

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**SISTEMA DE COMUTAÇÃO DE PONTAS NA BARRA DE
PULVERIZAÇÃO PARA AJUSTE DO TAMANHO DE GOTAS ÀS
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E APLICAÇÃO EM TAXAS VARIÁVEIS**

FLÁVIO JOSÉ DE SOUSA PEREIRA

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

Dezembro - 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**SISTEMA DE COMUTAÇÃO DE PONTAS NA BARRA DE
PULVERIZAÇÃO PARA AJUSTE DO TAMANHO DE GOTAS ÀS
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E APLICAÇÃO EM TAXAS VARIÁVEIS**

FLÁVIO JOSÉ DE SOUSA PEREIRA

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

Dezembro - 2006

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

P436s Pereira, Flávio José de Sousa, 1973-
Sistema de comutação de pontas na barra de pulverização para ajuste do tamanho de gotas às condições climáticas e aplicação em taxas variáveis / Flávio José de Sousa Pereira. - Botucatu : [s.n.], 2006.
iv, 125 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
Inclui bibliografia

1. Agricultura de precisão. 2. Defensivos vegetais - Tecnologia de aplicação - Fatores climáticos. 3. Equipamento de pulverização. 4. Máquinas agrícolas. 5. Climatologia agrícola. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SISTEMA DE COMUTAÇÃO DE PONTAS NA BARRA DE
PULVERIZAÇÃO PARA AJUSTE DO TAMANHO DE GO-
TAS ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E APLICAÇÃO EM
TAXAS VARIÁVEIS"

ALUNO: FLÁVIO JOSÉ DE SOUSA PEREIRA

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. ANTONIO GABRIEL FILHO



PROF. DR. MARCO ANTONIO GANDOLFO

Data da Realização: 14 de dezembro de 2006

Dedico esta obra

a minha esposa e filho

razões de minha vida

aos meus pais

Vicente de Paula Pereira e Celina Aparecida de Sousa Pereira

sem os quais não seria possível a realização da obra

aos meus irmãos, pelo carinho de sempre e auxílio quando necessário,
minha cunhada e meu cunhado, os quais completaram nossa família
com carinho ao meu sobrinho

a Deus

por estar sempre nos proporcionando novos desafios

e a todos os agricultores

que dignificam este nosso imenso Brasil

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, pois me permitiu a realização deste curso de doutorado.

À ENALTA por ter sido parceira na realização desta pesquisa, bem como apoio técnico necessário e amizade; em especial aos Engenheiros Ivan Rogério Bizari e Cleber Rinaldo Manzoni.

Ao professor Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, meu orientador neste trabalho, pelo apoio as realizações das pesquisas, liberdade na condução dos projetos e acima de tudo, pelo profissionalismo com que conduz as pesquisas e o respeito ao profissional doutorando.

Ao dedicado professor Dr. Kléber Pereira Lanças, pelas orientações e amizade durante estes anos de convívio. Ainda por ter compreendido a necessidade de mudança de orientador no meio do caminho devido à vontade e à necessidade.

Ao amigo Fábio Henrique Rojo Baio, pelo auxílio nesta pesquisa e anos de amizade.

Aos professores das Bancas Examinadoras, de Qualificação (Dr. Kléber Pereira Lanças, Dr. Antonio Gabriel Filho e Dr. Ulisses Rocha Antuniassi) e da Defesa da Tese (Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, Dr. Kléber Pereira Lanças, Dr. Carlos Gilberto Raetano, Dr. Marco Antonio Gandolfo e Dr. Antonio Gabriel Filho) por dispensarem tempo e dedicação para contribuir com este trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural pelas aulas e trocas de informações que muito contribuíram para minha formação profissional e ou pessoal. Aos funcionários Airton, Giba, Silvio, Fernando, Rosângela, Rita, Fátima e todos os demais do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP. Aos funcionários de outros setores da Faculdade, que tenhamos convivido, em especial aos amigos do Serviço Técnico de Informática e da Sessão de Pós-Graduação.

