

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

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PULVERIZADOR  
FLORESTAL COM DETECÇÃO ELETRÔNICA DE PLANTAS  
DANINHAS E APLICAÇÃO EM DOSES VARIÁVEIS**

**CAROLINA APARECIDA DE SOUZA QUEIROZ**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Energia na Agricultura)

**BOTUCATU - SP**  
**Agosto - 2005**

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

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PULVERIZADOR  
FLORESTAL COM DETECÇÃO ELETRÔNICA DE PLANTAS  
DANINHAS E APLICAÇÃO EM DOSES VARIÁVEIS**

**CAROLINA APARECIDA DE SOUZA QUEIROZ**

**Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura)

**BOTUCATU - SP  
Agosto - 2005**

## REPRODUÇÃO AUTORIZADA

il.

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

Q3d Queiroz, Carolina Aparecida de Souza, 1976-  
Desenvolvimento e avaliação de pulverizador florestal com detecção eletrônica de plantas daninhas e aplicação em doses variáveis / Carolina Aparecida de Souza Queiroz. - Botucatu : [s.n.], 2005.  
ii, 88 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2005  
orientador: Ulisses Rocha Antuniassi  
Inclui bibliografia.

1. Detectores. 2. Herbicidas. 3. Florestamento. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista -Júlio de "Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas III. Título.

CDD 634.96954

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

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PULVERIZADOR FLORESTAL  
COM DETECÇÃO ELETRÔNICA DE PLANTAS DANINHAS E APLICAÇÃO  
EM DOSES VARIÁVEIS"**

ALUNA: CAROLINA APARECIDA DE SOUZA QUEIROZ

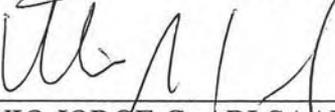
ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado pela Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CARLOS GILBERTO RAETANO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. OTAVIO JORGE G. ABI SAAB  
PROF.  
DR.

  
\_\_\_\_\_  
MARCO ANTONIO GANDOLFO

Data da Realização: 21 de junho de 2005.

À *Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP*,  
responsável por minha formação profissional e pelos anos  
mais importantes e felizes da minha vida.

**OFEREÇO.**

*Aos meus queridos pais, Isáberto de Souza Queiroz e  
Brasilina Alves de Souza Queiroz,  
e à minha querida irmã Camila Alves de Souza Queiroz,  
por toda dedicação e amor a mim transmitido,*

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi pela orientação, paciência, confiança e prontidão em ensinar.

Aos Profs. Drs. Carlos Gilberto Raetano, Kléber Pereira Lanças, Otávio Jorge G. Abi Saab e Marco Antônio Gandolfo, pela avaliação e sugestões no presente trabalho.

À coordenação do curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração "Energia na Agricultura" pela concessão do curso e compreensão das dificuldades no decorrer do desenvolvimento do estudo.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

À empresa "Máquinas Agrícolas Jacto" e "Intemational Paper Chamflora" pela parceria, apoio e disponibilidade de recursos para realização de todas as fases desse trabalho.

Ao coordenador do setor de Desenvolvimento Operacional da empresa "Intemational Paper - Chamflora", Sr. Clovis Lopes, e ao funcionário Daniel Constantino, pela confiança, apoio e amizade.

Às amigas, Hosana Bis, Zulema Netto Figueiredo, Eleni Rocha, Mariana Mattos e Evelise Fonseca, pelo incentivo, apoio e amizade.

Ao amigo Fábio Suano pela grande ajuda em várias etapas da realização desse trabalho.

A todos os funcionários da Biblioteca dessa Instituição, pela ajuda imprescindível nas pesquisas literárias.

Ao amigo Prof. Df. Moizéis Silva Nery pela amizade e participação essencial nesse trabalho.

Ao meu namorado, Edison Ulisses Ramos Junior, pela paciência, dedicação e companheirismo.

A todos que de alguma forma tiveram participação desse estudo.

## SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY .....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Setor florestal no Brasil e no mundo.....	7
4.2 Características de manejo do solo de florestas plantadas.....	9
4.3 Controle de plantas daninhas em plantios de eucalipto .....	10
4.3.1 Herbicidas utilizados em florestamentos.....	13
4.4 Tecnologia de aplicação de herbicidas em plantios de eucalipto.....	14
4.5 Fatores relativos ao desempenho operacional e custos de pulverizações.....	15
4.6 Agricultura de precisão e Silvicultura de precisão.....	17
4.7 Aplicação localizada de herbicidas.....	18
4.7.1 Sistemas Sensores.....	19
4.7.1.1 Sensores ópticos.....	19
4.7.1.1.1 Funcionamento dos sensores ópticos.....	22
4.7.1.2 Sensores imageadores.....	25
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1 Material.....	30
5.1.1 Local.....	30
5.1.1.1 Desenvolvimento em laboratório.....	30
5.1.1.2 Ensaio de campo.....	30
5.1.1.2.1 Características das áreas dos ensaios de campo.....	31
5.1.2 Equipamentos e demais materiais.....	33
5.2 Métodos.....	33

5.2.1 Desenvolvimento estrutural do pulverizador.....	33
5.2.1.1 Herbicida .....	39
5.2.2 Ensaio .....	39
5.2.2.1 Ensaio de consumo de calda.....	40
5.2.2.2 Ensaio de controle de plantas daninhas.....	43
5.2.2.3 Avaliação da funcionalidade do pulverizador desenvolvido.....	43
5.2.2.3.1 Danos estruturais e modificações.....	43
5.2.2.3.2 Controle de plantas daninhas.....	44
5.2.2.3.3 Desempenho operacional.....	44
5.2.2.3.4 Custos operacionais.....	46
5.2.2.4 Avaliação do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens..	47
5.2.3 Delineamento experimental.....	54
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
6.1 Ensaio de consumo de calda.....	55
6.2 Ensaio de controle de plantas daninhas.....	57
6.3 Ensaio de funcionalidade do pulverizador desenvolvido.....	61
6.3.1 Danos estruturais e modificações.....	61
6.3.2 Controle de plantas daninhas após as modificações estruturais.....	67
6.3.3 Ensaio de desempenho operacional.....	68
6.3.4 Custos operacionais.....	70
6.4 Ensaio de avaliação do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens.....	72
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
8 CONCLUSÕES.....	78
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

## 1 RESUMO

As florestas plantadas de eucalipto no Brasil representam grande importância ambiental, social e econômica, além de possuírem o maior potencial de produção florestal do mundo. Contudo, em meio aos tratos culturais dessas florestas, as aplicações de herbicida ainda apresentam-se pouco desenvolvidas em relação ao manejo de plantas daninhas nos plantios, principalmente no que diz respeito à quantidade de herbicida que é aplicada para efetivo controle das infestações. Logo, visando trazer benefícios à tecnologia de aplicação de herbicida no setor florestal, o presente trabalho teve como objetivos: (i) desenvolver e avaliar um pulverizador destinado à aplicação de herbicidas em florestas plantadas de eucalipto, capaz de efetuar aplicação de dose variada em tempo real, proporcionada por um sistema eletrônico de controle comandado por sensores ópticos (Weedseeker®); (ii) avaliar um sistema alternativo de detecção de plantas daninhas por meio de análise de imagens. O pulverizador desenvolvido foi constituído por duas barras aplicadoras que proporcionam o fracionamento da dose de herbicida, sendo uma munida de seis sensores e válvulas solenóides que possibilitam a aplicação localizada, realizada de maneira independente por 6 pontas de pulverização, e outra dotada de quatro pontas que são utilizadas para a aplicação de doses constantes em 100% da área. Em relação ao pulverizador desenvolvido foram avaliados, em comparação a um pulverizador de barra compacta protegida convencional, dados de consumo de calda, controle de plantas daninhas utilizando-se diferentes fracionamentos de dose de

herbicida, dados referentes a funcionalidade a campo, resistência estrutural, desempenho operacional e custos das pulverizações. Em relação ao sistema alternativo de detecção de plantas daninhas por análise de imagens, foram avaliados dados que demonstraram a capacidade do sistema de detectar plantas com diferentes áreas foliares e arquitetura de folhas sobre três superfícies diferentes. Os resultados permitiram concluir que o pulverizador desenvolvido proporcionou economia de até 24,1 % de herbicida, sem contudo diminuir a eficiência de controle de plantas daninhas. A nova estrutura proposta se mostrou adequada às condições de trabalho a campo nas áreas de cultivo de eucalipto e o retorno econômico previsto em relação ao pulverizador convencional foi calculado para aplicações em áreas superiores a 3000 ha. O novo sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagem detectou adequadamente plantas com área foliar a partir do nível mínimo proposto pelo sistema (1% do campo visual), apresentando desempenho igual ou superior ao Weedseeker®, dependendo das condições operacionais. Houve redução do desempenho de detecção na operação sobre solo arenoso.

---

**Palavras-chave:** sensores, aplicação localizada, herbicida, florestas plantadas de eucalipto.

**DEVELOPMENT AND EVALUATION OF FOREST SPRAYER WITH WEED ELECTRONIC DETECTION AND VARIABLE DOSES APPLICATION.** Botucatu, 2005. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista.

Author: CAROLINA APARECIDA DE SOUZA QUEIROZ

Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

## **2 SUMMARY**

The Brazilian planted forests of *Eucalyptus* represent great environmental, social and economic importance, besides having the greatest potential of production in the world. However, among the maintenance activities of these forests, the herbicide application is an activity not very developed, mainly about the right amount of herbicide to apply. Therefore, aiming to obtain benefits to application technology of herbicides in forestry, this study had as objectives: (i) to develop and to evaluate a sprayer destined to the commercial application of herbicides in planted forests of *Eucalyptus*, able to apply on line variable rate provided by a sensor system, assigned optic sensor (Weedseeker®); (ii) to evaluate an alternative system of weed detection based on image analysis. The developed sprayer is constituted by two booms that provide the variable dose application. One of them armed of six sensors and solenoids valves that permit the site-specific application by each nozzle and the other one armed of four nozzles that are used to the application of constant dose on 100% of the applied area. In relation to the developed sprayer it was evaluated in comparison to a conventional sprayer, data of mixture amount spent, weed control at variable doses application, structural functionality, structural resistance, working performance and costs of the herbicide application. The referring tests to the image sensor system, it was evaluated data that represent the capacity of the system in detecting plants with different foliage area and architecture of leaves in three different surfaces. The results showed that the developed sprayer provided 24,1% of herbicide economy without reducing the weed control.

The new structure of the sprayer became adapted to the conditions of planted forests of *Eucalyptus* and the profit, in comparison to the conventional sprayer, was obtained in the treatment of areas greater than 3000 ha. The new image sensor system detected the plants with areas since the minimum level of detection provided for the system (1% of visual area), showing the same or better performance than Weedseeker®, depending to the working conditions. The sand soil provide reduction in the performance of the system.

---

**Keywords:** system sensors, site-specific application, herbicide, planted forest of *Eucalyptus*.

### 3 INTRODUÇÃO

A constante preocupação com os desmatamentos, e conseqüente impacto ambiental, coloca as florestas plantadas no Brasil em posição de grande importância. A exploração sustentável das florestas plantadas, além de diminuir os índices de desmatamentos de florestas naturais, é responsável pela importante parcela de 2% do PIB brasileiro, assim como pela geração de 2,5 milhões de postos de trabalhos (ABIMCI, 2003).

Hoje o Brasil possui, aproximadamente, 5 milhões de hectares de florestas plantadas com *Eucalyptus* (64%) e *Pinus* (36%), os dois gêneros mais utilizados em florestamentos (ABIMCI, 2003), e detém o maior potencial de produção florestal do mundo, além de alto nível tecnológico no que diz respeito aos produtos provenientes da silvicultura brasileira.

A ocupação territorial por florestas plantadas aliada à alta produtividade é resultado de técnicas que englobam operações de implantação ou condução de rebrota, tratamentos culturais durante cultivo da floresta e colheita. Dentre os tratamentos culturais, o controle de plantas daninhas e de rebrota é uma das atividades mais caras e menos desenvolvidas em relação aos equipamentos destinados a esse fim. A maioria dos equipamentos, bem como as técnicas aplicadas a essa operação, são provenientes de adaptações às tecnologias utilizadas nas demais culturas agrícolas, o que gera perda na qualidade de aplicação, principalmente em áreas de cultivo mínimo, que em função do material remanescente da colheita, composto por galhos, restos de troncos e tocos, além da

serapilheira, caracteriza uma superfície extremamente irregular, dificultando o deslocamento dos pulverizadores que requerem aplicação tratorizada.

A agricultura de precisão disponibiliza sistemas que possibilitam o tratamento diferenciado das culturas nas diversas operações necessárias ao seu cultivo. Em meio a essas operações, o controle de plantas daninhas pode ser feito com o auxílio de 2 técnicas propostas pela agricultura de precisão: através de mapas geo-referenciados ou aplicações em tempo real.

Utilizando-se da agricultura de precisão e visando trazer benefícios à tecnologia de aplicação de herbicidas em florestas plantadas, o presente trabalho teve os seguintes objetivos: (i) desenvolver e avaliar um pulverizador destinado à aplicação de herbicidas em florestas plantadas de eucalipto, dotado de sistema de aplicação de dose variada em tempo real, proporcionada por um sistema eletrônico de controle comandado por sensores ópticos; (ii) avaliar um sistema alternativo de detecção de plantas daninhas através da análise de imagens.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Setor florestal no Brasil e no mundo

O setor de base florestal tem importância significativa nos indicadores econômicos, sociais e ambientais brasileiros. O Brasil é um dos poucos países onde há possibilidade de ampliação da área de plantações florestais sem competir com a produção de alimentos e o que apresenta a maior produtividade florestal do mundo. A Figura 1 resume a situação florestal brasileira no contexto mundial.

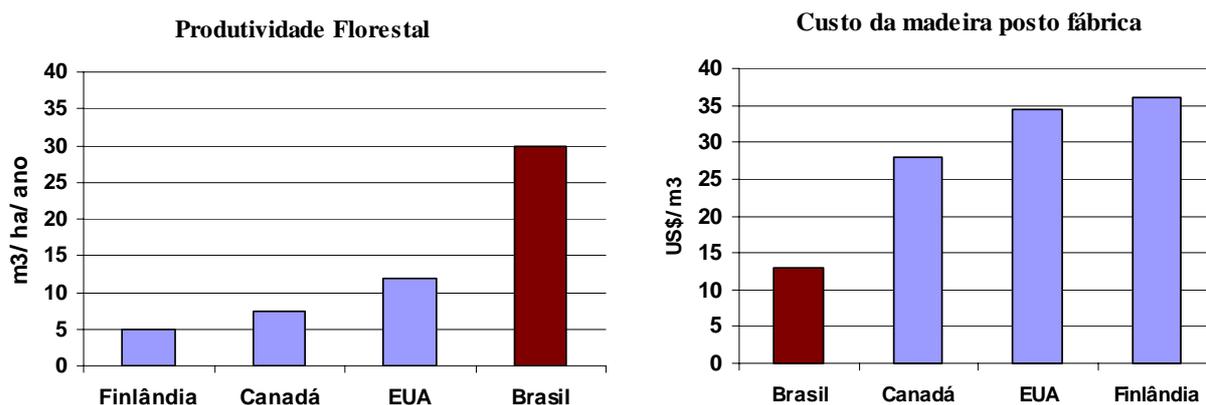


Figura 1. Produtividade florestal e custo de madeira posto fábrica em comparação aos maiores países produtores de eucalipto (Fonte: AMS, 2004).

A base florestal brasileira contempla florestas naturais e plantadas. Observa-se na Tabela 1 que, da área total do território nacional, 64,3% são cobertos por florestas naturais, 0,9% por florestas plantadas e o restante (34,8%) por outros usos, tais como: agricultura, pecuária, áreas urbanas e infra-estrutura, dentre outros.

Tabela 1. Situação florestal de alguns países em 1000 ha.

País	Área total do país	Total de florestas	% de florestas	Florestas Naturais	Florestas Plantadas	% de florestas plantadas
	(1000 ha)			(1000 ha)		
Rússia	1.688.851	851.392	50,4	834.052	17.340	2,0
China	932.743	163.480	17,5	118.397	45.083	27,6
Canadá	922.097	244.571	26,5	238.059	6.511	2,7
EUA	915.895	225.933	24,7	209.695	16.238	7,2
<b>Brasil</b>	<b>845.651</b>	<b>543.905</b>	<b>64,3</b>	<b>538.923</b>	<b>4.982</b>	<b>0,9</b>
Índia	297.319	64.113	21,6	31.535	32.578	50,8
Chile	74.881	15.536	20,7	13.519	2.017	13,0
Japão	37.652	24.081	64,0	13.399	10.682	44,4
Finlândia	30.459	21.935	72,0	18.842	3.093	14,1
Nova Zelândia	26.799	7.946	29,7	6.404	1.542	19,4

Fontes: ABIMCI, 2003.

A maioria das áreas de plantios de eucalipto concentra-se na região sudeste do país. Somente o estado de Minas Gerais detém 51,1% do total plantado. Somado ao estado de São Paulo, estes respondem por 70,2% da plantação total de eucalipto no Brasil (ABIMCI, 2003).

Em termos de produção, o setor florestal e sua cadeia de produtos, indústrias e comércio, representam cerca de 4,5% do PIB nacional, ou seja US\$ 20 bilhões anuais. As atividades industriais de base florestal, analisadas exclusivamente, atingem cerca de 2% do PIB total e proporcionam 2,5 milhões de empregos, o que corresponde à cerca de 3,5% da população economicamente ativa do país (ABIMCI, 2003).

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2003), um terço dos 300 milhões de metros cúbicos de madeira consumidos por ano no Brasil vêm de florestas

plantadas das quais, a maior parte é voltada para o setor de papel e celulose, que sozinho responde por 1,4 milhões de hectares das florestas plantadas no país.

Dados publicados pela ABIMCI (2003) mostram a relevância do setor de base florestal (Tabela 2) no desenvolvimento nacional através dos benefícios sociais, principalmente via geração de empregos, bem como, ambientais, por intermédio da exploração sustentável dos recursos florestais.

Tabela 2. Indicadores financeiros do setor de base florestal do Brasil, 2003. (Fonte: ABIMCI, 2003).

