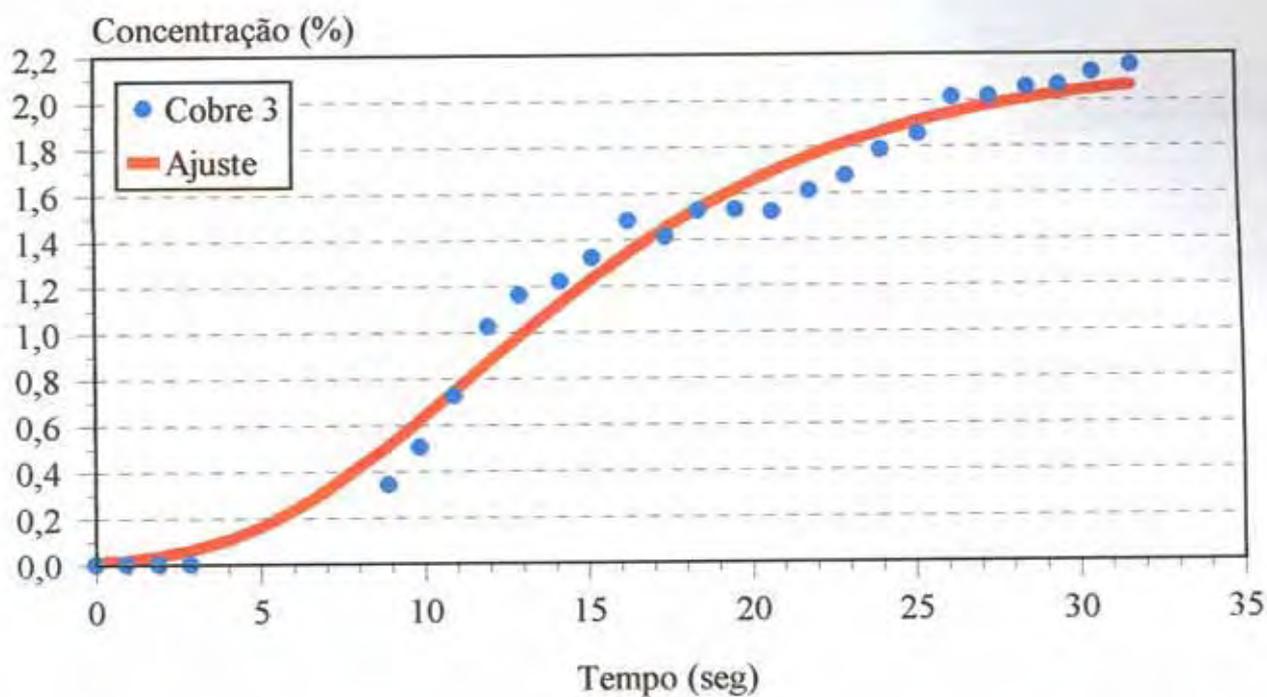
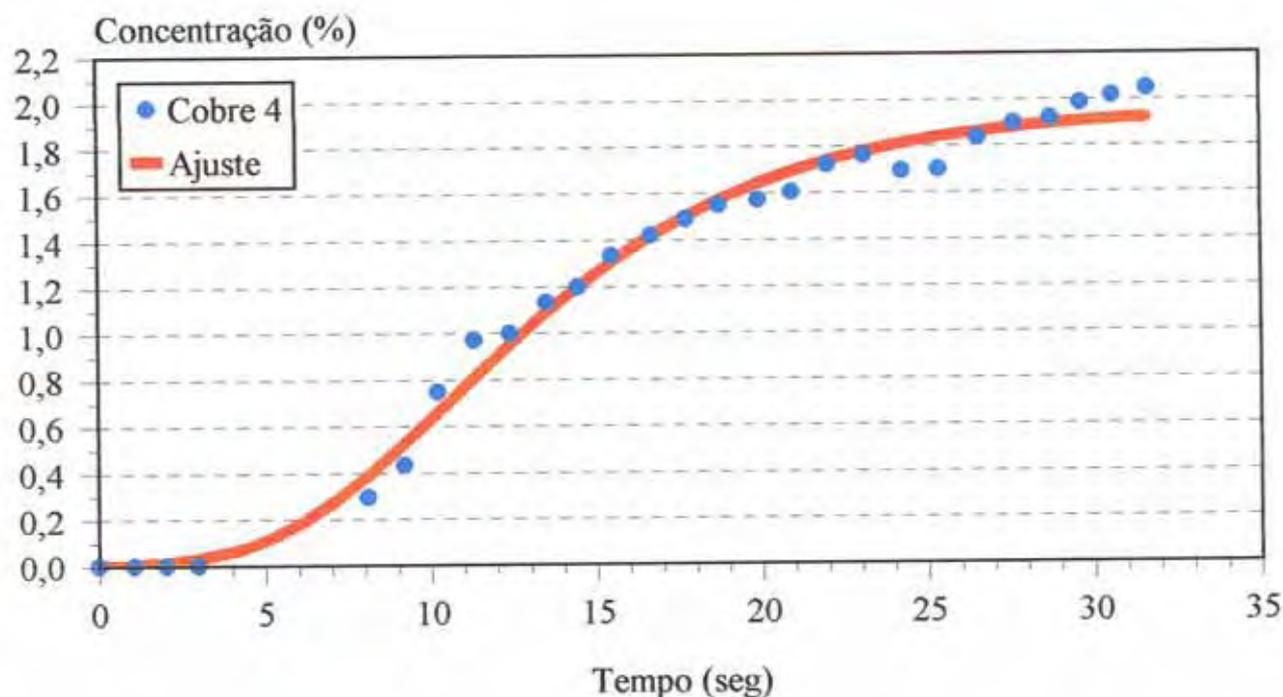