A todos os amigos do curso de doutorado; aos amigos de república Marcus, Fabio Baio, Wagner, Ivo, Edwin, Zé Louco, Jairo, Alessandro, Leonardo, Diego e Matheus, assim como Bonnin, Glória, Moizés (Baianinho), Reginaldo, Airton, Carol, Elka, Paulinho, entre outros. Agradeço estes e outros pela amizade, auxílio, tanto quanto, pelas conversas em todas comemorações e/ou churrascos que juntos confraternizamos....

Aos meus familiares que compreenderam que eu preciso deste doutorado.

E a todos que de uma maneira ou outra colaboraram para a realização desta obra.

Reflexão: “Amadores construíram a Arca de Noé e profissionais, o Titanic”,

Portanto, procuremos ser pessoas de valor, em vez de pessoas de sucesso.
(autor desconhecido)

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Tecnologia de aplicação.....	8
4.1.1 Gotas de pulverização.....	8
4.1.2 Alvo da aplicação.....	10
4.1.3 Produtos fitossanitários e adjuvantes.....	14
4.1.4 Deriva em pulverização.....	15
4.1.5 Efeito das condições meteorológicas sobre as gotas.....	19
4.1.6 Bicos hidráulicos.....	25
4.1.7 Volume de pulverização.....	27
4.2 Agricultura de Precisão.....	28
4.2.1 Sistema de Posicionamento Global (GPS).....	29
4.3 Aplicação em taxa variada de produtos fitossanitários (VRT – Variable Rate Technology).....	31
4.4 Algoritmo de seleção de gotas.....	38
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1 Ensaio dos sensores.....	40
5.1.1 Fluxômetros.....	41
5.1.2 Sensores de parâmetros climáticos.....	43
5.1.2.1 Ensaio estático.....	45
5.1.2.2 Ensaio dinâmico.....	46
5.1.2.3 Análise dos dados.....	48
5.2 Seleção das pontas utilizadas nos ensaios.....	48
5.3 Proposição do algoritmo de controle do sistema.....	51
5.3.1 Algoritmo baseado em condições climáticas.....	52
5.3.2 Algoritmo baseado em aplicação à taxa variada (VRT).....	54
5.4 Descrição do controlador eletrônico de pulverização.....	55
5.5 Montagem do protótipo.....	56
5.5.1 Sistema hidráulico.....	58
5.5.2 Sistema pneumático.....	59
5.5.3 Sistema elétrico e eletrônico.....	60
5.6 Ensaios do protótipo.....	61
5.6.1 Laboratório.....	63
5.6.1.1 Determinação do tempo de resposta para sistema baseado nas condições climáticas.....	63
a) Tempo de resposta do processamento do algoritmo climático.....	63
b) Tempo de resposta da comutação de pontas dos bicos.....	65
5.6.1.2 Tempo de resposta para comutação de pontas para o algoritmo baseado na aplicação VRT.....	67
5.6.1.3 Determinação dos valores componentes do tempo de resposta.....	67
5.6.2 Ensaios de campo.....	68
5.6.2.1 Aferição da velocidade de deslocamento do trator.....	69
5.6.2.2 Tempo de resposta do sistema VRT a campo.....	69
5.6.3 Análise dos dados.....	73

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
6.1	Ensaio dos sensores	74
6.1.1	Fluxômetros	74
6.1.2	Ensaio estático dos sensores de parâmetros climáticos	79
6.1.3	Ensaio dinâmico dos sensores climáticos	84
6.2	Controle da pulverização pelos algoritmos	86
6.3	Ensaio do protótipo	86
6.3.1	Tempo de resposta do processamento do algoritmo climático	86
6.3.2	Tempo de resposta das comutações das pontas dos bicos acionados pelo algoritmo climático	88
6.3.3	Tempo de resposta da comutação de pontas para sistema baseado em VRT, com o equipamento estacionado em laboratório.....	94
6.3.4	Aferição da velocidade de deslocamento do trator em campo.....	97
6.3.5	Tempo de resposta do sistema VRT a campo.....	98
7	CONCLUSÕES.....	104
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