<b>INDICADOR</b>	<b>SETOR DE BASE FLORESTAL</b>	<b>SETOR DE MADEIRA SÓLIDA</b>
<b>PIB</b>	US\$ 20 bilhões (4,5% do PIB total brasileiro)	US\$ 8 bilhões (2% do PIB total brasileiro)
<b>Tributos</b>	US\$ 4,6 bilhões (2% do total arrecadado pelo país)	US\$2,1 bilhões (1% do total arrecadado pelo país)
<b>Empregos</b>	6,5 milhões (9% da PEA brasileira)	2,5 milhões (3,5% da PEA brasileira)
<b>Exportação</b>	US\$ 4,4 bilhões (7% da exportação total brasileira)	US\$ 2,2 bilhões (4% da exportação total brasileira)

#### **4.2 Características de manejo do solo de florestas plantadas**

Uma das características importantes para a definição de estratégias de controle de plantas daninhas em áreas florestadas é o sistema de manejo do solo utilizado na maioria dos plantios florestais. Em função do tipo de manejo, algumas características estruturais dos equipamentos devem ser adaptadas às condições da superfície, visando obter garantia na qualidade de aplicação e controle de plantas daninhas.

O cultivo mínimo florestal prevê a realização de um preparo localizado apenas na linha de plantio ou na cova de plantio. No primeiro caso, prepara-se uma faixa menor que 50 cm de largura e menor que 50 cm de profundidade. Nesse método, a maior parte dos resíduos inclui a serapilheira, galhos, ponteiros e folhas deixados pós-colheita, no caso de reforma, ou os restos da vegetação anterior. Dependendo do método de colheita e processamento da madeira no campo, também as cascas são deixadas como resíduos culturais (GONÇALVES & BENEDETTI, 2000).

Atualmente, a maioria das empresas florestais produtoras de eucalipto e de pinus adotou como sistema de manejo do solo o cultivo mínimo. De acordo com Zen et al. (1995), o cultivo mínimo em áreas florestais é um processo de implantação florestal que se baseia na realização de operações mínimas, de maneira a propiciar a adição dos nutrientes no solo, o plantio de mudas no campo e o controle da matocompetição, sem causar prejuízo no desenvolvimento e na produtividade do povoamento florestal.

De acordo com Zen et al. (1995) a mudança mais notória com a adoção do cultivo mínimo é a superfície do terreno, o qual em função da manutenção dos resíduos remanescentes da colheita, a biomassa que recobre o solo é da ordem de 34 a 44t ha<sup>-1</sup>, composto pela serapilheira (20 a 30 t ha<sup>-1</sup>) e a copa mais o ponteiro das árvores com diâmetro menor que 5 cm (aproximadamente 14 t ha<sup>-1</sup>).

Como exemplo da influência do sistema de cultivo nas operações de aplicação de herbicidas, Queiroz (2001) avaliou a influência do cultivo mínimo nas oscilações de barra de pulverização utilizadas em florestas plantadas por meio de videografia digital. Os resultados mostraram valores altos de oscilação vertical e horizontal em função do sistema de manejo do solo adotado, porém, com a adoção de sistemas estabilizadores de barras pulverizadoras, tais oscilações foram menores.

### **4.3 Controle de plantas daninhas em plantios de eucalipto**

Toledo et al. (2001) avaliaram o efeito da densidade de *Brachiaria decumbens* Staf sobre o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Nesse experimento foram testadas diferentes densidades de plântulas de *B. decumbens*, nos valores de: 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 60, 80, 100 e 120 plantas m<sup>-2</sup>, e chegou-se a conclusão de que 4 plantas m<sup>-2</sup> de *B. decumbens* foi suficiente para interferir no crescimento inicial das mudas de eucalipto.

Em um estudo sobre períodos de controle de *Brachiaria* sp e seus reflexos na produtividade de *Eucalyptus grandis*, Toledo et al. (2003a) avaliaram diferentes períodos de convivência e de controle das plantas daninhas na cultura do eucalipto divididos em duas etapas. Na primeira, a convivência iniciava-se no plantio e era estendida até 28, 56,

84, 112, 140, 168, 278 e 360 dias. Na segunda a convivência iniciava-se no plantio e aos 28, 56, 84, 112, 140, 168 e 278 dias e era estendida até 364 dias. De acordo com os resultados os autores concluíram que é necessário um período de controle de 78 dias após o plantio para obter apenas 5% de redução em volume de madeira aos 78 meses.

Silva et al. (1997), em um estudo sobre os efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a infestação de plantas invasoras em plantios de eucalipto, testaram os seguintes sistemas: a) manutenção do povoamento de *Eucalyptus grandis* (sete anos) intacto cobrindo o solo; b) corte raso do povoamento, manutenção de todos os resíduos culturais sobre o solo e condução da brotação; c) corte raso do povoamento, manutenção de todos os resíduos culturais sobre o solo; d) corte raso do povoamento, manutenção da serapilheira sobre o solo, remoção dos restos da colheita da madeira; e) corte raso do povoamento, remoção dos resíduos culturais (serapilheira e restos da colheita); f) corte raso do povoamento e incorporação dos restos culturais com grade pesada; g) corte raso do povoamento e queima de todos os resíduos culturais. Nos tratamentos de “c” a “g”, foram feitos plantios de um novo povoamento de *Eucalyptus grandis*. Aos três e seis meses após o plantio, avaliou-se a ocorrência de espécies invasoras. Os resultados mostraram que o cultivo mínimo do solo reduziu, consideravelmente, a infestação de plantas invasoras, principalmente as herbáceas; o cultivo intensivo e a queima dos resíduos culturais estimularam a infestação e crescimento das plantas invasoras, principalmente o das herbáceas. A gradagem do solo elevou a infestação de plantas propagadas vegetativamente.

Em relação à faixas de controle, Toledo et al. (2003b) testaram os seguintes comprimentos: 0, 25, 50, 100, 125 e 150 cm de cada lado da linha de plantio de eucalipto, e constataram que na faixa de controle de 200 cm as árvores de eucalipto mostraram-se superior em diâmetro medido à altura do peito, altura, volume e incremento médio anual de madeira.

Em um experimento conduzido por Toledo et al. (1995) em área florestada com *Eucalyptus grandis*, objetivando a comparação dos custos de quatro sistemas de manejo de braquiária (*Brachiaria decumbens*) na entrelinha de plantio, os seguintes tratamentos foram adotados: roçadora, grade, glyphosate aplicado a 1440 g e.a. ha<sup>-1</sup> e capina manual. Os resultados permitiram aos autores constatar que a capina manual foi o método que melhor controlou a braquiária durante todo período de condução do trabalho, mas o seu custo

de operação foi aproximadamente 2,6 vezes maior que os demais sistemas de manejo. A aplicação do herbicida glyphosate na dose de 1440 g e.a. ha<sup>-1</sup> proporcionou excelente controle da braquiária, chegando, em algumas ocasiões, a se igualar, em eficiência, à capina manual, e ser o mais barato dentre os sistemas em teste. A utilização da grade e da roçadora não se mostrou como um bom método de controle desta planta daninha e apresentaram um custo intermediário ao dos dois outros sistemas de manejo.

Ainda em relação a custos, Toledo et al. (1996) constataram que a atividade mais onerosa no primeiro ano de implantação de *E. grandis* é o controle das plantas daninhas. Nessa pesquisa, o controle do capim- braquiária na entrelinha de plantio, feito com capina manual, representou 30,7% dos custos totais de implantação, enquanto que o controle químico com glyphosate representou 17,3% do total gasto. Esses autores ainda observaram que os custos de controle de plantas daninhas totalizaram cerca de 66% do custo total de implantação da floresta, independente do manejo adotado.

Com o objetivo de estudar o efeito da interferência das plantas daninhas durante diferentes períodos de convivência e controle das mesmas em florestamento de *Eucalyptus grandis*, Marchi et al. (1995) realizaram um experimento conduzido no sistema de cultivo mínimo, com o plantio da espécie *Eucalyptus grandis*. Os tratamentos experimentais foram divididos em dois grupos: no primeiro, a cultura do eucalipto conviveu com a comunidade infestante, desde o transplante e por períodos de 28, 56, 84, 112, 140, 168, 224, 280 e 364 dias, a partir dos quais a cultura foi mantida no limpo; no segundo grupo, a cultura permaneceu livre da presença das plantas daninhas durante os mesmos períodos do primeiro grupo, também desde o transplante, porém ao final de cada período, as plantas daninhas que emergiram foram deixadas crescer livremente. A manutenção da cultura no limpo foi possível através de capinas manuais nas entre linhas e nas linhas de plantio. Os efeitos dos períodos de convivência, mostraram que a interferência da comunidade infestante foi expressiva desde os primeiros estádios de crescimento da floresta. Analisando os efeitos dos períodos de controle, os autores observaram que os maiores ganhos de crescimento do eucalipto foram obtidos com o controle das plantas daninhas no período de 100 a 120 dias.

### 4.3.1 Herbicidas utilizados em florestas plantadas

Poucos herbicidas são registrados para uso em área florestal. Entre estes, apenas os que têm como ingredientes ativos glyphosate, isoxaflutole, imazapyr e oxyfluorfen são utilizados em maior escala.

O isoxaflutole e o oxyfluorfen, aplicados em pré-emergência das plantas daninhas em áreas florestais, foram utilizados em um experimento conduzido por Costa et al. (2002), nas doses de 75; 112,5 e 150 g ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole e 1200 g ha<sup>-1</sup> de oxyfluorfen, além dessas doses, uma área capinada caracterizada como testemunha e outra sem capina também foram adotadas como tratamentos em uma região de plantio de eucalipto recém-transplantado. O volume de calda aplicado para ambos herbicidas foi de 200L ha<sup>-1</sup>. As avaliações foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação, com base em uma escala visual de percentagem. Os resultados mostraram que o herbicida isoxaflutole nas doses 112,5 e 150 g ha<sup>-1</sup> controlou com eficiência as espécies *Ageratum conyzoides* e *Brachiaria plantaginea*, o mesmo ocorrendo para o tratamento com oxyfluorfen. Foram observados sintomas leves de injúrias nas mudas causados pelos herbicidas sem, entretanto, afetar significativamente o crescimento da espécie.

Com o objetivo de avaliar eficiência e seletividade do herbicida isoxaflutole em *Eucalyptus grandis*, em aplicação em pós-plantio, Adoryan et al. (2002) compararam dados de uma área sem capina, com dados provenientes de aplicação de isoxaflutole nas doses: 56,25; 75; 112,5 e 150 g ha<sup>-1</sup>; oxyfluorfen a 720 g ha<sup>-1</sup> e sulfentrazone a 750 g ha<sup>-1</sup>, sendo que o volume de calda utilizado para todos os tratamentos foi de 200 L ha<sup>-1</sup>. As avaliações de controle de plantas daninhas e de seletividade foram realizadas aos, 8, 15, 29, 43, 67 e 88 dias após as aplicações, através de escala visual porcentual. De acordo com os resultados obtidos, destacaram-se os tratamentos com utilização de isoxaflutole nas doses de 75; 112,5 e 150 g ha<sup>-1</sup>, com controle superior a 85% aos 88 dias após as aplicações para *Brachiaria plantaginea* e *Digitaria horizontalis* e 88% para *Portulaca oleracea*. Resultados equivalentes foram observados para oxyfluorfen e sulfentrazone. Os tratamentos com isoxaflutole foram seletivos para a cultura de *E. grandis*. Para oxyfluorfen, ocorreram sintomas leves de fitotoxicidade nas folhas, sem afetar o desenvolvimento das plantas. Para

sulfentrazone, os sintomas de dano foram mais acentuados, comprometendo o desenvolvimento das plantas de eucalipto.

Queiroz et al. (2002) avaliaram o efeito do herbicida glyphosate quando em contato com mudas de eucalipto e pinus, conduzindo um experimento onde as seguintes doses do herbicida foram aplicadas sobre as mudas das espécies florestais: 3,6; 7,2; 14,4; 36; 72; 144; 360; 720; 1440 e 2880 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Os resultados foram obtidos através de uma escala percentual visual de notas e peso de matéria seca de caule, folha e raiz. Os resultados mostraram que doses de glyphosate a partir de 144 g e.a. ha<sup>-1</sup>, causaram sintomas de fitotoxicidade e reduções significativas nos pesos de matéria seca de raízes, caules e folhas.

#### **4.4 Tecnologia de aplicação de herbicidas em plantios de eucalipto**

Machado Neto (2001), em um trabalho sobre a segurança nas atividades de aplicação de herbicidas em florestas de eucalipto e descarte de embalagens de agrotóxicos vazias, cita o uso dos equipamentos que atualmente são mais utilizados para a aplicação de herbicidas em florestas plantadas de eucalipto, bem como as situações de pulverização. Para aplicação de oxyfluorfen, herbicida usado em aplicações de pré-emergência das plantas daninhas e logo após o plantio das mudas de eucalipto é utilizado: pulverizador costal manual. Para aplicação de glyphosate, herbicida usado em aplicações de pós-emergência de plantas daninhas e controle de rebrota de eucalipto usa-se: pulverizador costal manual, pulverizador costal pressurizado, pulverizador de barra convencional de 9 metros, pulverizador semi-estacionário com mangueira arrastada - nesse sistema, a barra do pulverizador é retirada e substituída por uma mangueira de 70 m de comprimento e essa adaptação é feita colocando-se uma pistola de pulverização com um bico fixado na ponta da mangueira, pulverizador adaptado com seis mangueiras de 5 m de comprimento, onde lanças de pulverizadores costais convencionais são conectadas nas pontas das seis mangueiras da barra e barra compacta protegida, a qual é usada com proteção lateral, feita de lona plástica, e na parte superior é usada uma chapa metálica para evitar a deriva da pulverização nas folhas das plantas da cultura;

Com o objetivo de levantar os principais problemas sobre a aplicação de herbicidas em florestas plantadas, Campbell & Howard (1993) traçaram junto a proprietários e cientistas 10 principais prioridades de pesquisas sobre tecnologia de aplicação em meio florestal, são elas: 1) especificar equipamentos de proteção individual apropriados ao uso de herbicidas; 2) desenvolver tecnologia que permita a mesma eficácia dos ingredientes ativos com redução de dose; 3) desenvolver tecnologia que permita obter a mesma eficácia com redução de volume de calda; 4) determinar o tamanho ideal de gota, levando em consideração a eficácia do produto e a deriva; 5) melhorar a resistência do herbicida à lavagem por chuva; 6) determinar o efeito da estabilidade atmosférica e do vento sobre a deriva de herbicidas; 7) determinar a curva de resposta para o impacto ambiental, de acordo com a deposição do herbicida; 8) determinar os efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre a deposição; 9) desenvolver pulverizadores capazes de emitir um espectro de gotas uniforme, de acordo com a velocidade de deslocamento do trator; 10) determinar os efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre a deriva.

Além dos equipamentos citados por Machado Neto (2001), bicos de aplicação de jato descentrado também são utilizados para aplicação de glyphosate em área total em florestas plantadas (QUEIROZ et al. 2000).

#### **4.5 Fatores relativos ao desempenho operacional e custos de pulverizações**

A seleção de máquinas agrícolas consiste num processo metódico de escolha de equipamentos, que possam desenvolver o máximo de rendimento útil com um mínimo de dispêndio, quando colocados em condições impostas pelo programa de produção (MIALHE, 1974).

Nesse sentido, em relação à aplicação de defensivos agrícolas, Baio et al. (2004) citam que a seleção de pulverizadores agrícolas que se adaptem às necessidades da propriedade, é um processo trabalhoso, sendo uma das etapas mais importantes dentro do processo produtivo. Em relação a racionalização de uma aplicação de defensivos agrícolas, Matuo (1990) cita, ainda, que é de primordial importância a sua análise operacional e econômica.

De acordo com Fleck & Candemil (1995), no que diz respeito à capacidade operacional de pulverizadores, estes diferenciam-se das outras operações mecanizadas em função do abastecimento do tanque e da necessidade de preparo da calda, acrescentando custos operacionais, pois há a necessidade de se utilizar outras máquinas para otimizar o uso dos pulverizadores no campo.

Veiga (2004) cita que os fatores que determinam a eficiência operacional da aplicação são aqueles associados à logística da pulverização, que segundo Matuo (1990), citado pelo autor em questão, são: velocidade de pulverização, largura da faixa de pulverização, tempo de manobra, distância percorrida para cada reabastecimento, volume de pulverização, velocidade de deslocamento para reabastecimento, capacidade do tanque e tempo de reabastecimento do tanque.

Gandolfo (2002) realizou estudos com a proposta de incentivar o uso adequado de pulverizadores, propondo uma medida adotada em alguns países da Europa para controlar pulverizações, designada inspeção periódica de pulverizadores a campo. Este sistema de inspeção atribui às máquinas certificação e/ou orientação aos usuários objetivando a redução da quantidade de defensivos agrícolas utilizados, com conseqüente redução do custo e da contaminação ambiental, além de elevar a eficiência das aplicações.

A modelagem computacional é uma alternativa que auxilia no planejamento de sistemas mecanizados, respeitando as alternativas viáveis de produção. Vários modelos foram desenvolvidos visando identificar fatores que interferem no custo de produção e promover sistemas mecanizados que proporcionem maior rendimento sem contudo diminuir a qualidade do sistema de produção (BAIO et al., 2004; MERCANTE et al., 2001; LOPES et al., 1995; VEIGA, 2004).

Baio et. al (2004) obtiveram bons resultados na seleção de pulverizadores de barra por meio do desenvolvimento e utilização de um modelo de programação linear, baseado no menor custo horário desses equipamentos.

#### **4.6 Agricultura de precisão e Silvicultura de precisão**

Vários conceitos e técnicas abordadas na agricultura de precisão são elucidados por diversos autores. Segundo Vargas (2005), o uso racional de tecnologias, como sinais de satélite e softwares para interpretação de dados geoprocessados são utilizadas como sistemas de acompanhamento, controle e análise que permitem verificar as variações espaciais e temporais dos fatores limitantes à produção, orientando no processo de tomada de decisão na aplicação localizada de insumos e no manejo diferenciado das culturas no campo. Assim, pode-se determinar "qual, quando e onde" o insumo deve ser aplicado e "como" fazê-lo, permitindo identificar locais específicos com diferentes potenciais de produtividade, podendo-se determinar ou não, desde que econômica e tecnicamente viáveis, investimentos em insumos ou na correção de fatores limitantes à produção, visando a maximização da produtividade e minimização dos impactos ambientais negativos.

Dampney & Moore (1999) citam que os benefícios da agricultura de precisão estão relacionados à otimização do uso dos insumos. Disso resulta a diminuição dos custos de produção e conseqüente redução das contaminações decorrentes da atividade agrícola.