Figura 27. Concentrações médias de cobre na repetição 2 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.



**Figura 28.** Concentrações médias de cobre na repetição 3 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.



**Figura 29.** Concentrações médias de cobre na repetição 4 em função do tempo em cada metro da parcela, ajustadas pelo Modelo de Gompertz.

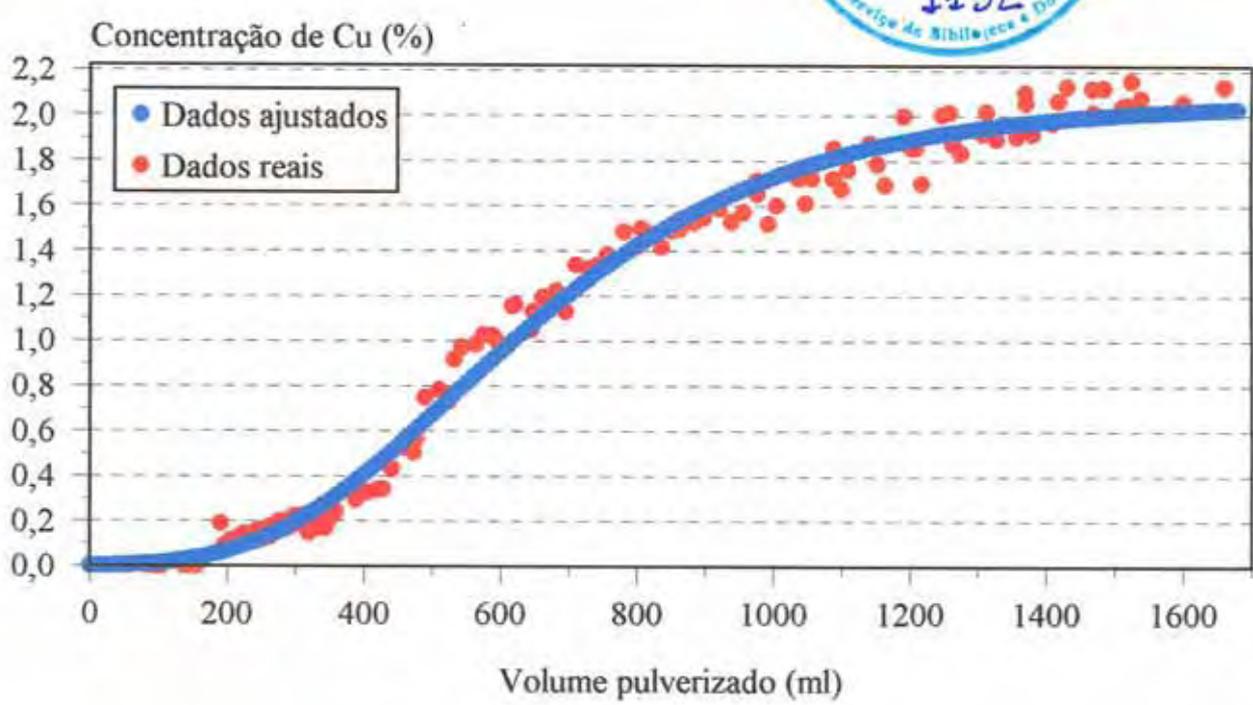


Figura 30. Concentrações médias de cobre das 4 repetições juntas, ajustadas pelo volume.