O estudo da distribuição espacial dos fatores possíveis de ser mensurados e que influenciam no maior ou menor rendimento da cultura explorada é denominado Agricultura de Precisão (COUTO & SCARAMUZZA, 2004).

A aplicação dos conceitos e benefícios da agricultura de precisão é usada nas diversas culturas agrícolas, bem como no setor florestal. Nesse sentido, Vettorazzi & Ferraz (2004) citam que a abordagem do gerenciamento localizado das atividades silviculturais é a Silvicultura de Precisão, onde esta se baseia na coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções localizadas na floresta com exatidão e precisão adequadas.

#### 4.7 Aplicação localizada de herbicidas

Segundo Steward et al. (2002) duas formas de aplicação localizada de herbicida automatizada são utilizadas: (i) aplicação em tempo real, ou seja, a pulverização é realizada à medida que o equipamento se desloca pelo campo, e a decisão de aplicação é feita com o auxílio de sensores ou de imagens; (ii) aplicação com auxílio de mapas, onde o mapeamento prévio da infestação é efetuado, e a partir deste o pulverizador realiza a aplicação no local pré-determinado de controle.

Esquerdo (2002), em um trabalho sobre aplicação localizada de herbicida, adaptou válvulas solenóides a um pulverizador convencional para promover a aplicação do defensivo no sistema “liga-desliga”, utilizando uma dose fixa e informações de um mapa de prescrição, contendo as coordenadas dos locais onde a aplicação deveria ocorrer. Os resultados mostraram que a adaptação realizada permitiu o controle localizado das infestações, resultando na redução da quantidade de herbicida aplicada em comparação ao tratamento convencional.

Baio e Balastreire (2003), utilizando um sistema de aplicação localizada, obtiveram a economia de 31,6% de herbicida quando comparado a uma aplicação em área total. A aplicação foi efetuada utilizando-se um pulverizador automotriz, adaptado com um sistema de injeção direta de defensivos e baseada em um mapa de prescrição de herbicida obtido através do contorno das reboleiras em um campo de produção agrícola.

Esquerdo et al. (2002) desenvolveram e avaliaram um programa de computador responsável por controlar um pulverizador convencional e, dessa forma, realizar a aplicação localizada de defensivos agrícolas na estratégia “liga-desliga”, com dose fixa do defensivo. Com o auxílio de um mapa de prescrição e um DGPS o programa verificava se o trator se encontrava no interior da mancha ou próximo a ela. Os resultados revelaram que o programa pode vir a ser utilizado em pulverizadores convencionais, adaptando-se válvulas solenóides para aplicação localizada de herbicida, utilizando-se a estratégia de “liga-desliga”.

### **4.7.1 Sistemas Sensores**

De acordo com Novo (1992) um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente. O mesmo autor também cita que os sistemas sensores são classificados como sensores não-imageadores e imageadores. Os sensores imageadores obtêm como resultado de sua análise uma imagem do alvo, enquanto os sensores não-imageadores avaliam outras variáveis que não imagens.

#### **4.7.1.1 Sensores ópticos**

Os sensores ópticos ( sensor não-imageador) integram a energia no tempo, no espaço e em comprimento de onda para produzir uma curva espectral que caracteriza a potência eletromagnética refletida pelo alvo (NOVO, 1992).

Haigh & Felton (2004), em um breve histórico sobre o desenvolvimento de sensores espectrais citam as dificuldades encontradas referentes às fontes de luz necessária para a detecção de reflexão emitida pelas plantas. Os primeiros testes foram efetuados usando-se a luz do sol, contudo a efetividade do sensor foi prejudicada em função de variações de luminosidade ao longo do dia. A solução para esse problema foi obtida com o desenvolvimento de sensores portadores de sua própria fonte de luz. O mesmo problema foi detectado por Von Bargen et al. (1993) e Hagggar et al. (1983). Estes autores ainda citam dificuldades na detecção de plântulas e no sincronismo de detecção e aplicação feita pelos bicos.

Hooper et al. (1976) desenvolveram um sensor óptico capaz de distinguir solo de planta baseando-se na reflexão proporcionada por estes em resposta a comprimentos de onda pertencentes à porção do vermelho visível e do infravermelho próximo. O conceito foi avaliado em solo de coloração clara e com cobertura, e plantas com diferentes tons de verde. Os percentuais de reflexão das superfícies avaliadas mostraram que solo de coloração clara e com cobertura, e plantas com tonalidades mais escuras de verde apresentaram maiores percentuais de reflexão.

Haggar et al. (1983), em um experimento sobre aplicação localizada de herbicida usando sensor óptico, estudaram diferentes comprimentos de onda refletidos por planta e solo e através do equacionamento dos mesmos, maiores valores foram obtidos quando da detecção de plantas. Ainda no mesmo experimento, os autores desenvolveram um pulverizador costal munido deste sensor óptico e que tinha como função a aplicação de glyphosate. Os resultados das aplicações efetuadas com o pulverizador proporcionaram a economia de 60% quando comparadas a uma aplicação em área total.

Shearer & Jones (1991) desenvolveram e avaliaram um pulverizador capaz de realizar aplicação localizada de um herbicida usado em pós-emergência de plantas daninhas em plantio de soja. A aplicação localizada foi possível utilizando-se um sensor de reflexão captada na porção do infravermelho próximo e uma válvula solenóide. Durante o experimento foram avaliados a capacidade do sensor de detectar a presença de plantas daninhas na entrelinha do plantio, a sensibilidade de detecção de plantas daninhas em condições de laboratório e campo, o potencial de economia utilizando-se o sensor e a efetividade de controle de plantas daninhas. Os resultados obtidos indicaram uma economia de 15% de herbicida e o controle de plantas daninhas igual ao obtido com aplicações feitas a partir de pulverizadores convencionais.

Ning et al. (1999), em um experimento sobre detecção e diferenciação de plantas daninhas, culturas e solo, utilizaram características espectrais de 30 espécies de plantas daninhas e 5 culturas (milho, girassol, soja, sorgo e trigo) com o objetivo de desenvolver e avaliar um sensor óptico. Para cada espécie de planta, o espectro de absorbância de folhas e caules foi coletado separadamente em 2 estádios de desenvolvimento das plantas, às 3 e 6 semanas após o plantio. Após a análise de dados de absorbância de luz, notou-se que 3 plantas daninhas e trigo apresentaram valores de picos de absorbância em determinados comprimentos de onda representativos de todas as espécies daninhas e culturas. Em relação ao solo também se estabeleceu um determinado comprimento de onda referente a um pico de absorbância de luz. Os resultados obtidos permitiram definir que o estudo das características espectrais de plantas daninhas, trigo e solo identificaram 5 comprimentos de ondas (545, 614, 675, 751 e 1453 nm) usados na diferenciação das superfícies em questão.

Bremer & Grichar (2004), em um trabalho sobre controle de plantas daninhas em sorgo, obtiveram bons resultados de controle de plantas daninhas com a

aplicação de glyphosate feita com o auxílio do sistema óptico WeedSeeker®. Os autores relataram que a economia obtida dependeu da densidade e da distribuição da infestação, e que a utilização desse equipamento reduziu a necessidade de reaplicações, diminuindo também gastos com combustível e herbicida por área.

Brown et al. (1994) realizaram um estudo comparativo entre duas metodologias de identificação de plantas daninhas em uma área de plantio direto de milho. Os autores usaram na primeira metodologia um espectrorradiômetro (Spectron Model SE 590®) para a identificação de dados espectrais de sete espécies de plantas daninhas: 1 – “redroot pigweed” (*Amaranthus retroflexus*), 2 – “lamb’s-quarters” (*Chenopodium album*), 3 – “dandelion” (*Taraxacum officinale*), 4- “milkweed” (*Asclepias syriaca*), 5 – “bluegrass” (*Poa compressa* e *Poa pratensis*), 6 – “quackgrass” (*Agropyron repens*) e 7 – “foxtail” (*Setaria* sp). No segundo experimento os autores usaram uma câmera (Canon Model RC 760®) em um vôo de baixa altitude (500 a 700 m) e em um veículo terrestre, sendo que no último a câmera estava localizada a 10 m do solo. Os resultados das duas metodologias mostraram que a variação espectral das curvas de reflexão (Figura 2) obtidas com as 7 espécies daninhas através do espectrorradiômetro foi suficiente para diferenciar as espécies, sendo que 4 comprimentos de onda apresentaram alterações significativas nas porcentagens de reflexão (440, 530, 650 e 730 nm). Em relação à metodologia de obtenção de imagens, concluiu-se que após a conversão destas para arquivos digitais, foi possível a análise e identificação das plantas daninhas. Os autores ainda ressaltaram maior praticidade do uso de câmeras quando comparada ao uso de espectrorradiômetros na identificação de plantas daninhas no campo.

Olson (2004) cita o uso do sistema óptico Weedseeker® em plantios de soja, milho e algodão e dados relativos à economia de 70, 53 e 71% foram obtidos na aplicação de herbicida nessas culturas, respectivamente.

Haigh & Felton (2004) testaram o uso do sistema óptico Weedseeker® em plantios de canola, ervilha, feijão e trigo com a presença de palha. Os resultados mostraram que houve uma relação linear entre palha e reflexão emitida pela mesma quando da presença de menos de 1000 kg de palha ha<sup>-1</sup>.

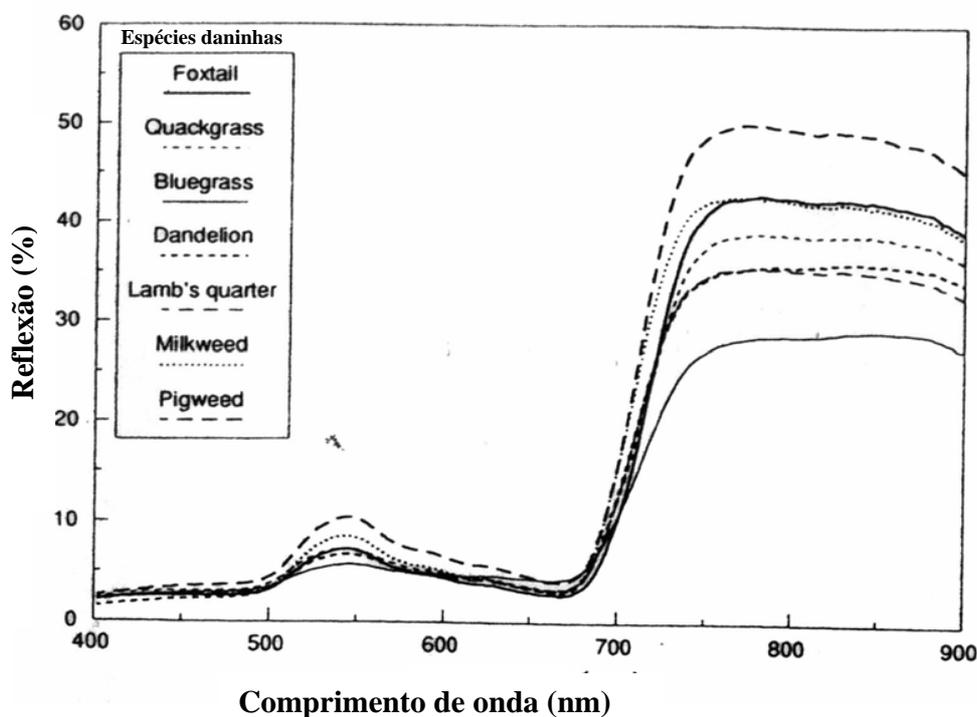


Figura 2. Curva espectral de reflexão das 7 espécies daninhas. Adaptado de Brown et al. (1994).

Nery (2003), em um experimento sobre aplicação localizada de dose variada de herbicida, utilizou o sistema sensor óptico Weedseeker® e avaliou dados de sensibilidade do mesmo quanto ao tamanho e arquitetura de plantas daninhas, velocidade de aplicação, diferentes superfícies e densidade de massa foliar. Os resultados permitiram concluir que o sensor não identificou plantas com áreas foliares inferiores a  $5,32 \text{ cm}^2$ . Em relação ao volume gasto na aplicação, o uso do sensor proporcionou uma economia de 33,6 %.

#### 4.7.1.1.1 Funcionamento dos sensores ópticos

Segundo Nery (2003), o princípio de funcionamento do sistema de sensores ópticos Weedseeker® baseia-se no percentual de reflexão emitido por planta ou por

solo quando expostos a uma fonte de luz, a qual é projetada constantemente do interior de cada unidade de Weedseeker®, com as dimensões de 0,5 cm de largura e 33,02 cm de comprimento sobre diferentes superfícies.

O sensor, por sua vez, é constituído por 2 fotodiodos que percebem a reflexão emitida correspondentes aos comprimentos de onda de 645 nm e 850 nm, classificados como valores pertencentes a faixas de comprimento de onda do vermelho visível e do infravermelho próximo, respectivamente

De acordo com a Figura 3, nota-se que a planta, no intervalo de comprimento de onda entre 630 e 660 nm (vermelho visível), emite um percentual de reflexão menor que o solo, e o inverso acontece a partir do comprimento de onda de 750 nm até 1200 nm (infravermelho próximo). O solo, por sua vez, emite percentuais de reflexão em aumento linear proporcional ao aumento do comprimento de onda.

Baseando-se nessas informações, o sistema calcula o quociente entre os percentuais de reflexão emitidos por planta e solo (equação 1), nos comprimentos de onda captados pelos fotodiodos no vermelho visível (645 nm) e no infravermelho próximo (850 nm). Obtendo-se valores de quociente entre 1,1 e 1,5, caracteriza-se a superfície como solo, e entre 6,0 e 15,0 como planta.

$$Q = \% \text{ infravermelho (NIR)} / \% \text{ vermelho visível (RR)} \quad (1)$$

em que,

Q = quociente obtido com as reflexões proporcionadas por solo ou planta

% infravermelho (NIR) = porcentagem de luz refletida, captada na porção do infravermelho próximo, %

% vermelho visível (RR) = porcentagem de luz refletida, captada na porção do vermelho visível, %

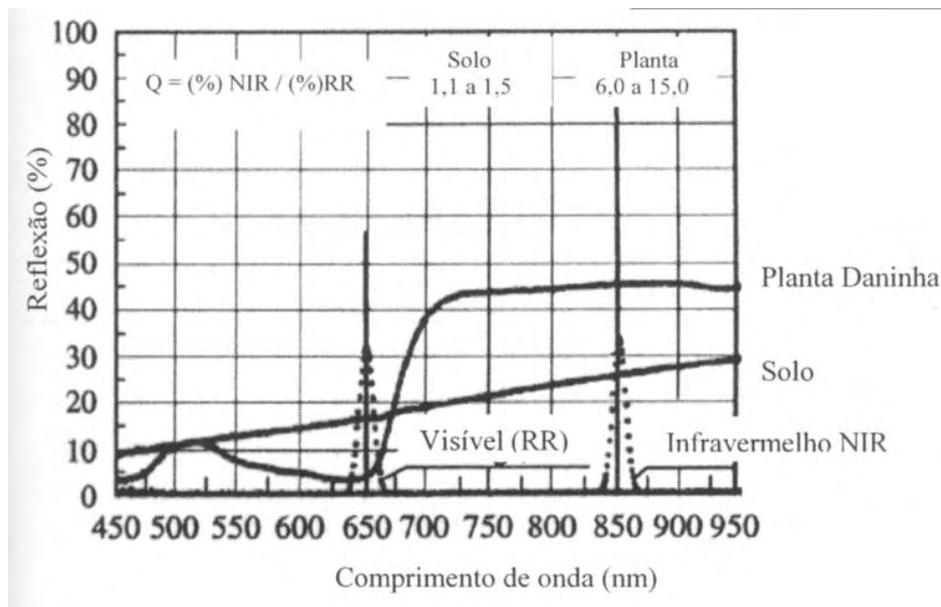


Figura 3. Reflexão emitida por solo e planta em função do comprimento de onda adaptado de Biller et al. (1997) por Nery (2003).

A pulverização sobre a superfície “planta”, será permitida após o cálculo de quociente de percentuais de reflexões emitidas efetuado por um microcomputador, pertencente ao sistema Weedseeker® através de um programa chamado Erasable Programmable Read Only Memory, responsável também por emitir um sinal elétrico para a válvula solenóide que permite a pulverização.

A Figura 4 ilustra o funcionamento esquemático do sensor.



- Luz emitida para provocar reflexão de luz proporcionada pela planta.
- Reflexão emitida pela planta e captada pelo sensor.

Figura 4: Esquema de funcionamento do Sensor Weedseeker®.

#### 4.7.1.2 Sensores imageadores

Chapron et al. (1999), citados por Gerhards & Christensen (2003) usaram sistemas de análise de imagens digitais para identificar diferentes espécies de plantas, baseando-se em características de formato, cor e textura. De acordo com cada dado avaliado em meio as imagens, foi possível diferenciar, em tempo real, plantas daninhas e culturas, permitindo a aplicação localizada de herbicidas seletivos.

Gerhards et al. (2002), citados por Gerhards & Christensen (2003) desenvolveram um sistema de aquisição de imagens para identificação e diferenciação de plantas daninhas e culturas. O princípio de funcionamento do sistema baseou-se na obtenção de duas imagens obtidas no mesmo instante, porém com a luz refletida pela planta correspondente a duas regiões de comprimentos de onda diferentes, ou seja, um na região do vermelho visível, no intervalo de 550 a 570 nm, e outra na região do infravermelho próximo, no intervalo de 770 a 1150 nm. Das imagens registradas em diferentes comprimentos de onda obtém-se apenas uma que terá resolução binária e de contorno. (Figura 5 e Figura 6). As imagens foram obtidas em meio ao cultivo de milho, trigo de inverno, beterraba e cevada, registrando-se além de imagens das culturas, imagens de 25 espécies de plantas daninhas. Os dados das imagens foram armazenados e usados na identificação de espécies de plantas quando efetuada a aplicação localizada em tempo real para o controle de plantas daninhas nessas culturas.

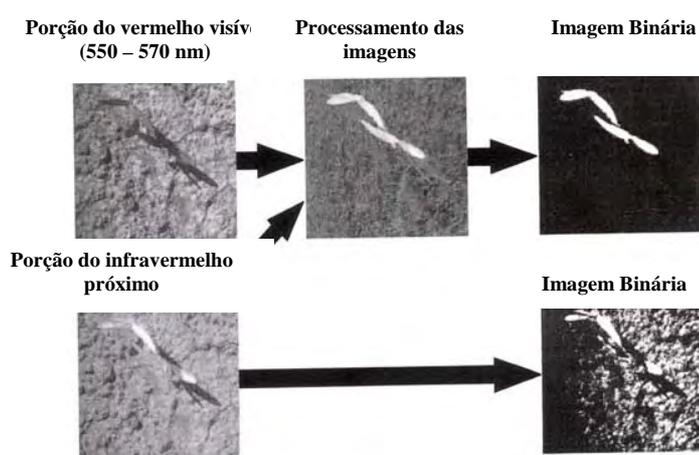


Figura 5. Exemplos de imagens obtidas de duas plântulas de beterraba em diferentes comprimentos de onda e transformadas em imagens binárias. Figura adaptada de Gerhards et al. (2002).



Figura 6. Exemplos de imagem de 2 plantas de milho e *Chenopodium album* (na entrelinha), transformadas em imagem binária e de contorno. Figura adaptada de Gerhards et al. (2002).

Utilizando um sistema de imagens, Guyer et al. (1986), citados por Zhang & Chaisattapagon (1995), investigaram metodologias para aplicação de herbicidas que usaram características de formato, textura e coloração das plantas daninhas para diferenciá-las das culturas. Ainda nessa mesma linha de estudo, Thompson et al. (1990) citam que a maior dificuldade de pulverizadores munidos de câmera para identificação de plantas daninhas é o reconhecimento das mesmas em estágio inicial de crescimento.

Pérez et al. (2000), por meio de imagens obtidas com uma câmera desenvolveram um experimento para detectar plantas daninhas de folha larga em áreas de cultivo de cereais. O método desenvolvido propôs o uso de informações de cores para discriminar a vegetação do solo e informações de formato de folhas para diferenciar plantas daninhas de culturas. Os resultados mostraram que, apesar das dificuldades de diferenciação das plantas em estágio de plântulas, o uso de imagens mostrou-se eficiente na detecção de plantas daninhas nas entrelinhas das culturas.

Tian (2000) desenvolveu e avaliou um sistema para aplicação de herbicida a partir da visualização em tempo real efetuada com o auxílio de uma câmera. Tal sistema foi desenvolvido para, além de detectar isoladamente plantas daninhas, ou “manchas” das mesmas, registrar concomitantemente à aplicação de herbicida, dados para classificação de condições de infestação. Com isso, além de proporcionar redução no consumo de herbicida através da aplicação localizada com o uso de sistema imageador, é possível também obter mapas de descrição de infestação de plantas daninhas das áreas onde foi realizada a aplicação.

Mayer et al. (1998) citam alguns problemas relacionados aos sistemas de aplicação localizada de herbicidas que usam o reconhecimento de imagens de plantas

daninhas através de parâmetros de textura e morfologia. Tais sistemas necessitam de alta resolução das imagens e os algoritmos de detecção são complicados e caros.

Outras dificuldades são apresentadas por Stafford & Benloch (1997) que relatam que as imagens digitais têm seu uso limitado à identificação de plantas daninhas somente nos estádios iniciais de crescimento das culturas e nas entrelinhas das mesmas.

Em condições de campo, a discriminação entre plantas daninhas e culturas com o uso de imagens digitais têm suas dificuldades ainda mais evidenciadas em função da variação de condições de luminosidade e propriedades de reflexão do solo (CHANCELLOR & GORONEA, 1993).

Com o objetivo de determinar se a utilização de câmeras possibilita a identificação e diferenciação entre plantas daninhas e culturas durante a aplicação de herbicidas, Guyer et al. (1986) desenvolveram um método para avaliar imagens digitais. Em casa-de-vegetação o crescimento de 5 plantas daninhas: *Sorghum halepense*, *Abutilon theophrasti*, *Datura stramonium*, *Setaria faberi* e *Chenopodium album*, e de 3 espécies de culturas: *Zea mays* (milho), *Glycine max* (soja) e *Lycopersicon lycopersicum* (tomate), tiveram suas imagens digitais registradas durante seu crescimento com resolução de 240 x 256 pixels. Visando simular situações reais de campo, imagens digitais foram obtidas com as plantas sobre o solo, e características de tamanho, número e formato de folhas e níveis de cor cinza foram avaliadas. De acordo com o estudo foi possível concluir que esse método possibilita a identificação e diferenciação entre culturas e plantas daninhas.

Franz et al. (1991) utilizaram imagens digitais para desenvolver um método de identificação de plântulas das espécies daninhas *Abutilon theophrasti*, *Ipomoea hederacea*, *Setaria faberi* e soja de acordo com o formato das folhas dessas plantas. Através desse método os autores tiveram como objetivo minimizar erros de aplicação de herbicida quando os sensores imageadores não detectam plântulas de espécies daninhas parcialmente cobertas pelas culturas ou não identificam as plântulas quando estas apresentam suas folhas em posição diagonal ou vertical. Os autores concluíram que o formato das folhas não é um parâmetro eficiente para identificação das plântulas nas condições de diferentes posições sobre as quais foram avaliadas.

Zhang & Chaisattapagon (1995), com o objetivo de definir um critério para identificação de várias plantas daninhas de folha larga comumente encontrada no cultivo

de trigo de inverno no Kansas, usaram imagens digitais em branco e preto e características de cor, formato e textura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as plantas de trigo e de 5 espécies de daninhas tiveram seu crescimento registrado por meio de uma câmera de vídeo. As imagens foram analisadas por um software chamado Khoros®. As plantas foram semeadas em recipientes que comportavam juntamente plantas daninhas e trigo. Para as análises feitas a partir de cores das imagens digitais, diferentes níveis de “cinza” foram definidos e utilizados na classificação de pixels, os quais possibilitaram a identificação de cinco diferentes categorias: folhas de trigo, folhas de plantas daninhas, caule de plantas daninhas, solo e areia. Para as análises de formato das plantas, 5 parâmetros foram avaliados: excentricidade, textura e três momentos durante o crescimento. Todos os parâmetros avaliados no experimento foram eficientes na diferenciação de plantas daninhas e trigo utilizando-se imagens digitais.

Woebbecke et al. (1995), em um experimento em casa de vegetação, utilizaram os mesmos parâmetros que Zhang & Chaisattapagon (1995) para a diferenciação de 10 plantas daninhas, soja e milho, com exceção da característica de textura. Os resultados mostraram que as análises das plantas devem ser feitas até 30 dias após o plantio em vaso, uma vez que após esse período o crescimento radicular das plantas as diferencia das mesmas quando em condições normais de campo.

Vrindts et al. (2002) desenvolveram um experimento comparando a diferenciação de plantas daninhas, milho e beterraba em condições de laboratório e de campo. As metodologias avaliaram o potencial de reflexão em resposta ao intervalo de comprimento de onda de 400 a 2000 nm e 480 a 820 nm, em condições de laboratório e campo, respectivamente. Os testes foram separados em duas condições para avaliar-se com precisão a interferência das condições de luminosidade na aquisição de dados. Para as análises em laboratório os dados foram obtidos com um espectrofotômetro e em campo obtiveram-se os dados por meio de um espectrógrafo e de uma câmera digital. Nos testes de laboratório, 97% das espécies de plantas e culturas puderam ser distinguidas, enquanto nos testes de campo, a taxa de diferenciação alcançada foi da ordem de 90%.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de uma parceria que envolveu o NEMPA - Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP e as empresas International Paper do Brasil e Máquinas Agrícolas Jacto SA. O grupo foi formado visando incentivar o desenvolvimento de sistemas de controle de plantas daninhas em áreas florestais usando os conceitos de aplicação em taxas variáveis e aplicação localizada. Este trabalho, no contexto da parceria descrita, é uma continuidade do estudo iniciado por Nery (2003). Assim, ao longo do texto, o equipamento denominado “pulverizador desenvolvido” representa uma evolução do conceito proposto por Nery (2003) (aplicação em taxas variáveis comandada por sensores ópticos); o sistema denominado “convencional” corresponde ao pulverizador em uso atualmente na International Paper e o “sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens” é uma nova proposta desenvolvida pela empresa Jacto para a substituição do sistema de sensores ópticos Weeseeker®.

## **5.1 Material**

### **5.1.1 Local**

#### **5.1.1.1 Desenvolvimento em laboratório**

O desenvolvimento do pulverizador e o ensaio do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagem foram realizados no NEMPA, e no NUPAM, (Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia), respectivamente, ambos localizados na Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, no campus de Botucatu/ SP.

#### **5.1.1.2 Ensaio de campo**

Os ensaios de desempenho operacional do pulverizador desenvolvido foram realizados em áreas da empresa de celulose e papel, International Paper S.A., em plantios de eucalipto pertencentes a Chamflora, a qual é responsável pelo setor florestal da International Paper.

Os ensaios foram efetuados em diferentes áreas, designadas pela Chamflora de “Hortos”, a constar:

- Ensaio de consumo de calda: Horto São Marcelo, localizado no município de Mogi Guaçu/SP sob as coordenadas geográficas: latitude 22° 22' 41” e longitude 46° 58' 53”, o talhão usado para ensaio nesse horto recebe a nomenclatura 10E.

- Ensaio de operacionalidade estrutural: Horto Paineiras, localizado no município de Mogi Guaçu/SP sob as coordenadas geográficas: latitude 22° 27' 41" e longitude 46° 52' 46", o talhão usado para ensaio nesse horto recebe a nomenclatura de 66U.
- Ensaio de controle de plantas daninhas: Horto Areia Branca, localizado no município de Casa Branca/SP sob as coordenadas geográficas: latitude 21° 51' 16" e longitude 47° 03' e 16", o talhão usado para ensaio nesse horto recebe a nomenclatura de 12.

#### 5.1.1.2.1 Características das áreas dos ensaios de campo

As áreas onde os ensaios de campo foram realizados constam de plantios de eucalipto, espaçados em 3 metros entre as linhas de plantio e 2,75 metros entre as plantas em cada linha de plantio (Figura 7).



Figura 7. Área de plantio de eucalipto onde o ensaio de consumo de calda foi conduzido, Horto São Marcelo, Mogi Guaçu/ SP.

As espécies utilizadas nos plantios são provenientes de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e são identificados como clones H15 e H18.

Os plantios foram efetuados em abril, julho e dezembro de 2004, nos hortos, Paineiras, São Marcelo e Areia Branca, respectivamente.

O sistema de manejo do solo usado nas áreas dos experimentos é o cultivo mínimo, o qual em função dos restos culturais remanescentes da colheita florestal, torna a superfície do solo extremamente irregular (Figura 8).



Figura 8. Exemplo de área de plantio de eucalipto conduzida sob sistema de cultivo mínimo.

### **5.1.2 Equipamentos e demais materiais**

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram os seguintes:

- Trator John Deere modelo 6405;
- Pulverizador desenvolvido;
- Pulverizador convencional com barra compacta protegida (cedido pela Chamflora);
- Sistema de sensores ópticos “WeedSeeker®”;
- Sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens (cedido pela Jacto);
- Simulador de pulverização automatizado pertencente ao NUPAM;
- Demais materiais de consumo para o desenvolvimento dos protótipos como: mangueiras, braçadeiras e estruturas metálicas;
- Materiais para aferição do ensaio de consumo de calda e controle de plantas daninhas: copos calibradores, provetas, cronômetros, EPIs;
- Herbicida glyphosate.

## **5.2 Métodos**

### **5.2.1 Desenvolvimento estrutural do pulverizador**

O pulverizador desenvolvido neste trabalho foi fundamentado no conceito (protótipo) desenvolvido por Nery (2003) que possibilita a aplicação de dose variada de herbicida por meio de duas barras pulverizadoras.

Para a construção de um pulverizador de utilização em escala comercial nas aplicações de herbicidas em áreas de florestas plantadas foram efetuadas modificações no protótipo em questão.

A Figura 9 apresenta uma visão geral da estrutura do protótipo desenvolvido por Nery (2003). O equipamento possuía uma proteção ao redor das barras pulverizadoras e na parte superior às mesmas para evitar o contato do herbicida com a cultura.



Figura 9. Protótipo desenvolvido por Nery (2003).

A Figura 10 apresenta o sistema de barras que possibilita aplicação de dose variada e fixa de herbicida.

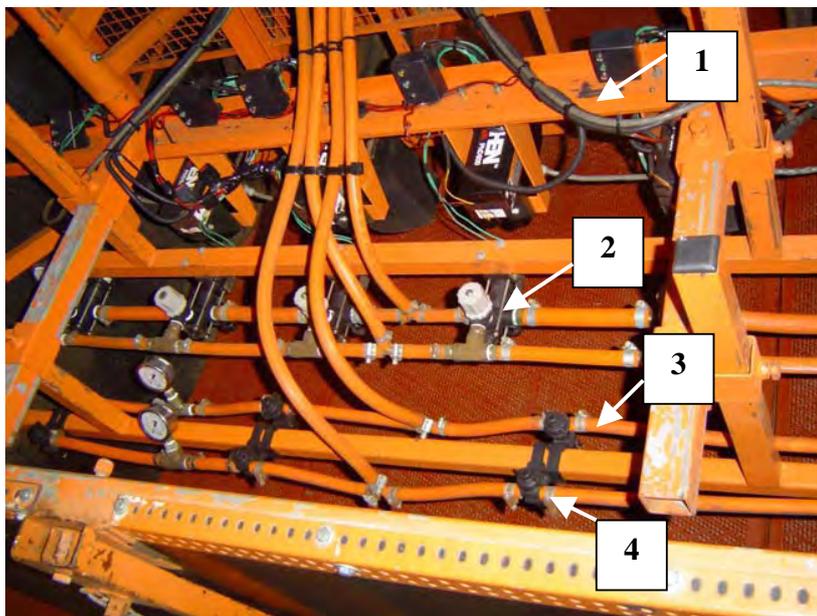


Figura 10. 1- Estrutura fixadora dos sensores ópticos; 2- barra munida de válvulas solenóides e bicos que efetuam aplicações independentes, quando da detecção de planta na entrelinha, na barra que está calibrada para pulverizar 60% da dose do herbicida; 3 e 4 usadas juntas e sem o funcionamento da barra munida de sensor óptico são responsáveis pela aplicação em tempo integral sem fracionamento de dose; 4- responsável pela aplicação de 40% da dose em tempo integral quando pulverizando junto com a barra munida de sensor óptico, responsável pela aplicação de 60% da dose do herbicida.

As modificações feitas no protótipo tiveram como prioridade a proteção das estruturas componentes do pulverizador, uma vez que o sistema de manejo do solo, em função do material remanescente da colheita composto por tocos, galhos, e serapilheira, caracteriza condições de risco de dano estrutural ao mesmo.

Portanto, o desenvolvimento do pulverizador constou das seguintes modificações feitas no protótipo:

- 1) Retirada de uma das barras que efetua aplicação sem auxílio de sensores ópticos (número 3 da Figura 10).

Considerando-se que o pulverizador desenvolvido tem por objetivo sua utilização somente para efetuar aplicações com fracionamento de dose, a permanência de somente uma barra responsável pela aplicação de dose fixa é suficiente.

2) Diminuição do tamanho das barras de 2,00 para 1,80 m.

Essa modificação foi efetuada para permitir o deslocamento do conjunto trator-pulverizador em entrelinhas de espaçamentos iguais ou menores a 2,00 m, largura utilizada geralmente em testes clonais, pomares de semente e algumas vezes decorrentes de erros durante o plantio.

3) Adaptação de proteção metálica ao redor, na parte inferior e superior às barras, responsável por vedar a entrada de resíduos florestais (Figuras 11 e 12)

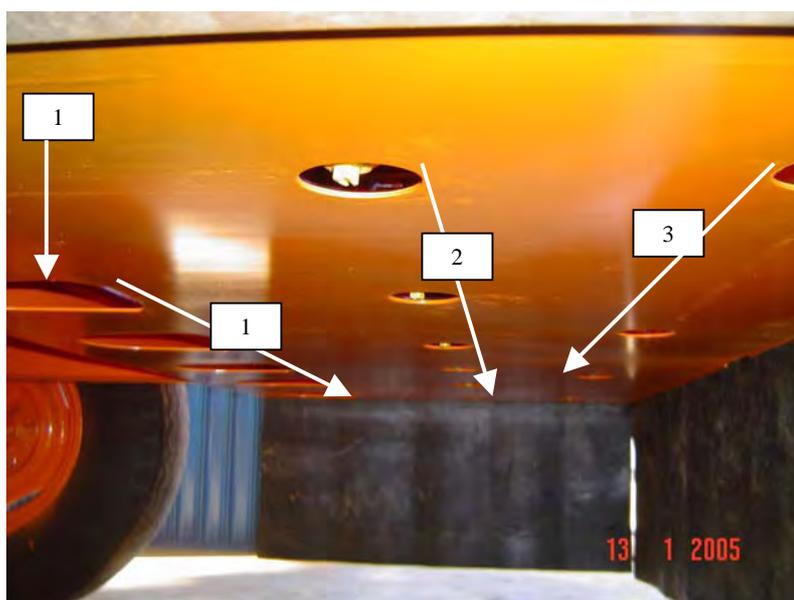


Figura 11. 1- Aberturas através das quais os sensores detectam as plantas daninhas; 2 – Aberturas através das quais os bicos munidos de sensores ópticos pulverizam, independentemente, as plantas daninhas sob fracionamento de dose; 3 - Aberturas através das quais barra com 4 bicos pulveriza as plantas daninhas sob dose fixa.

4) Adaptação da proteção de borracha responsável por evitar que o herbicida atinja a cultura (Figura 12).



Figura 12. 1- Proteção metálica ao redor, na parte inferior e superior às barras de pulverização; 2 - Proteção de borracha.

A Figura 13 mostra o sistema das barras que compõem o pulverizador já modificado composto por duas barras munidas de 4 e 6 bicos espaçados em 45 cm e 30 cm, respectivamente, sendo que esta última possui o sistema de sensor óptico WeedSeeker®.