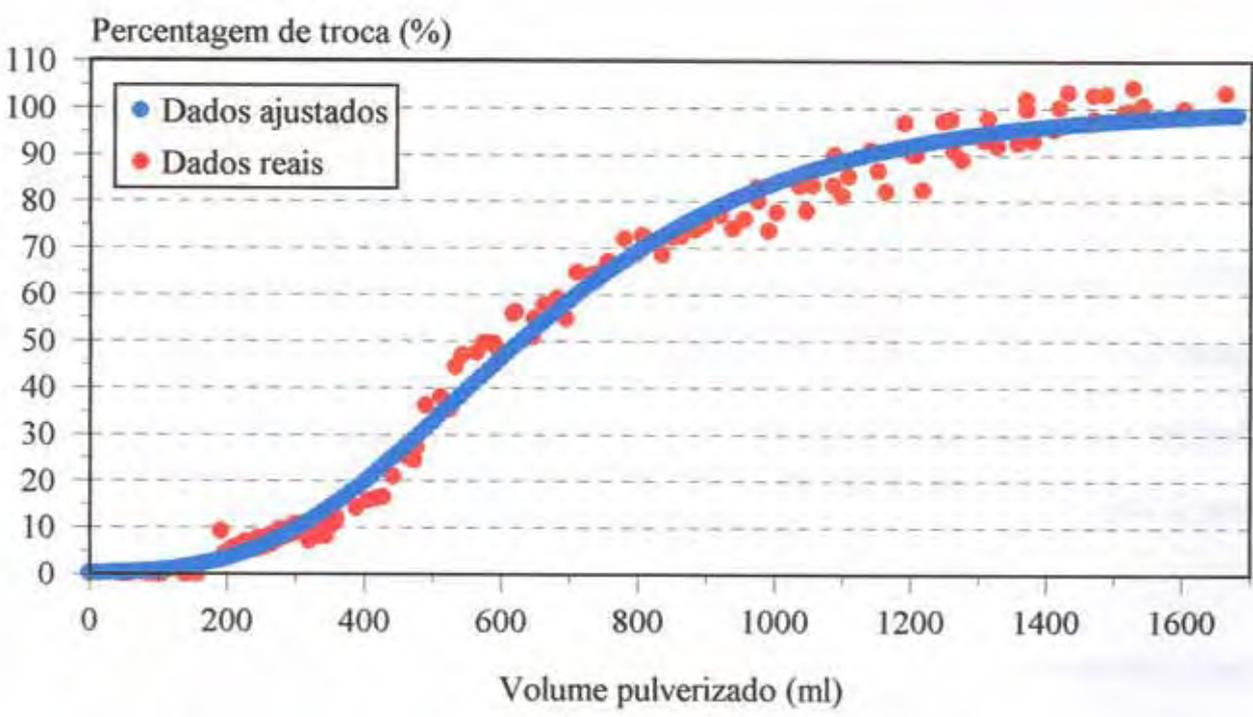


Figura 31. Porcentagem de troca de cobre das 4 repetições comparadas com os dados ajustados pelo volume.

Comparando as curvas de cobre e zinco, pode-se observar que os dados obtidos para o equipamento concentrando a solução aplicada, apresentaram uma melhor estabilidade, isto é, sem variações descontínuas no início da pulverização.

Para experimentos com diferentes volumes de aplicação, utilizando-se o pulverizador logarítmico diluindo a solução aplicada, existe a necessidade de se variar a capacidade do tanque de solução concentrada a cada volume de aplicação testado, para se obter a mesma amplitude de dosagens (Silva, 1996).

Utilizando-se o pulverizador logarítmico concentrando a solução aplicada em experimentos com diferentes volumes de aplicação, não há a necessidade de se variar a capacidade do tanque de solução concentrada. Utilizando-se esta construção alternativa é possível alcançar, teoricamente, qualquer variação de dose em qualquer unidade de tempo, deslocamento ou volume aplicado, bastando alterar, de modo adequado, a concentração do composto no tanque de maior volume, utilizado para abastecer o menor.

Adotando-se as curvas de percentagem de troca em função do volume, é possível comparar as curvas obtidas em laboratório e no campo. No experimento de campo, foram necessários 3,08 segundos para que os traçantes atingissem a barra de pulverização, e no caso do zinco, as máximas concentrações só foram alcançadas após mais 5 segundos, aproximadamente. No laboratório, as soluções foram coletadas imediatamente após o menor reservatório, sem qualquer tipo de tubulação e com tempo de substituição nulo.