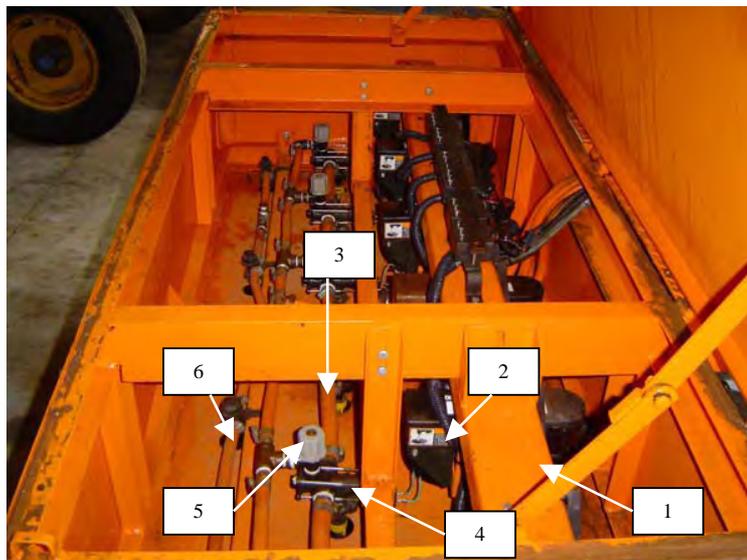


Figura 13. 1- Estrutura fixadora dos sensores ópticos; 2 – Sensor; 3 – Barra munida de válvulas solenóides e 6 bicos, responsáveis pela aplicação de dose variada; 4 – Válvula solenóide; 5 – Registro individual para cada bico da barra munida de sensores ; 6 - Barra responsável pela aplicação de dose fixa.

As Figuras 14 e 15 apresentam os sensores utilizados.

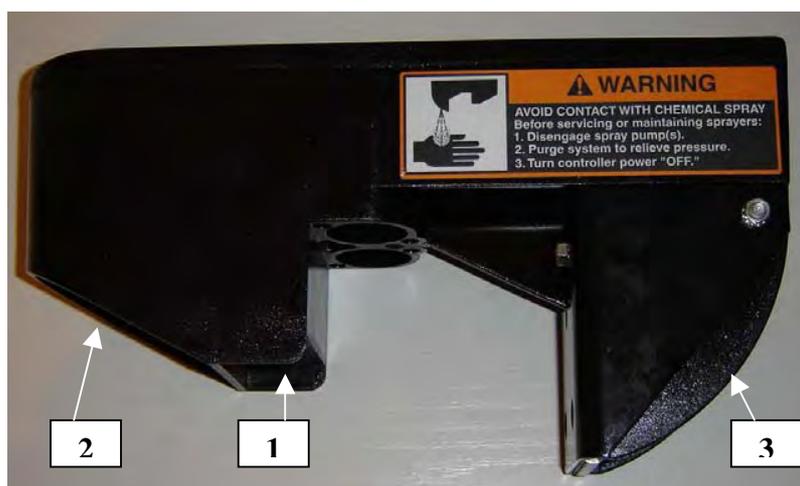


Figura 14. Visão geral do sensor WeedSeeker®: 1 – Compartimento de emissão de luz; 2 – Compartimento de detecção de luz refletida pela planta; 3 – Compartimento de fixação do sensor ao pulverizador.



Figura 15. Visão da parte inferior do sensor óptico. 1 – Fonte de emissão de luz; 2 – Detector de luz refletida pela planta.

#### 5.2.1.1 Herbicida

Para o controle de plantas daninhas, bem como o de rebrota, em área florestal é utilizado o herbicida glyphosate recomendado para aplicação em pós-emergência das plantas na dose de  $1440 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ . De acordo com os procedimentos da empresa, a dose do herbicida adotada varia em função do nível de infestação. Nos experimentos que avaliaram o controle de plantas daninhas, as doses de glyphosate utilizadas foram  $1440$  e  $1800 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ , sendo esta última usada em áreas com maior nível de infestação.

#### 5.2.2 Ensaios

Em relação ao pulverizador desenvolvido, os ensaios realizados foram: (i) ensaio de consumo de calda; (ii) ensaio de controle de plantas daninhas a partir de diferentes fracionamentos da dose do herbicida glyphosate; (iii) ensaios de avaliação de funcionalidade estrutural, onde foram avaliados: danos estruturais e modificações, controle de plantas daninhas, dados de desempenho operacional e custos operacionais referentes à pulverização.

Em relação ao uso do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens, o ensaio efetuado avaliou sua eficácia na detecção de plantas daninhas e a possibilidade de sua adaptação em um pulverizador também destinado à aplicação de herbicidas em florestas plantadas de eucalipto.

#### **5.2.2.1 Ensaio de consumo de calda**

O ensaio de consumo de calda foi realizado para se obter dados de economia de calda proporcionados pelo pulverizador desenvolvido em comparação ao pulverizador convencional utilizado pela empresa.

As aplicações de dose variada efetuadas pelo pulverizador desenvolvido seguiram os seguintes fracionamentos:

- 60% e 40% da dose do produto, aplicados pela barra munida de sensor óptico e pela barra sem sensor, respectivamente.
- 70% e 30% da dose do produto, aplicados pela barra munida de sensor óptico e pela barra sem sensor, respectivamente.
- 100% da dose do herbicida aplicada pela barra munida de sensores ópticos.

Tais percentuais de volume de calda foram definidos em função das vazões proporcionadas por diferentes tipos de pontas, as quais foram adotadas para se obter o valor de consumo de calda recomendado para o controle de plantas daninhas em áreas de plantios de eucalipto, ou seja, através de cálculos baseados no número de pontas compreendido por cada barra do pulverizador desenvolvido e pressão adotada para as duas barras, escolheram-se os fracionamentos de dose.

Somente três fracionamentos foram adotados devido aos limites mínimos de vazão proporcionados pelas pontas encontradas comercialmente, dada a calibração necessária para o pulverizador.

A calda aplicada, nos dois pulverizadores, foi proveniente de um único tanque e, no pulverizador desenvolvido, os bicos da barra munida de sensores efetuam aplicações independente, de acordo com o comando de cada sensor.

As aplicações efetuadas com o pulverizador convencional da empresa caracterizam pulverizações sem variação de dose.

A Tabela 3 apresenta designações das aplicações propostas pelos pulverizadores.

Tabela 3. Designação dos tratamentos para aplicação de dose variada ou fixa propostas pelos pulverizadores.

PULVERIZADOR	APLICAÇÃO EFETUADA PELAS BARRAS DOS PULVERIZADORES		Designação dos tratamentos
	Dose variada (%) (barra com sensor)	Dose fixa em tempo integral durante a pulverização (%) (barra sem sensor)	
DESENVOLVIDO	60	40	60-40
	70	30	70-30
	100	-	100
CONVENCIONAL	Não possui barra de aplicação de dose variável	100	Convencional

As aplicações, em todos os tratamentos, foram efetuadas com água e as calibrações foram dimensionadas para aplicar o volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>, a 5 km h<sup>-1</sup> na rotação de 1700 rpm sob a marcha 3<sup>a</sup> B.

A Tabela 4 apresenta os demais dados de calibração de cada tratamento.

Após a calibração encheram-se os tanques dos pulverizadores com água até uma determinada marcação, com a finalidade de se obter exatamente a quantidade gasta na aplicação quando do reabastecimento de água.

Os pulverizadores efetuaram as aplicações em 4 parcelas de 850 m<sup>2</sup> (283m x 3 m). Para garantir a mesma condição de infestação para todos os tratamentos, as pulverizações foram feitas sempre nas mesmas parcelas. A Figura 16 mostra os pulverizadores na área experimental do ensaio.

Tabela 4. Dados de calibração dos tratamentos propostos pelos dois pulverizadores no ensaio de consumo de calda.

DADOS PARA CALIBRAÇÃO	TRATAMENTOS			
	60-40	70-30	100	Convencional
<b>QUANTIDADE E TIPO DE PONTAS</b>				
Barra com sensor	6 - XR 8001	6 - XR80015	6 -XR80015	Não possui barra de aplicação de dose variável
Barra sem sensor	4 - XR 8001	4 - XR8001	-	4 - AI 110015
<b>VAZÃO/ BICO (L min<sup>-1</sup>)</b>				
Barra com sensor	0,30	0,35	0,50	Não possui barra de aplicação de dose variável
Barra sem sensor	0,30	0,23	-	0,75
<b>PRESSÃO (bar)</b>	1,6	1,2	2,2	4,2



Figura 16. 1 – Pulverizador desenvolvido; 2 – Pulverizador convencional.

### **5.2.2.2 Ensaio de controle de plantas daninhas**

Para avaliar o controle de plantas daninhas, efetuaram-se aplicações com o pulverizador desenvolvido sob as diferentes condições de variação de dose, ou seja, 60-40, 70-30 e 100 e com o pulverizador convencional da empresa, responsável pela aplicação de dose fixa. Para os ensaios com ambos pulverizadores duas doses de glyphosate foram utilizadas: 1440 e 1800 g e.a. ha<sup>-1</sup>.

As avaliações de controle de plantas daninhas foram feitas em parcelas de 90 m<sup>2</sup> (30m x 3m) de acordo com uma escala percentual de notas de controle sugerida por EWRC (1964).

As calibrações adotadas para a realização das aplicações de herbicida nas parcelas foram as mesmas usadas no ensaio de consumo de calda.

O controle de plantas daninhas nas parcelas foi avaliado aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação de herbicida.

### **5.2.2.3 Avaliação da funcionalidade do pulverizador desenvolvido**

#### **5.2.2.3.1 Danos estruturais e modificações**

Os dados qualitativos referentes à funcionalidade a campo e resistência estrutural do pulverizador foram avaliados em função de horas de trabalho contínuo.

O equipamento trabalhou em escala operacional, ou seja, foi utilizado como os demais pulverizadores da frota da empresa em 3 turnos de trabalhos, das 8:00 às 16:00 h, das 16:00 às 0:00h e das 0:00 às 8:00h.

Para cada turno observava-se os danos causados à máquina e em função desses dados, modificações estruturais foram realizadas no pulverizador.

### **5.2.2.3.2 Controle de plantas daninhas**

Avaliou-se após as modificações realizadas no equipamento, o controle de plantas daninhas proporcionado pelo pulverizador operando sob a variação de dose de 60-40 e adotando-se 1800 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em função do alto nível de infestação da área.

### **5.2.2.3.3 Desempenho operacional**

Para avaliação do desempenho operacional foram avaliados dados que permitissem o cálculo de capacidade de campo operacional e eficiência operacional. Para tanto, medições de tempo foram registradas e calculadas de acordo com Antuniassi (2002) do seguinte modo:

- Cálculo do tempo de preparo dos pulverizadores (Tpe): Soma dos tempos de acoplamento, instalação dos comandos eletrônicos, deslocamento do conjunto trator-pulverizador do pátio para o campo, abastecimento, preparo de calda, calibração, deslocamento do conjunto trator-pulverizador do campo para o pátio, desinstalação dos comandos eletrônicos e desacoplamento.

- Cálculo do tempo gasto com interrupções (Ti): soma dos tempos de manobras e reabastecimentos.

- Cálculo do tempo produtivo (Tpr): tempo gasto exclusivamente com a pulverização.

- Cálculo do tempo máquina (TM) :

$$TM = Tpe + Ti + Tpr \quad (2)$$

em que,

TM – tempo máquina, h

Tpe – tempo de preparo dos pulverizadores, h

Ti – tempo de interrupção, h

Tpr – tempo produtivo, h

- Cálculo da Capacidade de campo efetiva (CcE):

$$CcE = \text{Área tratada} / Tpr \quad (3)$$

em que,

CcE – capacidade de campo efetiva, ha h<sup>-1</sup>

Área tratada, ha

Tpr – tempo produtivo, h

- Cálculo da Capacidade de campo operacional (CcO):

$$CcO = \text{Área tratada} / TM \quad (4)$$

em que,

CcO – capacidade de campo operacional, ha h<sup>-1</sup>

Área tratada, ha

TM – tempo máquina, h

- Cálculo da Eficiência operacional (Ef):

$$Ef = CcO / CcE \quad (5)$$

em que,

Ef – eficiência operacional, %

CcO – capacidade de campo operacional, ha h<sup>-1</sup>

CcE – capacidade de campo efetiva, ha h<sup>-1</sup>

#### 5.2.2.3.4 Custos operacionais

Para avaliação dos custos operacionais foram avaliados valores que permitiram o cálculo do custo de produção da aplicação de herbicida, proporcionado pelos pulverizadores. Para tanto, seguiu-se a metodologia sugerida por Antuniassi (2002), a qual propõe os seguintes cálculos:

- Cálculo de depreciação:

$$D = VI - VF / N \quad (6)$$

em que,

D – depreciação, \$/ h

VI - Valor inicial do equipamento, \$

VF - Valor final do equipamento, \$

N - número de horas de uso até o descarte do equipamento, h

- Cálculo de juros:

$$J = (VI + VF) i / 2n \quad (7)$$

em que,

J - juros, \$/ h

VI - Valor inicial do equipamento, \$

VF - Valor final do equipamento, \$

i - taxa de juros sobre o capital investido. Taxa anual, valor usual de 12%

n - número médio de horas de uso por ano do equipamento, h

- Cálculo de alojamento;

$$A = VI t/ n \quad (8)$$

em que,

VI - Valor inicial do equipamento, \$

t – taxa de alojamento. Custo anual, referente à estrutura de armazenamento dos equipamentos; valor usual de 0,5%

n - número médio de horas de uso por ano do equipamento, h

- Cálculo de manutenção e reparos:

$$MR = f VI/ N \quad (9)$$

em que,

MR – manutenção e reparos, \$

f – fator de custo da manutenção

VI - Valor inicial do equipamento, \$

N = número de horas de uso até o descarte do equipamento, h

#### **5.2.2.4 Avaliação do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens**

O sistema de detecção por análise de imagens era composto por uma câmera (Figura 17) e duas placas, uma de processamento de vídeo (Figura 18) e outra que caracteriza o painel de controle e proporciona a calibração do sistema (Figura 19).



Figura 17. Câmera do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagem.

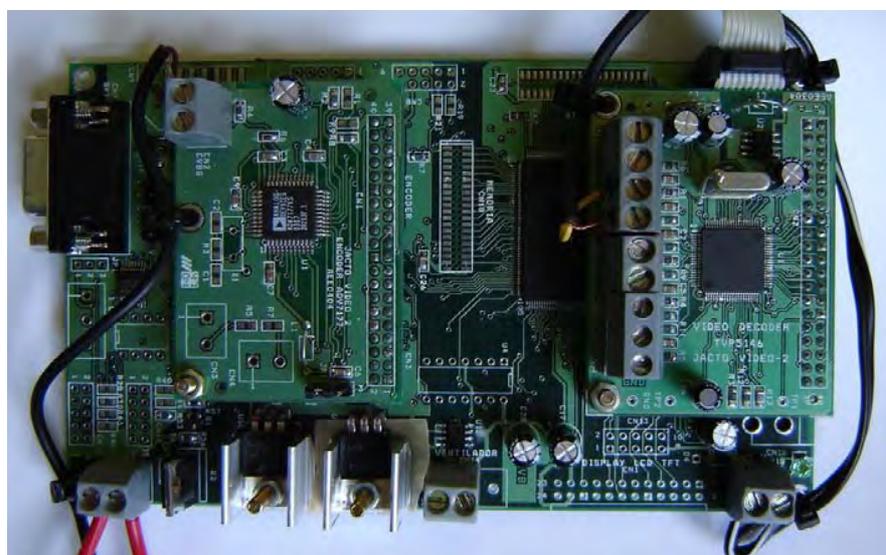


Figura 18. Placa de processamento de vídeo.



Figura 19. Placa de calibração do sistema.

A calibração desse sistema foi realizada através da visualização dos alvos (plantas daninhas) em um monitor (TV), que possibilita a seleção do espectro de cores que se deseja detectar por meio de uma palheta de cores (Figura 20). O sistema permite a calibração de 6 níveis de cores e a detecção é feita de acordo com a porcentagem de cor do espectro calibrado presente no campo de visão da câmera, que pode variar de 1 a 100%.



Figura 20: Calibração do sistema: 1 – palheta de cores; 2 – planta daninha pigmentada de preto em função da calibração do espectro de cor verde; 3 – porcentagem de detecção da cor calibrada.

O campo de visão da câmera varia de acordo com sua altura de posicionamento. Neste ensaio, a câmera foi fixada a 50 cm do alvo em um simulador de pulverização automatizado operando a  $5 \text{ km h}^{-1}$  (Figuras 21 e 22). Portanto, em função da altura adotada, obteve-se como campo de visão a área de  $638 \text{ cm}^2$ , o que corresponde às dimensões de 29 cm de largura e 22 cm de altura.

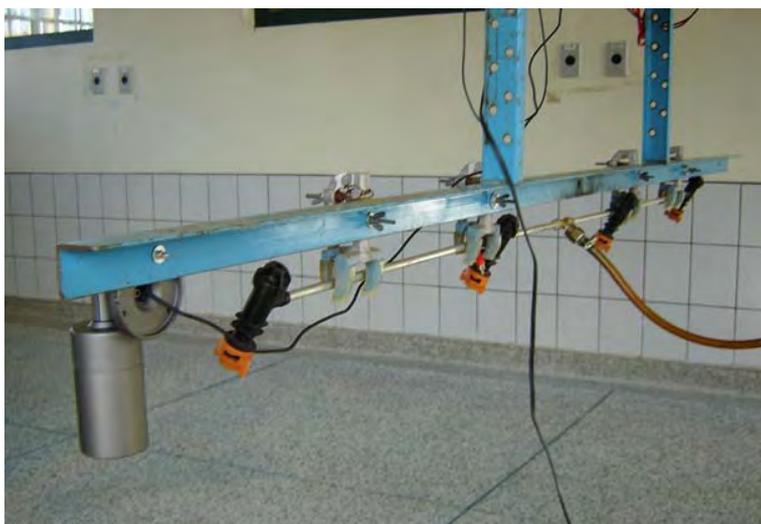


Figura 21. Câmera fixada ao simulador de pulverização.



Figura 22. Câmera sobre a superfície.

O sistema foi calibrado para detectar plantas a partir do nível mínimo de porcentagem do campo de visão, ou seja 1%, o que corresponde a plantas com área foliar de 6,38 cm<sup>2</sup>.

Para os testes de detecção de plantas, duas avaliações foram efetuadas considerando-se três superfícies diferentes. A primeira constava da detecção de plantas com diferentes áreas foliares, para tal, as espécies utilizadas foram *Commelina benghalensis* L. (trapoeraba), *Brachiaria decumbens* (braquiária) e *Eucalyptus grandis* (eucalipto); na segunda avaliou-se a influência da arquitetura das folhas das plantas na sua detecção admitindo-se a característica “folha larga” e “folha estreita” para as espécies *Commelina benghalensis* L. e *Brachiaria decumbens*, respectivamente.

As plantas foram colocadas sobre as três superfícies diferentes: solo limpo (Nitossolo), solo arenoso e palha, as quais foram alocadas em bandejas de acordo com as Figuras 23 e 24.



Figura 23. Diferentes superfícies avaliadas.



Figura 24: Exemplos das plantas daninhas testadas sobre as superfícies: 1 – trapoeraba sobre “solo arenoso”; 2 – eucalipto sobre “solo limpo”; 3 – braquiária sobre “palha”.

As plantas avaliadas tiveram suas áreas foliares medidas pelo aparelho “Automatic Área Meter – AAM 7” e foram representadas por diferentes tamanhos tomando-se como referência sua idade (Tabela 5).

Tabela 5. Área foliar das plantas daninhas em diferentes estádios de desenvolvimento.

<b>Planta</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Área Foliar (cm<sup>2</sup>)</b>
Trapoeraba 1	7	5,08
Trapoeraba 2	14	11,60
Soma de todas as plantas de trapoeraba		16,68
Braquiária 1	14	0,15
Braquiária 2	14	0,30
Braquiária 3	21	2,20
Várias braquiárias 1	14	5,43
Várias braquiárias 2	21	6,49
Soma de todas as plantas de braquiária		14,57
Eucalipto 1	4	0,37
Eucalipto 2	10	1,72
Eucalipto 3	15	6,88
Soma de todas as plantas de eucalipto		8,97

Para todos os tipos de plantas foram avaliadas além das mesmas isoladamente, a soma delas visando analisar o comportamento do sistema na detecção de mais de uma planta. Para a planta braquiária foi necessário analisar vários tamanhos e quantidades de plantas em função da sua arquitetura, a qual muitas vezes, projeta suas folhas de forma “vertical” proporcionando área pequena e insuficiente para sua detecção no campo de visão da câmera.

A análise dos dados foi feita de acordo com a porcentagem de detecção proporcionada pelas plantas individuais ou pela quantidade de plantas em diferentes superfícies, quando da passagem da câmera fixada no pulverizador automatizado sobre os alvos. A detecção foi registrada manualmente pela observação visual do acionamento de um LED ligado ao sistema, que ao detectar uma planta permanecia aceso (Figura 25).



Figura 25. LED ligado ao sistema e responsável pela indicação de detecção de planta.

### 5.2.3 Delineamento experimental

No ensaio de consumo de calda, os tratamentos testados foram 60-40, 70-30, 100 e convencional, e os resultados foram avaliados através da média dos dados por meio de 4 repetições, que proporcionaram o cálculo de economia obtida com os tratamentos propostos pelo pulverizador desenvolvido em comparação ao convencional.

No ensaio de controle de plantas daninhas os tratamentos testados foram 60-40, 70-30, 100 e convencional, utilizando-se duas doses de glyphosate: 1440 e 1800 g e.a. ha<sup>-1</sup>, e a testemunha designada “parcela sem controle”, adotando-se 4 repetições para cada tratamento. Os resultados foram avaliados de acordo com a média aritmética e intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade das notas de controle de cada tratamento.

O ensaio de controle de plantas daninhas efetuado após as modificações estruturais do pulverizador desenvolvido foi avaliado através da diferença de médias obtida pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade, adotando-se 4 repetições.

A avaliação do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagem foi feita em duas etapas usando-se, para ambas, o delineamento experimental inteiramente casualizado. A primeira etapa avaliou as 13 áreas foliares sobre 3 superfícies, e a segunda 2 arquiteturas de folha de planta (folha larga e folha estreita, trapoeraba e braquiária, respectivamente) sobre 3 superfícies. As duas avaliações foram feitas com dados obtidos por meio de 20 repetições.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Ensaio de consumo de calda

Os valores de consumo de calda proporcionado pelas variações de dose efetuadas pelo pulverizador desenvolvido em comparação ao sistema convencional são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Consumo de calda proporcionado pelos diferentes tratamentos em estudo.

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>Média de consumo</b>	<b>ECONOMIA (%)</b>
<b>60 – 40</b>	168,30	<b>20,5</b>
<b>70 – 30</b>	165,75	<b>21,7</b>
<b>100</b>	160,65	<b>24,1</b>
<b>Convencional</b>	211,65	-

Os valores de economia de volume de calda obtidos com os tratamentos que proporcionam aplicação de dose variada são menores do que a maioria apresentada em literatura, tanto quando comparados à aplicação localizada efetuada com auxílio de mapas georeferenciados, quanto a métodos que utilizaram o mesmo tipo de sensor óptico.

Baio & Balastreire (2003), obtiveram 31,6 % de economia de herbicida efetuando aplicação localizada utilizando mapas de prescrição e Olson (2004) e Hagggar et al. (1983) apresentaram valores de economia de herbicida da ordem de 53 a 71%, e 60%, respectivamente, utilizando o mesmo sensor óptico. Porém, Shearer & Jones (1991) obtiveram economia inferior aos valores encontrados nesse ensaio, ou seja 15%, com um pulverizador que detém o mesmo princípio de funcionamento do sensor adotado no pulverizador desenvolvido.

Nesse estudo, dois dos tratamentos propostos pelo pulverizador desenvolvido (60-40; 70-30) efetuaram aplicação da calda em dose fixa e tempo integral durante o processo de pulverização, fato que contribui para a aquisição de valores de economia menores do que os encontrados em literatura.

Outro fator que também influenciou os valores de economia de herbicida obtidos, foi a época em que o ensaio foi realizado, ou seja, fevereiro, mês que constitui o período de chuvas e favoreceu a ocorrência de maiores níveis de infestação, exigindo a aplicação freqüente efetuada pela barra munida de sensores quando da identificação de plantas daninhas (Figura 26).



Figura 26. Alto nível de infestação da área do ensaio de consumo de calda.

## 6.2 Ensaio de controle de plantas daninhas

Os resultados deste ensaio foram baseados nos dados de *Brachiaria decumbens* (braquiária), devido à uniformidade de infestação desta espécie na área experimental.

As Tabelas 7, 8 e 9 mostram os valores das médias aritméticas e dos intervalos de confiança (IC) ao nível de 95 % de probabilidade, relativos às avaliações do ensaio de controle de plantas daninhas, utilizando as diferentes doses de glyphosate e os diferentes tratamentos (fracionamentos de dose no pulverizador desenvolvido e aplicação convencional, efetuada com a barra compacta protegida).

Aos 7 dias após a aplicação de glyphosate, das aplicações de dose variada, o tratamento 100 D1 ( $D1 = 1440 \text{ g e.a ha}^{-1}$ ) (Figura 27) foi o único que não se igualou aos outros tratamentos. Esse resultado confirma os dados obtidos por Nery (2003) de que o sensor não reconheceu planta com área foliar menor que  $5,32 \text{ cm}^2$ , fato que contribuiu para a diminuição da eficiência de controle nesse tratamento.

Em relação aos resultados obtidos com os fracionamentos de dose 60-40 e 70-30, estes se igualaram a aplicação convencional, demonstrando que o fracionamento de dose de herbicida proposto pela aplicação de dose fixa na barra garante o controle da infestação, mesmo com a economia de produto.

Tabela 7. Valores médios e intervalos de confiança (IC = 95%) para avaliação da variação de dose nas barras dos pulverizadores em relação a diferentes doses de herbicida para controle de infestação de braquiária aos 7 dias após a aplicação de herbicida, Casa Branca, SP, 2005.

VARIACÃO DE DOSE NAS BARRAS	NOTAS DE CONTROLE (%)					
	1440 g e.a ha <sup>-1</sup>			1800 g e.a ha <sup>-1</sup>		
	Média	Intervalo de confiança		Média	Intervalo de confiança	
		máximo	mínimo		Máximo	Mínimo
<b>60 – 40</b>	39,50	56,40	22,60	55,50	63,70	47,30
<b>70 – 30</b>	55,50	69,00	42,00	65,00	76,50	53,50
<b>100</b>	39,00	45,40	32,60	58,75	74,20	43,30
<b>Convencional</b>	57,50	61,10	53,90	63,75	73,80	53,70

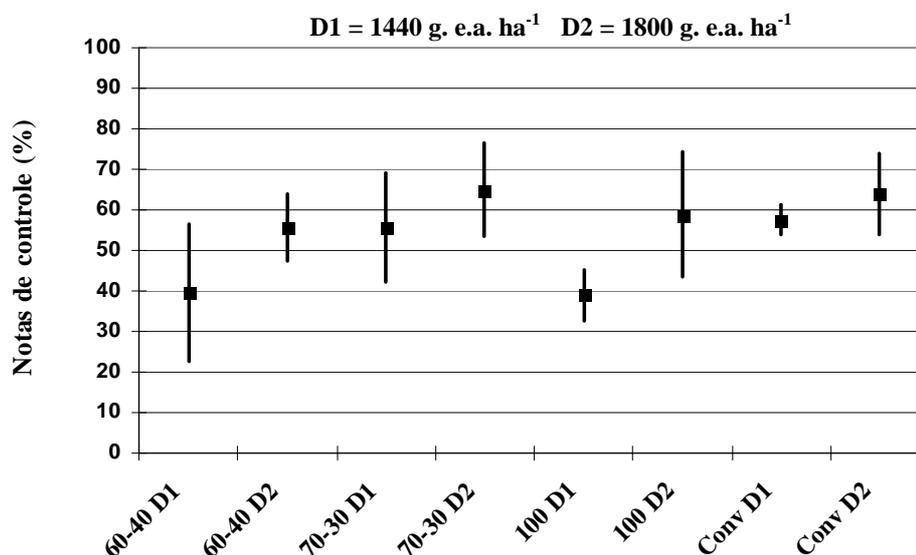


Figura 27: Valores das notas de controle de braquiária em função dos tratamentos. Os pontos representam as médias e as barras verticais mostram a variação dos valores considerando-se o IC de 95%.

Aos 14 dias após a aplicação de glyphosate os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos 70-30 D2 e Conv D2 ( $D2 = 1800 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ ) (Figura 28). Esses resultados podem ser explicados pela adoção da dose de  $1880 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ , que embora seja adotada pela empresa em situações de alta infestação, é maior do que a dose recomendada para aplicação em áreas de florestas plantadas. Os demais tratamentos não se diferenciaram nessa avaliação.

Tabela 8. Valores médios e intervalo de confiança (IC = 95%) para avaliação da variação de dose nas barras dos pulverizadores em relação a diferentes doses de herbicida para controle de infestação de braquiária aos 14 dias após a aplicação de herbicida, Casa Branca, SP, 2005.

VARIÇÃO DE DOSE NAS BARRAS	NOTAS DE CONTROLE (%)					
	1440 g e.a ha <sup>-1</sup>			1800 g e.a ha <sup>-1</sup>		
	Média	Intervalo de confiança		Média	Intervalo de confiança	
		máximo	mínimo		Máximo	Mínimo
<b>60 – 40</b>	76,50	82,90	70,60	78,25	86,60	69,90
<b>70 – 30</b>	78,25	86,60	69,90	92,00	95,20	88,80
<b>100</b>	85,25	90,60	79,90	89,25	97,10	81,40
<b>Convencional</b>	84,00	87,20	80,80	93,75	98,40	89,10

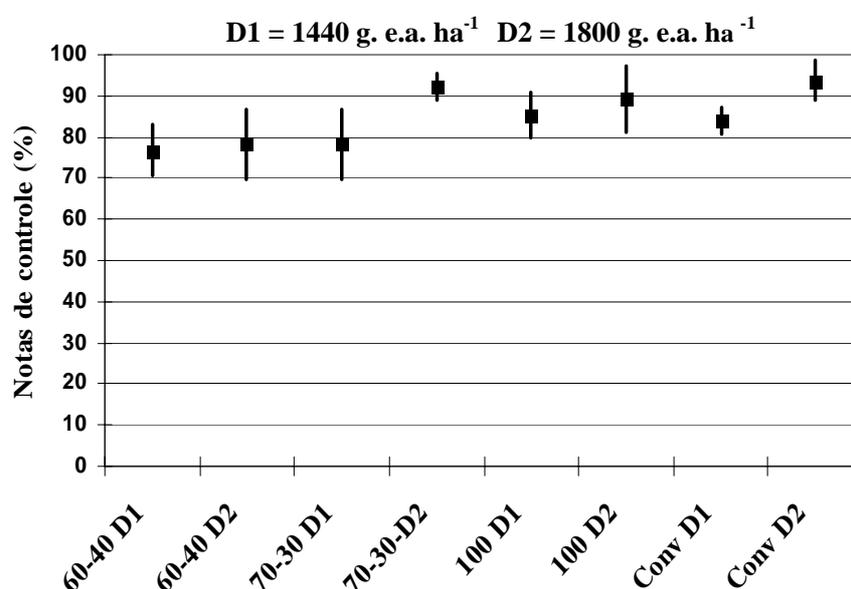


Figura 28: Valores das notas de controle de braquiária em função dos tratamentos. Os pontos representam as médias e as barras verticais mostram a variação dos valores considerando-se o IC de 95 %.

Aos 21 dias após a aplicação do herbicida verifica-se que os tratamentos não apresentaram diferença no controle de braquiária (Figura 29), constatando a eficiência da variação de dose proposta pelo pulverizador desenvolvido, dados que corroboram com os obtidos por Shearer & Jones (1991).

Porém, mesmo com a ausência de diferença no controle de braquiária ao final das avaliações, deve-se ressaltar que a adoção em larga escala da aplicação apenas com os sensores (100% da dose variável) pode não promover o mesmo resultado obtido nesse ensaio. É importante lembrar que, de acordo com Nery (2003), o Weedseeker® não detecta plantas com área foliar menor que 5,32 cm<sup>2</sup>, elevando o risco de não identificação de plantas pequenas, o que pode em tese acelerar a reinfestação da área. No caso do presente trabalho, o desempenho desse tratamento foi favorecido em função da infestação uniforme da área experimental.

Tabela 9. Valores médios e intervalo de confiança (IC = 95%) para avaliação da variação de dose nas barras dos pulverizadores em relação a diferentes doses de herbicida para controle de infestação de braquiária aos 21 dias após a aplicação de herbicida, Casa Branca, SP, 2005.

VARIÇÃO DE DOSE NAS BARRAS	NOTAS DE CONTROLE (%)					
	1440 g e.a ha <sup>-1</sup>			1800 g e.a ha <sup>-1</sup>		
	Média	Intervalo de confiança		Média	Intervalo de confiança	
	Máximo	mínimo		Máximo	Mínimo	
<b>60 – 40</b>	91,50	97,60	85,40	95,00	99,00	91,00
<b>70 – 30</b>	84,00	93,70	74,30	97,50	102,40	92,60
<b>100</b>	94,50	99,90	89,10	93,00	97,00	89,00
<b>Convencional</b>	92,25	94,30	90,20	97,50	99,50	95,50

Em relação às doses do herbicida usadas, os dados mostram melhores resultados para os tratamentos que adotaram a dose de 1800 g e.a. ha<sup>-1</sup>.

Porém, o uso de 1440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate apresentou controle eficiente de braquiária, confirmando os dados obtidos por Toledo et al. (1996).

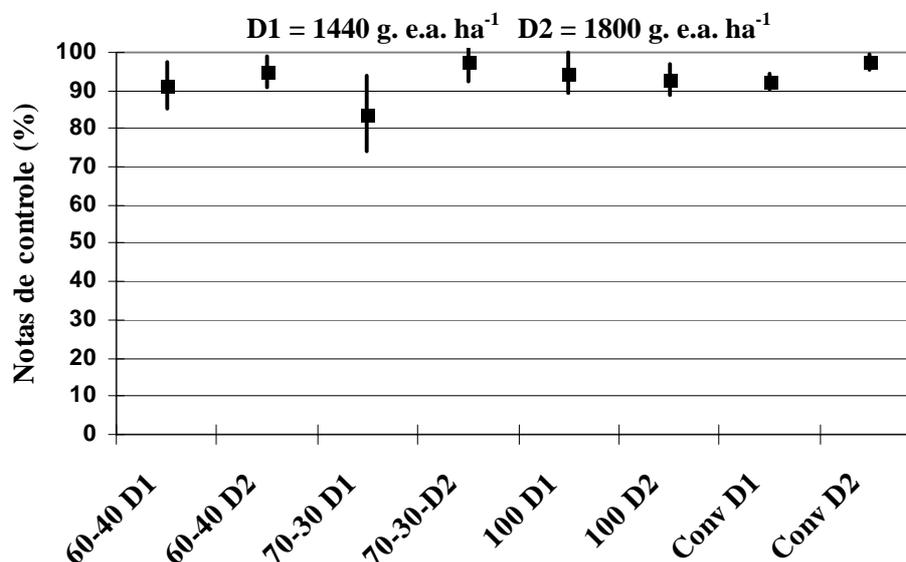


Figura 29: Valores das notas de controle de braquiária em função dos tratamentos. Os pontos representam as médias e as barras verticais mostram a variação dos valores considerando-se o IC de 95 %.

### 6.3 Ensaio de funcionalidade do pulverizador desenvolvido

#### 6.3.1 Danos estruturais e modificações

Os dados de avaliação de funcionalidade do pulverizador desenvolvido iniciaram-se durante a pulverização efetuada no turno compreendido no horário das 16:00 às 0:00 h.

Ao final do turno de trabalho alguns danos causados à estrutura do pulverizador permitiram avaliar e redimensionar as modificações necessárias para que o mesmo pudesse obter o desempenho necessário em condições de áreas de plantios florestais conduzidos sob cultivo mínimo.

Os danos identificados foram: a quebra de um sensor (rachadura), a desconexão de alguns fios responsáveis pelo envio de sinal elétrico às válvulas solenóides e perfuração na “borracha protetora” responsável por evitar que a deriva do herbicida atinja a cultura.

A quebra de um sensor ocorreu em função dos impactos provocados pelo deslocamento do conjunto trator-pulverizador em meio aos resíduos florestais, aliados à baixa resistência mecânica do polipropileno, material responsável por grande parte da composição estrutural do sensor (Figura 30). No local de fixação dos sensores, estes são revestidos por uma placa de metal que proporciona maior estabilidade e segurança dos mesmos quando presos à barra. As Figuras 31 e 32 mostram os orifícios que permitem a fixação dos sensores no pulverizador desenvolvido e a Figura 33 mostra a fratura do sensor exatamente na junção polipropileno-metal, ou seja, no local de sua fixação, quando do deslocamento do pulverizador.



Figura 30. Composição estrutural do sensor: 1 - local que permite a fixação do sensor, revestido por metal.



Figura 31. Orifícios que permitem a fixação do sensor.