As curvas utilizadas para representar os estudos de laboratório e campo já foram apresentados nas Figuras 14 e 31, respectivamente.

A equação utilizada para calcular a percentagem de troca da solução tanto para os dados de laboratório quanto os de campo em função do volume foi derivada do Modelo de Gompertz com  $e^a$  assumindo o valor de 100:

$$\text{Percentagem de Troca} = 100 / e^{e^{-b-cv}}$$

**Onde:**

**e** = número neperiano;

**b e c** = parâmetros dados pela análise de regressão com o Modelo de Gompertz;

**v** = volume em ml.

Após a obtenção das percentagens de troca em função do volume de aplicação foi possível estimar o volume que coincidia com percentagens de troca pré fixadas através da equação:

$$V = [ - b - \ln ( \ln 100 / \text{Percentagem de troca pré estabelecida} ) ] / c$$

**Onde:**

**V** = volume aplicado onde a solução terá a concentração pré estabelecida

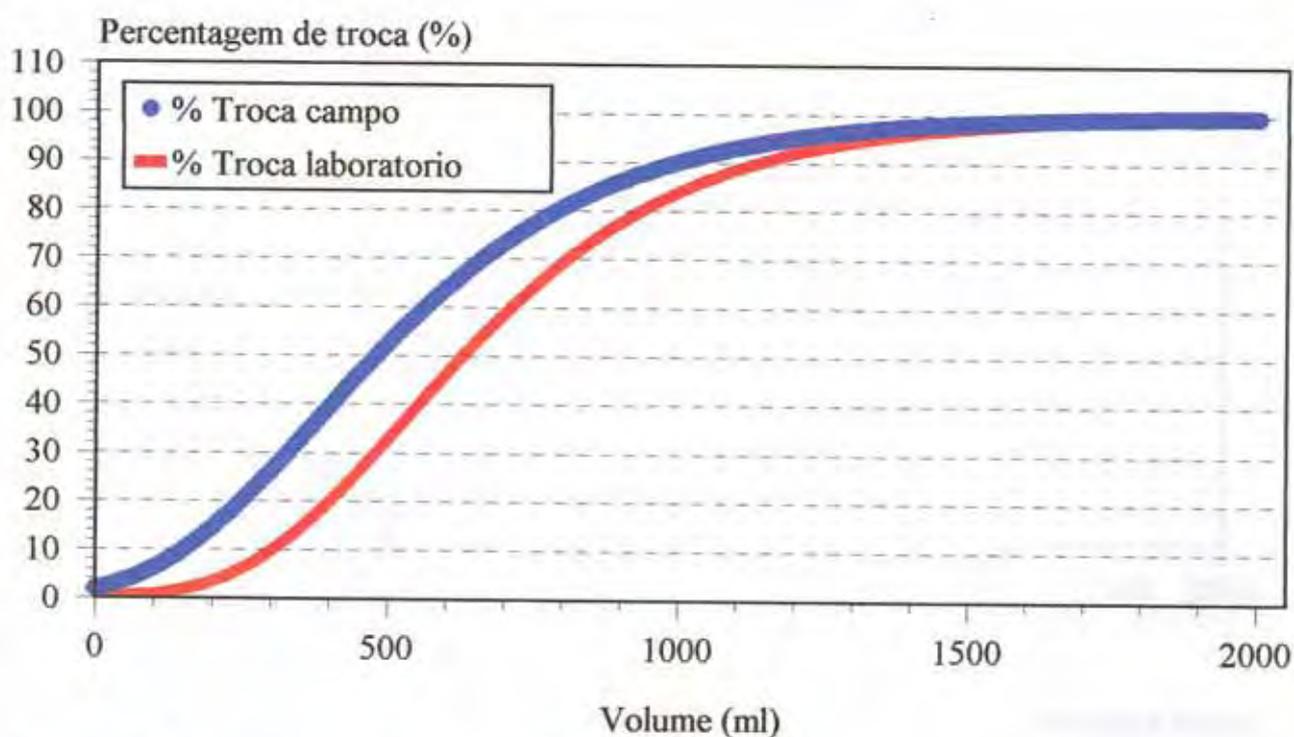
**b e c** = parâmetros da regressão com o Modelo de Gompertz;

Quando se comparam os volumes necessários para que se tenha a mesma percentagem de troca em laboratório e no campo, a diferença média entre ambos é de 147,85ml e maior no campo do que em laboratório. Se dividirmos esse valor pela vazão do equipamento utilizado no campo, que é de 48ml/s, obtemos o tempo de 3,08 segundos, que