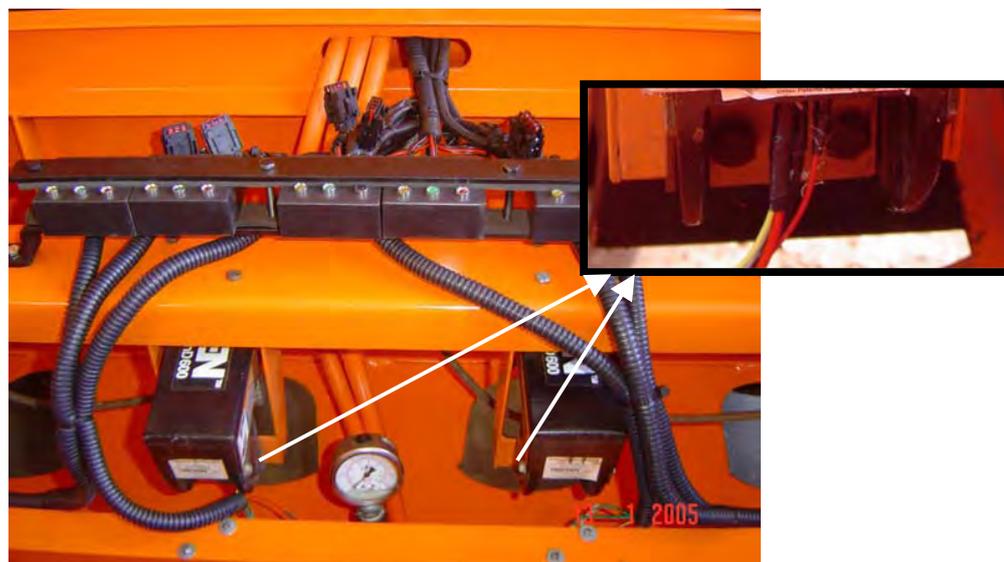


Figura 32. Sensor fixado à barra.



Figura 33. Quebra do sensor em função dos impactos decorrentes do deslocamento do conjunto trator-pulverizador.

Um fator que contribuiu para a quebra do sensor foi o peso do cone de proteção responsável por evitar o acúmulo de poeira na lente do sensor (Figura 34). Este cone não faz parte do projeto original do Weedseeker®, tendo sido desenvolvido pela Jacto para evitar os problemas decorrentes da poeira.

Para sanar esse problema de quebra do sensor, adaptou-se mais um ponto de fixação, responsável por dividir o peso e a sustentação dos mesmos. Com o auxílio de duas hastes de metal soldadas à barra de sustentação dos sensores, obteve-se, para cada sensor, mais um ponto de fixação (Figura 34).

Outro problema observado foi a desconexão dos fios responsáveis pelo envio de sinais elétricos às válvulas solenóides (Figura 35). Para evitar que tal fato acontecesse frequentemente, os fios foram soldados em suas respectivas conexões e selados com silicone quente.

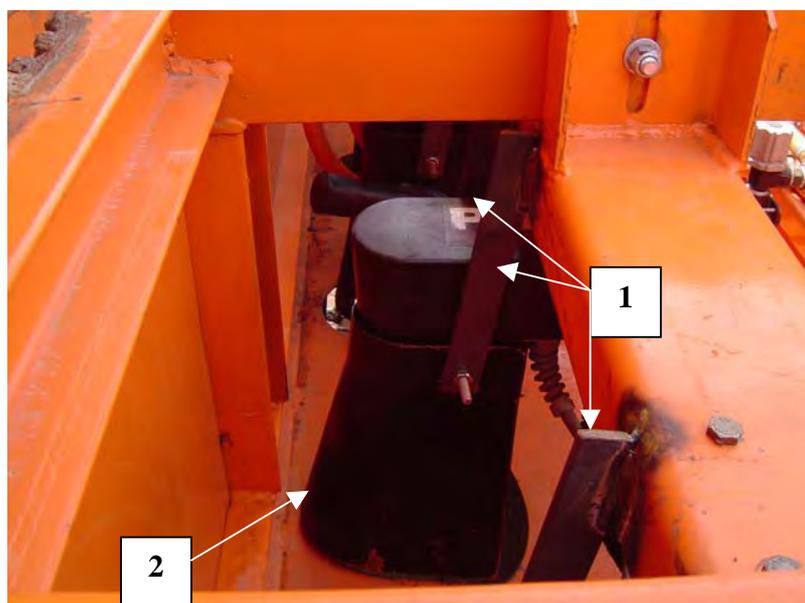


Figura 34. 1 - Hastas fixadoras dos sensores soldadas à barra. 2 – Cone de proteção das lentes do sensor.



Figura 35. Desconexão dos fios responsáveis por enviar sinais elétricos às válvulas solenóides.

Rasgos na borracha protetora causados por resíduos culturais foram frequentemente observados (Figura 36). Portanto, para evitar tal acontecimento, adotou-se a mesma metodologia usada pela empresa em relação aos pulverizadores de barra compacta protegida, ou seja, fragmentou-se a proteção de borracha a fim de proporcionar o levantamento de secções independentes quando do atrito com os resíduos da cultura.



Figura 36. Rasgos na borracha protetora.

Além de danos à proteção de borracha, possíveis prejuízos também poderiam ser causados aos componentes do pulverizador desenvolvido, principalmente ao sistema sensor e bicos, em função da entrada de resíduos da cultura através dos orifícios que permitem a identificação de plantas daninhas e aplicação da calda de herbicida. Logo, para evitar tal acontecimento, um anteparo foi soldado na posição diagonal à parte de trás da caixa metálica protetora (Figuras 37).



Figura 37. Anteparo soldado na posição diagonal à parte de trás da caixa metálica protetora.

### 6.3.2 Controle de plantas daninhas após as modificações estruturais

Devido à uniformidade da infestação na área experimental por *Brachiaria decumbens* (braquiária) e *Panicum maximum* (colonião), os resultados apresentados nesse ensaio referem-se aos dados de controle dessas espécies daninhas.

A Tabela 10 mostra os dados de análise de variância em cada avaliação de controle de capim colonião e braquiária.

O controle de plantas daninhas obtido após as modificações estruturais no pulverizador desenvolvido, operando sob fracionamento 60-40 e adotando-se a dose 1800 g e.a ha<sup>-1</sup>, pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 10. Quadro de resumo de análise de variância dos dados de controle de infestação de braquiária e colonião obtidos aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação de herbicida, Mogi Guaçu/ SP, março de 2005.

AVALIAÇÕES	7 DAA				14 DAA				21 DAA			
	Colonião		Braquiária		Colonião		Braquiária		Colonião		Braquiária	
PULVERIZADORES	F	Pr>F	F	Pr>F	F	Pr>F	F	Pr>F	F	Pr>F	F	Pr>F
	0,526	0,508	0,65	0,479	0,09	0,771	0,65	0,462	1,23	0,328	0,16	0,707
CV (%)	20,45		13,38		15,21		5,51		8,42		5,04	

A Tabela 11 mostra as notas de controle da infestação da área nas três avaliações. Nota-se que não houve diferença entre os controles de infestação proporcionados pelos dois pulverizadores. Este fato comprova que as modificações efetuadas no pulverizador desenvolvido foram eficientes em sua funcionalidade, permitindo que este seja utilizado em escala operacional junto aos demais pulverizadores da frota da empresa. Confirma, ainda, as considerações de Nery (2003) a respeito da necessidade de estruturas de proteção aos sensores, válvulas, barras e bicos de pulverização quando da aplicação em áreas de plantios de eucalipto conduzidas sob cultivo mínimo.

Tabela 11. Desdobramento das médias de nota de controle de braquiária e colônio obtidas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação de herbicida; Mogi Guaçu / SP, março de 2005.

PULVERIZADOR	NOTAS DE CONTROLE (%)					
	7 DAA		14 DAA		21 DAA	
	Colônio	Braquiária	Colônio	Braquiária	Colônio	Braquiária
<b>Desenvolvido</b>	67,00 a	76,25 a	85,80 a	90,60 a	88,40 a	92,60 a
<b>Convencional</b>	61,00 a	82,00 a	88,40 a	93,20 a	93,80 a	93,80 a

As médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas “notas de controle” não diferem entre si pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.

### 6.3.3 Ensaios de desempenho operacional

A Tabela 12 apresenta dados referentes ao cálculo de capacidade de campo operacional e eficiência operacional propostos pelos dois pulverizadores. Para efeito comparativo, adotou-se como referência uma área de 100 ha, a fim de se obter dados adequados dos tempos operacionais (tempo de preparo, interrupções e tempo produtivo), necessários para os cálculos em questão.

Tabela 12. Rendimento proporcionado pelo pulverizador desenvolvido e convencional em área tratada de 100 ha.

<b>Atividades para cálculo de tempo de preparo (Tpe) do pulverizador</b>		
<b>ATIVIDADES</b>	<b>TEMPO GASTO NAS ATIVIDADES (h)</b>	
	<b>PULVERIZADOR</b>	
	<b>Desenvolvido</b>	<b>Convencional</b>
Acoplamento	0,30	0,21
Instalação dos comandos eletrônicos	0,20	-
Deslocamento pátio – campo	0,11	0,11
Abastecimento	0,08	0,08
Preparo de calda	0,07	0,07
Calibração	0,16	0,17
Deslocamento campo – pátio	0,11	0,11
Desinstalação dos comandos eletrônicos	0,06	-
Desacoplamento	0,18	0,11
<b>TOTAL</b>	<b>1,27</b>	<b>0,86</b>
<b>Atividades para cálculo de tempo de interrupção (Ti) do pulverizador</b>		
Manobras (334)	1,47	1,47
Reabastecimentos	4,21	5,13
<b>TOTAL</b>	<b>5,68</b>	<b>6,61</b>
<b>Tempo de produção (h)</b>	<b>66,60</b>	<b>66,60</b>
<b>Tempo máquina (h)</b>	<b>73,75</b>	<b>74,68</b>
<b>Capacidade de Campo Efetiva (ha/h)</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>
<b>Capacidade de Campo Operacional (ha/h)</b>	<b>1,36</b>	<b>1,34</b>
<b>EFICIÊNCIA OPERACIONAL (%):</b>	<b>90,31</b>	<b>89,19</b>

Pela Tabela 12, observa-se que o pulverizador desenvolvido dispõe de alguns tempos operacionais que o pulverizador convencional não possui, como a instalação e retirada dos comandos eletrônicos responsáveis pela aplicação de dose variada de herbicida. Além desses, verifica-se também, que os tempos operacionais de acoplamento e desacoplamento são maiores para o pulverizador desenvolvido.

Em contrapartida, na comparação do consumo de calda proporcionado pelos dois pulverizadores, como já citado no item 6.1, economias de calda da ordem de 20,5 a 24,1% obtidas utilizando-se o fracionamento de dose, retardam a necessidade de reabastecimento. Isto diminui o número de paradas em relação ao pulverizador convencional, fato que contribui para a obtenção de capacidades operacionais similares entre os pulverizadores no tratamento de áreas acima de 100 ha.

#### **6.3.4 Custos operacionais**

A Tabela 13 apresenta as variáveis necessárias para o cálculo de custo de produção da aplicação de herbicida proporcionada pelos dois pulverizadores. Observa-se que os valores iniciais dos pulverizadores apresentam uma diferença de R\$ 22.500,00, devido ao custo adicional do conjunto eletrônico do Weedseeker® presente no pulverizador desenvolvido.

Os valores de vida útil e vida útil anual foram dimensionados tomando-se como referência os dados cedidos pela empresa de que o pulverizador convencional faz, em média, aplicações em 8 meses do ano, dos quais trabalha-se com o equipamento, em cada mês, durante 10 dias, tendo-se como tempo produtivo 15 horas por dia.

Os dados apresentados na Tabela 14 mostram os valores de custo de produção dos dois pulverizadores, calculados para o tratamento de áreas de tamanhos crescentes, visto que existem modificações na capacidade operacional quando do aumento da área. Nota-se, inicialmente, que os valores de custo de produção de uso do pulverizador desenvolvido são maiores, em função do custo inicial maior pela presença dos sistemas eletrônicos. Porém, a economia de herbicida proporcionada por este pulverizador (média de 22,1%) diminui os valores gastos com herbicida, o que resulta em menores custos totais do controle de plantas daninhas, comparativamente ao pulverizador convencional, na medida em que a área tratada aumenta.

Tabela 13. Valores referentes às variáveis necessárias para o cálculo de custo de produção dos pulverizadores.

VARIÁVEIS	PULVERIZADORES	
	Desenvolvido	Convencional
Valor inicial (R\$)	32.500,00* <sup>1</sup>	10.000,00
Valor final (R\$)	3.250,00	1.000,00
Depreciação (R\$/h)	5,85	1,80
Juros (R\$/h)	2,15	0,66
Alojamento (R\$/h)	0,16	0,05
Manutenção e reparos (R\$/h)	2,60	0,80
Vida útil (h)	5000	5000
Vida útil anual (h)	1000	1000
Valor unitário do herbicida glyphosate (720g/ kg) <sup>*2</sup> (R\$)		15,00

\*<sup>1</sup> Valor calculado de acordo com a cotação do dólar comercial do dia 10 de junho de 2005: R\$ 2,50.

\*<sup>2</sup> Formulação expressa em equivalente ácido da marca do herbicida utilizado.

Tabela 14. Dados de capacidade e eficiência operacional, custo de produção de uso do pulverizador e custo de produção da aplicação de herbicida calculado para áreas de diferentes tamanhos.

ÁREA	PULVERIZADORES							
	PULVERIZADOR DESENVOLVIDO				PULVERIZADOR CONVENCIONAL			
	CcO	ET	Custo de Produção de uso do pulverizador	Custo da aplicação de herbicida	CcO	ET	Custo de Produção de uso do pulverizador	Custo da aplicação de herbicida
(ha)	(ha/h)	(%)	(R\$/ha)	(R\$/ha)	(ha/h)	(%)	(R\$/ha)	(R\$/ha)
<b>100</b>	1,3560	90,31	7,94	54,68	1,3391	89,19	2,47	62,47
<b>1000</b>	1,3928	92,76	7,73	54,47	1,3750	91,58	2,41	62,41
<b>2000</b>	1,3986	93,15	7,70	54,44	1,3807	91,95	2,40	62,40
<b>3000</b>	1,4002	93,25	7,69	54,43	1,3822	92,05	2,40	62,40
<b>4000</b>	1,4025	93,41	7,68	54,42	1,3845	92,21	2,39	62,39
<b>5000</b>	1,4033	93,46	7,67	54,41	1,3852	92,26	2,39	62,39

A Tabela 15 apresenta os dados de custo do controle de plantas daninhas calculado para áreas crescentes, bem como a diferença entre os custos de produção total destas áreas para os dois pulverizadores.

Em função desses dados, calculou-se também o retorno econômico (saldo) obtido pela subtração da diferença de custo dos sistemas (R\$22.500,00) pelo valor economizado em função do uso da aplicação em doses variáveis. Através desse cálculo, definiu-se o tamanho de área a partir do qual se obtém lucro com o uso do pulverizador desenvolvido. Neste caso, observa-se que, para áreas superiores a 3000 ha pulverizados, ocorre vantagem no uso da tecnologia, considerando-se os custos atuais.

Tabela 15. Retorno econômico (saldo) obtido pela subtração da diferença de custo de aquisição dos pulverizadores (R\$22.500,00) pelo valor economizado em função do uso da aplicação em doses variáveis

ÁREA (ha)	Custo total da aplicação de herbicida para cada pulverizador		Diferença entre os custos totais (economia) (R\$)	Saldo (R\$)
	Desenvolvido (R\$)	Convencional (R\$)		
<b>100</b>	5.468	6.247	779	<b>-21.721</b>
<b>1000</b>	54.470	62.410	7.940	<b>-14.560</b>
<b>2000</b>	108.880	12.4800	15.920	<b>- 6.580</b>
<b>3000</b>	163.290	187.200	23.910	<b>1.410</b>
<b>4000</b>	217.680	249.560	31.880	<b>9.380</b>
<b>5000</b>	272.050	311.950	39.900	<b>17.400</b>

#### 6.4 Ensaios de avaliação do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens

A Tabela 16 mostra os dados da análise de variância obtidos na primeira etapa do ensaio do sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagem, onde se avaliou o comportamento do sensor na detecção de 13 grupos de plantas com áreas foliares diferentes em relação às 3 superfícies testadas. Nota-se que houve interação significativa entre as variáveis analisadas de acordo com o teste F.

Tabela 16. Resumo da análise de variância para detecção de plantas de diferentes áreas foliares em relação a diferentes superfícies.

VARIÁVEIS	F	PR > F
<b>Planta</b>	203,095	0,0000
<b>Superfícies</b>	84,666	0,0000
<b>Planta x superfície</b>	17,141	0,0000
<b>CV (%)</b>	20,91	

Pr>F = probabilidade de significância no teste F.

A Tabela 17 apresenta os dados de porcentagem de detecção das plantas proporcionadas pelo sistema sobre as superfícies testadas.

Tabela 17. Desdobramento da interação entre plantas de diferentes áreas foliares e superfícies.

PLANTA/ (cm <sup>2</sup> )	SUPERFÍCIES								
	Solo Limpo			Solo Arenoso			Palha		
	(% de detecção)								
Trapoeraba 1/ (5,08)	100,0	a	A	60,0	c	B	100,0	a	A
Trapoeraba 2/ (11,60)	100,0	a	A	100,0	a	A	100,0	a	A
Soma de todas as plantas de trapoeraba/ (16,68)	100,0	a	A	100,0	a	A	100,0	a	A
Braquiária 1/ (0,15)	0,0	c	A	0,0	d	A	0,0	b	A
Braquiária 2/ (0,30)	80,0	b	A	0,0	d	B	0,0	b	B
Braquiária 3/ (2,20)	100,0	a	A	80,0	b	B	100,0	a	A
Várias braquiárias 1/ (5,13)	100,0	a	A	50,0	c	B	100,0	a	A
Várias braquiárias 2/ (6,49)	100,0	a	A	100,0	a	A	100,0	a	A
Soma de todas as plantas de braquiária/ (14,57)	100,0	a	A	100,0	a	A	100,0	a	A
Eucalipto 1/ (0,37)	100,0	a	A	60,0	c	B	100,0	a	A
Eucalipto 2/ (1,72)	100,0	a	A	80,0	b	B	100,0	a	A
Eucalipto 3/ (6,88)	100,0	a	A	100,0	a	A	100,0	a	A
Soma de todas as plantas de eucalipto/ (8,97)	100,0	a	A	100,0	a	A	100,0	a	A

As médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas “superfícies” e maiúsculas nas linhas “plantas/ (cm<sup>2</sup>)” não diferem entre si pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados na Tabela 17 mostram que a superfície solo limpo obteve o melhor desempenho na detecção de plantas, não sendo identificadas apenas a planta de Braquiária 1, a qual possui o menor valor de área foliar entre as plantas testadas.