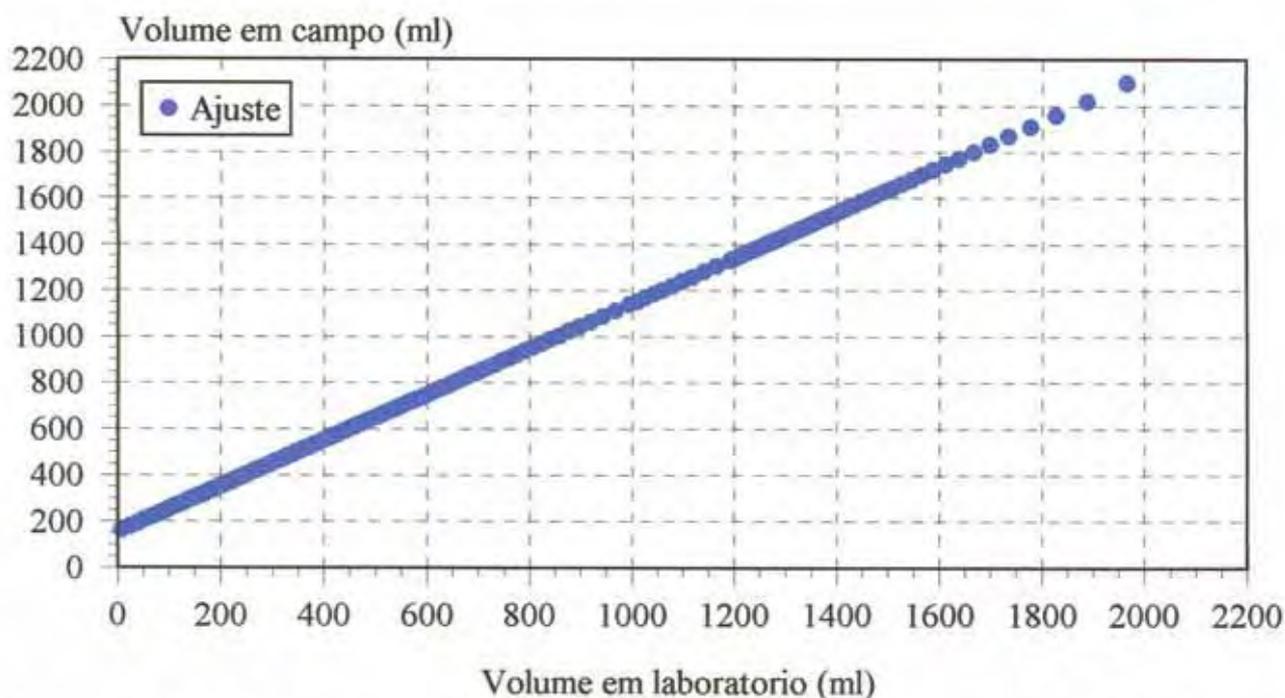
seria o tempo necessário para que o líquido existente na barra fosse trocado pela solução do tanque quando a aplicação iniciasse. Este valor coincide com as setas colocadas nas Figuras 21, 22, 23 e 24 que mostram as curvas da concentração de zinco.

Na Figura 32 são apresentadas as curvas de percentagem de troca em campo e laboratório para volumes equivalentes, sem que a diferença de volume seja descontada. Na Figura 33 são apresentados os volumes necessários em campo e laboratório para se obter a mesma percentagem de troca, sem que a diferença de volume seja descontada.

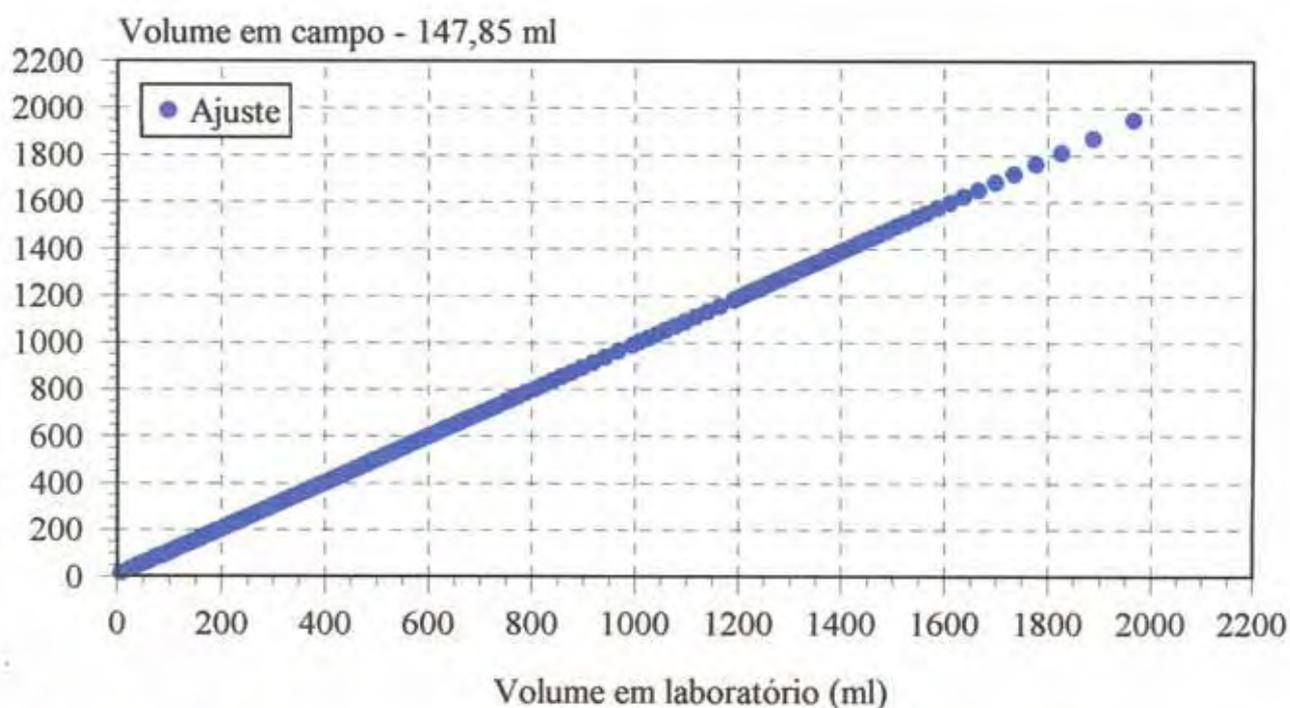
A partir do momento que os dados são ajustados pelas diferenças no volume de aplicação, Figuras 34 e 35, as curvas ficam idênticas, mostrando que os resultados obtidos no campo confirmam os resultados obtidos em laboratório. O coeficiente de determinação obtido para a regressão entre os volumes necessários em laboratório e campo para alcançar as mesmas percentagens de troca foi 0,999969848.



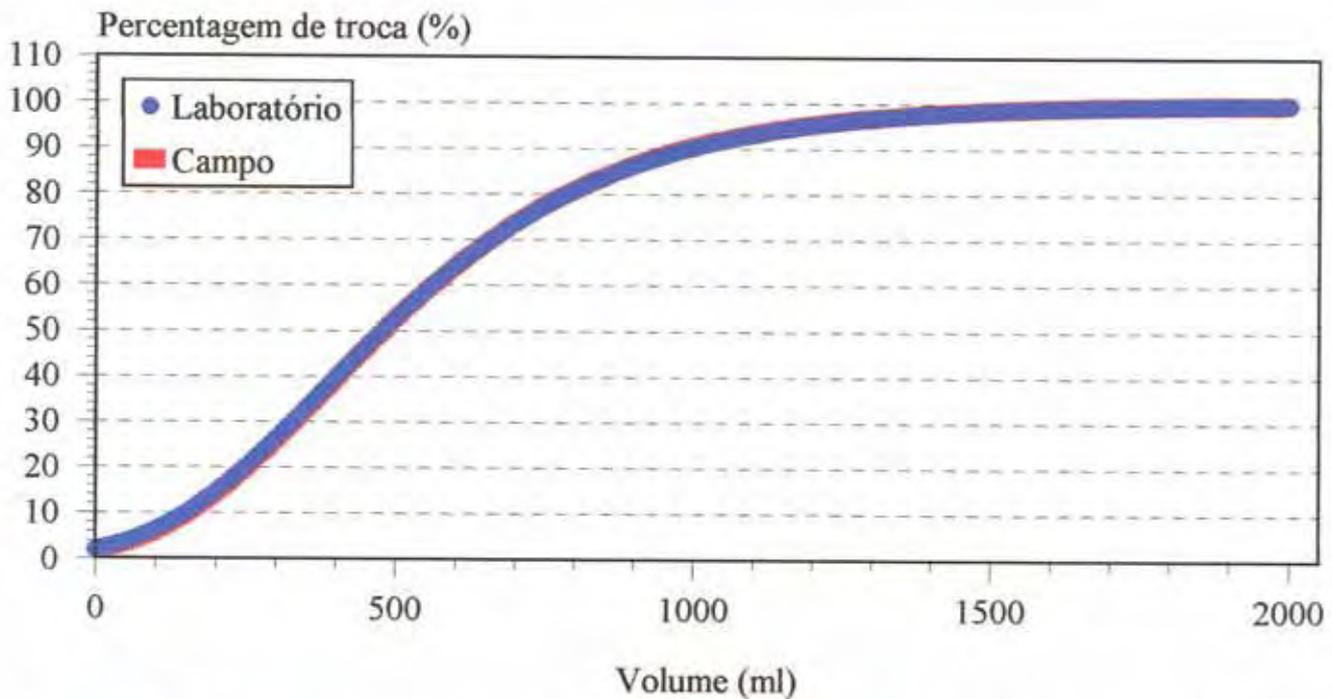
**Figura 32.** Percentagem de troca em campo e laboratório para volumes equivalentes sem ajuste pela diferença de volume