A superfície solo arenoso apresentou menores índices de detecção na maioria das plantas avaliadas. Tal fato pode ser explicado pela coloração do solo que é altamente influenciada por variações mínimas de luminosidade, o que de acordo com Chancellor & Goronea (1993) atrapalham na identificação de plantas feita por meio de imagens. Contudo, ainda nessa superfície, todas as plantas com áreas foliares maiores a  $6,38 \text{ cm}^2$ , valor que corresponde a 1% da área visualizada pela câmera e parâmetro utilizado na calibração do sistema, foram identificadas, comprovando a eficiência do sistema quando da consideração de valores de área foliar na identificação de plantas para essa superfície.

Diferente da superfície solo arenoso, a superfície solo limpo e palha, detectaram a presença de plantas com áreas foliares menores a  $6,38 \text{ cm}^2$ , sugerindo que o sistema é capaz de identificar plantas que correspondem a valores de área foliar inferiores a 1% da área de visualização da câmera. Esse fato corrobora com os adquiridos por Pérez et al. (2000) que também utilizaram o parâmetro cor na detecção de plantas daninhas em sistema de análise de imagem. Tal parâmetro demonstra eficácia na detecção de plantas em superfícies de tonalidades mais escuras que areia.

Em relação à arquitetura das plantas, ou seja, considerando-se “folha larga” e “folha estreita”, a Tabela 18, mostra que não houve interação significativa entre as variáveis arquitetura e superfície.

Embora não tenha ocorrido interação significativa entre as variáveis “arquitetura” das folhas das plantas e “superfície”, ao se analisar a projeção das plantas de braquiária e eucalipto no monitor, nota-se que em função do posicionamento diagonal ou vertical das folhas em relação à câmera, estas podem ser visualizadas de maneira não condizente à sua área foliar, fato descrito também por Franz et al. (1991).

Tabela 18. Médias de porcentual de detecção e valores de F para análise de interação entre arquitetura de plantas e superfície.

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>DETECÇÃO (%)</b>	
Folha larga x solo limpo	100,00	
Folha larga x solo arenoso	86,66	
Folha larga x palha	100,00	
Folha estreita x solo limpo	100,00	
Folha estreita x solo arenoso	76,66	
Folha estreita x palha	100,00	
<b>MÉDIAS de “Arquitetura”</b>		
Folha larga	95,55	a
Folha estreita	92,22	a
<b>MÉDIAS de “Superfície”</b>		
Solo limpo	100,00	a
Solo arenoso	81,66	B
Palha	100,00	a
<b>VALORES DE F</b>	<b>F</b>	<b>PR &gt; F</b>
Arquitetura	2,092	0,1490 ns
Superfície	284,130	0,0000
Arquitetura x superfície	2,092	0,1250 ns
<b>CV (%)</b>	<b>23,20</b>	

Pr>F = probabilidade de significância no teste F. As médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.

ns<sup>1</sup> = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Apesar do pulverizador desenvolvido ter sido validado satisfatoriamente em condições operacionais reais para a aplicação de herbicidas em áreas florestadas, alguns ajustes ainda precisarão ser feitos para tornar o sistema totalmente operacional. Será necessário o desenvolvimento de um novo sistema de fixação do cone protetor do sensor (dispositivo para evitar a poeira) pois o mesmo ainda apresenta risco de causar a fratura do sensor devido ao seu peso elevado. Por outro lado, do ponto de vista eletrônico não ocorreram falhas em nenhuma das etapas do trabalho, comprovando a robustez e adequação do sistema.

Os resultados mostraram a potencialidade da adoção do sistema em escala operacional em áreas de plantios florestais, além de comprovar a vantagem da aplicação localizada no controle das plantas daninhas, o que pode ser considerado um importante impulso para o desenvolvimento dos conceitos da silvicultura de precisão. No geral, mesmo com o alto custo do sistema eletrônico importado, foi possível amortizar o investimento dentro de uma vida útil compatível com a prática atual das empresas florestais.

O novo sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagens representou uma primeira tentativa de sucesso do avanço conceitual com nacionalização da tecnologia. Entretanto, apesar dos resultados satisfatórios quanto a acurácia de detecção e praticidade de uso, verificou-se que a adoção deste ainda não é viável em nível de campo para o segmento florestal, devido a agressividade das condições operacionais nas

áreas de plantio de eucalipto. Porém, no estágio atual de desenvolvimento da tecnologia, tal produto já poderia ser aplicado em outras culturas cujas condições operacionais sejam mais adequadas.

## 8 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos nesse trabalho, pode-se concluir que o pulverizador desenvolvido proporcionou:

- Economia de 24,1 % de herbicida;
- Mesmo controle de plantas daninhas quando comparado ao pulverizador convencional;
- Resistência estrutural adequada às condições de campo propostas pelo cultivo de eucalipto;
- Retorno econômico em relação ao pulverizador convencional a partir do tratamento de 3000 ha.

Em relação ao sistema de detecção de plantas daninhas por análise de imagem, concluiu-se que:

- O sistema detecta adequadamente plantas com área foliar a partir do nível mínimo permitido pelo sistema, apresentando desempenho compatível com o Weedseeker®;
- Foram obtidos níveis inferiores de detecção de plantas sobre solo arenoso.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI. **Estudo setorial 2003, produtos de madeira sólida**. Belo Horizonte, MG, 2003. 67p.

ADORYAN, M. L.; BENDECK, O. B.; GELMINI, G. A. Eficiência e seletividade do herbicida isoxaflutole na cultura de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23, 2004, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCPD, 2002. p. 576.

AMS. **Silvicultura, desenvolvimento social, econômico e ambiental com plantios florestais**. Belo Horizonte, MG, 2004. 30 p.

ANTUNIASSI, U. R. **Estudo de movimentos e tempos**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas/ UNESP. 2002. 8 p.

ANTUNIASSI, U. R. A. **Estudo econômico de equipamentos agrícolas**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas/ UNESP. 2002. 8 p.

BAIO, F. H. R.; BALASTREIRE, L. A. Avaliação de um sistema para aplicação localizada de defensivos baseada na variabilidade espacial das plantas daninhas. **Engenharia Agrícola**. v. 23, n. 2, p. 316-325, mai-ago, 2003.

BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R.; BALASTREIRE, L. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Engenharia Agrícola**. v. 24, n. 2, p. 355-363, mai-ago, 2004.

BILLER, R. H.; HOLLSTEIN, A.; SOMMER, C.; Precision application of herbicides by use optoelectronic sensors. In: PRECISION AGRICULTURE, 1997, V. II. Technology, IT and Management. Bios Scientific Publishers, SCI, Warnick. P.451-458. 1997.

BREMER, J. E.; GRICHAR, W. J. Sorghum Weed Control in Texas. Disponível em: <[http://www.ntechindustries.com/sorghum.termu.edu/report\\_database/files/sub73/PROFITWEEDREPO273.pdf/](http://www.ntechindustries.com/sorghum.termu.edu/report_database/files/sub73/PROFITWEEDREPO273.pdf/)> Acesso em: 10 dez. 2004.

BROWN, R. B.; STECKLER, J. P. G.; ANDERSON, G. W. Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**. V.37, p.297-302, 1994.

CAMPBELL, R., A. HOWARD, C. A. Priorities for forestry herbicide application technology research. **Canadian journal of forest research**, v.23 , p.2204-2212, 1993.

CHANCELLOR, W. J.; GORONEA, M. A. 1993. Spacial variability of nitrogen, moisture and weeds, Paper No. 93-10069 (American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA).

CHAPRON, M.; REQUENA-ESTESO, M.; BOISSARD, P.; ASSEMAT, L. A method for recognizing vegetal species from multispectral images. In: PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Sheffield. **Proceedings...** Sheffield, 1999. p.239-248.

COSTA, E. A. D.; MATALLO, M. B.; ROZANSKI, A.; MACEDO, E. C. Eficiência de isoxaflutole em solo argiloso aplicado em pré-emergência de plantas daninhas em área reflorestada com eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23, 2002, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCPD, 2002. p. 561.

COUTO, E. G.; SCARAMUZZA, J. F. Aplicação de técnicas geoestatísticas para minimizar o número de amostras usadas em agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq/ USP, 2004. 1 CD ROM.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Mineapolis, 1998. **Proceedings...** Mineapolis, Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1999. p.661-673.

ESQUERDO, J. C. D.; BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R. Desenvolvimento de um sistema computacional para aplicação localizada de defensivos agrícolas . In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba. 2002. p. 263-269.

ESQUERDO, J. C. D. M **Adaptação de um pulverizador convencional para aplicação localizada de defensivos agrícolas**. Piracicaba, 2002. p. 98. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Máquina Agrícolas).Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

EWRC (EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL). Report of the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> meetings of EWRC. Comitee of methods in weed research. **Weed research**, v. 4, n. 88, 1964.

FLECK, N. G.; CANDEMIL, C. R. G. Interferência de plantas daninhas na cultura da soja (*Glycine max* (L) Merril). **Ciência Rural**, v. 25, n. 1, p. 27-32, 1995.

FRANZ, E.; GEBHRARDT, M. R.; UNKLESBAY, K. B. Shape identification of completely visible and partially occluded leaves for identifying plants in digital images. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**. v.34, n. 2, p.673-681-1666, 1991.

GANDOLFO, M. A. **Inspeção periódica de pulverizadores agrícolas**, 2002. 92p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

GERHARDS, R.; SÖKEFELD, M.; NABOUT, A.; THERBURG, R. D.; KÜHBAUCH, W. Online weed control using digital image analysis. In: ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ SONDERHEFT, 2002, 18, p. 421-427.

GERHARDS, R.; CHRISTENSEN, S. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in mayze, sugarbeet, winter wheat and winter barley. **Weed Research**, v.43, p. 385-392, 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000

GUYER, D. E.; MILES, G. E.; SCHREIBER, M. M.; MITCHELL, O. R.; VANDERBUILDT, V. C. Machine vision and image processing for plant identification. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**. v.29, n. 6, p.1500-1507, 1986.

HAGGAR, R. J.; STENT, C. J.; ISAAC, S. A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds, activated by spectral differences in crop/ weed canopies. **J. agric. Engng Res.** n. 28, p. 349-358. 1983.

HAIGH, B. M.; FELTON, W. Applications of reflectance measurement in agronomy research. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON PRECISION AGRICULTURE RESEARCH & APPLICATION IN AUSTRALASIA, 8, Sydney, 2004. **Proceedings...** Sydney. 2004. p. 3.

HOOPER, A. W.; HARRIES, G. O.; AMBLER, B. A photoelectric sensor for distinguish between plant material and soil. **J. agric. Engng Res.** n. 21, p. 145-155. 1976.

LOPES, J. D. S.; MANTOVANI, E. C.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M. Desenvolvimento de um programa computacional para selecionar, economicamente, um sistema de mecanização agrícola. **Revista Agropecuária Brasileira.** v. 30, n. 4, p.537-42. 1995

MACHADO NETO, J. G. Segurança nas atividades de aplicação de herbicidas em florestas de eucalipto e descarte de embalagens de agrotóxicos vazias. In: NETO, J. G. M. **Segurança no trabalho com agrotóxicos em cultura de eucalipto.** Jaboticabal: Funep, 2001. cap. 5.

MARCHI, S.R.; PITELLI, R. A.; BEZUTTE, A. J.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. Efeito de períodos de convivência e de controle de plantas daninhas na cultura de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE O CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1, 1995, Curitiba. **Anais...**Curitiba: CNPFloresta/ IPEF/ UNESP/ SIF/ FUPEF,1995. p. 122 - 133.

MATUO, T. Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. In: MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas.** Jaboticabal: Funep, 1990. cap. 5.

MAYER, G. E.; MEHTA, T.; KOCHER, M. T.; MORTENSEN, D. A.; SAMAL, A. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. **Transactions of American Society Agricultural Engineers.** v.41, n. 4, p.1189-1197, 1998.

MERCANTE, E.; GABRIEL, A.; SOUZA FILHO, E. G.; OPAZO, M. A. U.; WRONSKI, F.; ANTES, C.A.; SORDI, C.; MAGGI, M. F.; JOHANN, L. A. Software para seleção e estimativa de custo operacional de máquinas e implementos agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Cascavel: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD ROM.

MIALHE, L. G. Manual de mecanização agrícola. In: MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. cap. 10.

MACHADO NETO, J. G. Segurança nas atividades de aplicação de herbicidas em florestas de eucalipto e descarte de embalagens de agrotóxicos vazias. In: NETO, J. G. M. **Segurança no trabalho com agrotóxicos em cultura de eucalipto**. Jaboticabal: Funep, 2001. cap. 5.

NERY, M. S. **Desenvolvimento de sistema para aplicação de herbicidas em doses variáveis com sensor óptico para detecção das plantas daninhas**, 2003. 102p. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade estadual Paulista.

NING, W.; NAIQIAN, Z.; DOWELL, F. E.; YURUI, S.; PETERSON, D. E. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1999, Beijing. **Proceedings...** Beijing, 1999. p. 136-142.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto – princípios de aplicações**. 2. São José dos Campos: Edgard Blücher Ltda.. 1992.

OLSON, J. Seeing weeds. Disponível em: <http://www.farministrynews.com/mag/farming-seeing-weeds>. Acesso em: 02 dez 2004.

PÉREZ, A. J.; LÓPEZ, F.; BENLLOCH, J. V., CHRISTENSEN, S. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. **Computers and electronics in agriculture**, v.25, p.197-212, 2000.

QUEIROZ, C. A. S., SALVADOR, A., FIGUEIREDO, Z. N., ANTUNIASSI, U. R. Avaliação da deposição de defensivos proporcionada por bicos de pulverização utilizados em reflorestamentos. In: REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 7, 2000, Botucatu: **Anais...** Botucatu: FEPAF,2000. p. 76.

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

QUEIROZ, C. A. S.; VELINI, E. D.; CORRÊA, T. M.; ALVES, E. Avaliação da aplicação de glyphosate em eucalipto e pinus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23, 2004, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCPD, 2002. p. 567.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Estatísticas florestais. Disponível em: <http://www.ipef.br/sbs/estatísticas>. Acesso em: 15 dez 2004.

SHEARER, S. A.; JONES, P. T. Selective applications of post-emergence herbicides using photoelectric. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**. v.34, n. 4, p.1661-1666, jul-aug, 1991.

SILVA, C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; FOLEGATTI, B. S.; STAPE, J. L.; GAVA, J. L. Infestação de plantas invasoras em povoamentos de eucalipto estabelecidos nos sistemas de cultivo mínimo e intensivo do solo. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Embrapa Florestas, 1997. v. 3. p. 234-241.

STAFFORD, J. V.; BENLLOCH, J. V. 1997. Machine –assisted detection of weeds and weed patches. In: PRECISION AGRICULTURE '97, EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, **Proceedings...**, 1997, p. 537-544.

STEWART, B. L.; TIAN, L. F.; TANG, L. Distance-based control system for machine vision-based selective spraying. **American society of agricultural engineers**, v. 45, n. 5, p. 1225-1262, 2002.

THOMPSON, J. F.; STAFFORD, J. V.; MILLER, P. H. 1990. Selective application of herbicides to UK cereal crops. ASAE paper n. 90-1629. St. Joseph, Mich.: ASAE.

TIAN, L. Sensor-based precision herbicide application system. In: ICETS, 2000. p. 159-169.

TOLEDO, K. E. B. et al. Comparação dos custos de quatro métodos de manejo de *Brachiaria decumbens* Stapf em área de implantação de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 20, n. 3, p. 139-330, 1995.

TOLEDO, R. E. B.; ALVES, P. L. C. A.; VALLE, C. F.; ALVARENGA, S. F. Comparação dos custos de quatro métodos de manejo de *Brachiaria decumbens* Staf em área de implantação de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 20, n.3, p. 319-330, 1996.

TOLEDO, R. E. B.; DINARDO, W.; BEZUTTE, A. J.; ALVES, P. L. C.; PITELLI, R. A. Efeito da densidade de plantas de *Brachiaria decumbens* Staf sobre o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 109-117, dez. 2001.

TOLEDO, R. E. B.; VICTORIA FILHO, R.; BEZUTTE, A. J.; PITELLI, R. A.; ALVES, P. L. C. A.; VALLE, C. F.; ALVARENGA, S. F. Períodos de controle de *Brachiaria* sp e seus reflexos na produtividade de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 221-232, jun. 2003a.

TOLEDO, R. E. B.; VICTORIA FILHO, R.; BEZUTTE, A. J.; ALVES, P. L. C. A.; PITELLI, R. A.; LOPES, M. A. F. Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 78-92, dez. 2003b.

VARGAS, I. C. Agricultura de precisão, nova tecnologia permite conhecer cada metro quadrado da lavoura. Disponível em: <http://webrural.com.br/> . Acesso em: 14 fev. 2005.

VEIGA, C. M. **Modelo computacional para análise operacional e econômica da aplicação de herbicidas na cultura da soja**, 2004. 71p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq/ USP, 2004. 1 CD ROM.

VON BARGEN, K.; MEYER, D.A.; MERRITT, S. J. WOEBBECKE, D. A.; Red-near infrared reflectance sensor system for detecting plants. In: PROCEEDINGS OF THE SPIE CONFERENCE ON OPTICS IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 1993, Bellingham WA. **Proceedings...** Bellingham WA, 1993. v.1836. p.231-238.

VRINDTS, E.; BAERDEMAEKER, J. de; RAMON, H. Weed detection using canopy reflection. **Precision Agriculture**, v. 3, n.1, p. 63-80, 2002.

WeedSeeker reduces herbicide use 90% for the City of Brisbane, Australia. Ukiah. Disponível em <[http:// www.weedseeker.com/](http://www.weedseeker.com/)>. Acesso em: 14 fev. 2005.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; BARGEN, K. V.; MORTENSEN, D. A. Shape features for identifying young weeds using image analysis. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**. v.38, n. 1, p.271-281, 1995.

ZHANG, N.; CHAISATTAPAGON, C. Effective criteria for weed identification in wheat fields using machine vision. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**. v.38, n. 3, p.965-975, 1995.

ZEN, S.; YONEZAWA, J. T.; FELDEBERG, J. E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. In: 1º SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: CNPFloresta/ IPEF/ UNESP/ SIF/ FUPEF, 1995. p. 65-72.