**Figura 33.** Volume necessário para que percentagens de troca pré-definidas fossem simultaneamente alcançadas em campo e laboratório



**Figura 34.** Volume necessário para que percentagens de troca pré-definidas fossem alcançadas em campo e laboratório, ajustada pela diferença de volume



**Figura 35.** Percentagem de troca em campo e laboratório para volumes equivalentes ajustadas pela diferença de volume

Para se calcular a dosagem de produtos aplicados pelo pulverizador logarítmico testado em qualquer ponto da parcela pode-se utilizar a equação ajustada pela percentagem de troca dada pelo Modelo de Gompertz em função do volume de aplicação:

$$Df = d + e^{e^{(-b - c.v)}} \cdot (D - d)$$

Onde:

**Df** – Dose final que se deseja aplicar

**d** - Dose no tanque menor

**b e c** – são parâmetros dados pela análise

**D** – Dose no tanque maior

**v** – volume acumulado até o ponto em que se deseja saber a dose

Supondo-se um volume acumulado de 1500ml para pulverizar uma parcela com um pulverizador logarítmico e utilizando-se os parâmetros das curvas de percentagem de troca das simulações 1 e 2 do experimento em laboratório (dados em função do volume) que são de -1,392755 para b e 0,003661 para c, pode-se calcular as concentrações das soluções nas garrafas que deveram ser utilizadas para que sejam alcançadas variações pré-fixadas nas doses do herbicida e do traçante.

Exemplo para um pulverizador logarítmico convencional em que a dose é continuamente decrescente. Considerando uma variação na dose de 30 vezes e um volume acumulado de aplicação de 1500ml, teríamos:

$$v = 1500\text{ml}$$

$$Df = 1$$

$$d = \text{dose inicial} = \text{dose no tanque menor} = 30$$

$$D = \text{dose no tanque maior}$$

$$Df = d + e^{(-b - c.v)} \cdot (D - d)$$

$$1 = 30 + 0,9835433426 (D-30)$$

$$D = 0,514771681 \text{ no tanque maior}$$

Exemplo para um pulverizador logarítmico convencional em que a dose é continuamente decrescente. Considerando uma variação na dose de 70 vezes e um volume acumulado de aplicação de 1500ml, teríamos:

$$v = 1500\text{ml}$$

$$Df = 1$$

**d** = dose inicial = dose no tanque menor = 70

**D** = dose no tanque maior

$$Df = d + e^{(-b - c.v)} \cdot (D - d)$$

$$1 = 70 + 0,9835433426 (D-70)$$

**D = - 0,154508757 no tanque maior (não é possível)**

Exemplo para um pulverizador logarítmico invertido em que a dose é continuamente crescente. Considerando uma variação na dose de 30 vezes e um volume acumulado de aplicação de 1500ml, teríamos:

**v** = 1500ml

**Df** = 30

**d** = dose inicial = dose no tanque menor = 1

**D** = dose no tanque maior

$$Df = d + e^{(-b - c.v)} \cdot (D - d)$$

$$30 = 1 + 0,9835433426 (D - 1)$$

**D = 30,4852 no tanque maior**

Exemplo para um pulverizador logarítmico invertido em que a dose é continuamente crescente. Considerando uma variação na dose de 70 vezes e um volume acumulado de aplicação de 1500ml, teríamos:

$v = 1500\text{ml}$

$Df = 70$

$d = \text{dose inicial} = \text{dose no tanque menor} = 1$

$D = \text{dose no tanque maior}$

$$Df = d + e^{(-b - c.v)} \cdot (D - d)$$

$$70 = 1 + 0,9835433426 (D - 1)$$

$$D = 71,15450876\% \text{ no tanque maior}$$

### 6.1 Considerações finais

Feng et al. (1989), Silva (1996) e Osipe (1998) ressaltam a expressiva vantagem do uso do pulverizador logarítmico pela redução significativa no número de tratamentos necessários na montagem de ensaios com herbicidas e a possibilidade de seleção dos pontos de avaliação “a posteriori”, ou seja, é possível selecionar pontos de avaliação que representem as dosagens de cada produto testado para uma mesma percentagem de controle pré estabelecida.

A utilização do pulverizador logarítmico concentrando a solução aplicada deve ser considerada, pois, além de apresentar curvas de calibração mais precisas, pode possibilitar uma variação maior na amplitude de dosagens dos produtos testados.

No entanto, antes da utilização de um pulverizador logarítmico em ensaios, o mesmo deve ser testado no laboratório e/ou no campo para que suas curvas de calibração sejam confirmadas ou reajustadas.

## 7. CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os experimentos pode-se concluir que:

- A melhor representação das doses ou concentrações dos traçantes em função do tempo, deslocamento ou volume de aplicação ocorreu com o uso do Modelo de Gompertz e não com o Modelo Logarítmico.

- A construção do pulverizador logarítmico de modo a aumentar continuamente as doses foi a que permitiu obter curvas de calibração com maior precisão.

- Deve ser evitado o uso de curvas de calibração genéricas para pulverizadores logarítmicos. Os modelos devem ser selecionados e os parâmetros estimados para cada modelo de equipamento.

- O procedimento simplificado de calibração em laboratório, mostrou-se bastante preciso, podendo ser utilizado em substituição ao complexo procedimento de campo.

- A construção do pulverizador logarítmico de modo a aumentar continuamente as doses permite obter qualquer faixa de variação de doses sem que seja necessário substituir os tanques.

**SREÑCBORS**

- ALMEIDA, F.S., RODRIGUES, B.N., CATANEO, A., OLIVEIRA, V.F. Construção e uso do pulverizador logarítmico manual. *Planta Daninha*, v.5, p.62-8, 1982.
- FENG, J.C., EHRENTAUT, G.B., DREW, T.J. Deposition of hexazinone from a logarithmic sprayer. *J. Environ. Sci. Health*, part B, v.24, p.525-37, 1989.
- FERREIRA, C.R.R.P.T., TSUNECHIRO, A. Evolução das vendas de defensivos agrícolas e uso de métodos alternativos e complementares de proteção de culturas no Brasil. *Biológico (São Paulo)*, v.60, n.1, p.35-49, 1998.
- LEASURE, J.K. A Logarithmic-Concentration Sprayer for Small Plot Use. *Weeds*, v.7, n.1, p.91-7, 1959.
- MONTIEL, J.O. Equipo pulverizador logaritmico por fases. In: CONGRESSO ASSOCIACION LATINOAMERICANA DE MALEZAS, Mar del Plata, 1976. p. 141
- OSIPE, R. *Efeito da uréia na eficácia do sulfosate para o controle de Brachiaria decumbens Stapf e Panicum maximum Jacq.* Botucatu, 1998. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

- PFEIFFER, R., BRUNSKILL, R.T., HARTLEY, G.S. A variable dosage sprayer for agricultural experiments. *Nature (London)*, v.176, n.4476, p. 472-3, 1955.
- RIES, S.K., TERRY, C.W. The design and evaluation of small plot sprayer. *Weeds*, v.1, p.160-73, 1955.
- SHAW, W.C. An efficient sprayer for application of chemical spray to experimental field plots. *Agron. J.*, v.42, p.158-60, 1950.
- SILVA, M.A.S. *Efeitos de períodos sem chuvas, dosagens e volumes de aplicação de glyphosate no controle de Brachiaria decumbens Stapf.* Botucatu, 1996. 67p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- VELINI, E.D. *Estudo e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia.* Jaboticabal, 1995. 250p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- VELINI, E.D., MARTINS, D., SILVA, M.A.S. Efeitos de concentrações de espalhante adesivante e doses de glyphosate no controle de *Brachiaria decumbens* Stapf. e *Panicum maximum* Jacq. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21, 1997, Caxambu, Resumos... Viçosa. Sociedade Brasileira da Ciências das Plantas Daninhas, 1997. p.431.
- WEIDENHAMER, J., TRIPLETT, G.B., SABOTKA, F. The usefulness of logarithmic spraying techniques. Meeting of the Weeds Science Society of America, p. 105, 1983.
- WILLES, T.L. *Study on pesticide application equipment in Latin America:* Rome: FAO, 1994. 18p. Part 2, Brazil.