1 RESUMO

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários não tem sido realizada de maneira adequada por grande parte dos agricultores, causando grandes desperdícios do produto e contaminação ambiental. O tamanho único de gotas durante a pulverização ao longo do dia, independentemente das condições climáticas, é um fator que contribui para a baixa eficiência, causando desperdícios por deriva e ineficiência na cobertura do alvo. Para contornar o problema, uma nova possibilidade seria desenvolver metodologias para ajustar o tamanho de gotas às condições climáticas no momento da pulverização. Com este intuito, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um protótipo de pulverizador com sistema de comutação de pontas na barra de pulverização e avaliar este sistema para ajuste da classe do tamanho de gotas às condições climáticas, além de utilizá-lo para aplicações em taxas variáveis (VRT - Variable Rate Technology), através da comutação de pontas de diferentes vazões. Para tanto, foram desenvolvidos algoritmos específicos, denominados algoritmo climático e algoritmo VRT. Foram ensaiados dois sensores de fluxo (fluxômetros de turbina e eletromagnético) para uso no controle da vazão e, também, os sistemas com sensores climáticos (SSCs) de leituras de temperatura e umidade relativa do ar, utilizados no sistema de ajuste às condições climáticas. O tempo de comutação das pontas para os dois algoritmos foi determinado e ajustado para que não houvesse falha nem sobreposição durante a comutação. Os tempos de resposta (TR) dos dois sistemas de aplicação foram obtidos com o auxílio de recursos de videografia, através do cálculo da diferença de tempo entre o instante do comando para

comutação das pontas e o instante em que ocorria a última fase da operação, com o fechamento do leque da ponta utilizada anteriormente. Para o caso do sistema VRT, o TR foi obtido em ensaio de campo, pela diferença entre o registro do instante em que o GPS (Global Positioning System) passava pela linha limítrofe de divisa de subáreas com diferentes taxas de aplicação e o instante da comutação das pontas. Os fluxômetros mostraram-se acurados, optando-se pelo uso do modelo de turbina. Em movimento, as leituras do SSC foram precisas e confiáveis, justificando seu uso embarcado. Quando se utilizou o algoritmo climático, o TR de acionamento do programa foi de 6,67 centésimos de segundos. A média do TR do sistema de comutação das pontas do bico para condições climáticas (49,42 centésimos de segundo) foi maior do que para aplicação em VRT (37,47 centésimos de segundo). A uma velocidade de 7 km.h^{-1} , estes valores representam 0,96 e 0,73 metros de erro de deslocamento, respectivamente. O erro médio de VRT a campo foi de 1,51 m, que somado ao tempo de resposta de comutação das pontas resultou em um erro médio total de VRT de 2,24 m, na velocidade de 7 km.h^{-1} . Os ensaios de campo mostraram que o protótipo se apresentou robusto e eficiente para a utilização prática, sendo possível realizar tanto o ajuste do tamanho da gota em função de variação das condições climáticas como a aplicação em taxas variáveis a partir de informações contidas em mapas de recomendação.

NOZZLE COMUTATION SYSTEM ON BOOM SPRAYER FOR ADJUST OF DROP DIAMETER TO ENVIROMENTAL CONDITIONS AND APLICATION IN SITE-SPECIFIC MANAGEMENT. Botucatu, 2006. 125p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FLÁVIO JOSÉ DE SOUSA PEREIRA

Adviser: Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

2 SUMMARY

The application technology of pesticides has not been carried through in adequate way by great part of farmers, causing great losses of pesticides and contamination of water sources and adjacent areas. Spraying target with the same drops sizes during all day long, independent of the climatic conditions, is a factor that contributes for this low efficiency, causing wastefulness by drift and inefficiency in spray coverage of the intended target. To skirt the problem, a new possibility is to develop methodologies that can adjust the sizes of drops to climatic conditions while spraying. With this intent, the objective of this work was to develop a spraying prototype with a nozzle commutation system in the spraying bar and, evaluate this system for adjusting the drops sizes to climatic conditions, beyond using it for application in variables rates (VRT - Variable Rate Technology), through the commutation of nozzles of different outflows, based in recommendation map. For this it was developed specifics algorithms, denominated climatic algorithm and VRT algorithm. Sensors were evaluated in order to know its characteristics of performance. It was carried out tests of two sensors of flow (electromagnetic and turbine) to be used in outflow control. It was also assayed systems with climatic sensors (SSCs) of reading of temperature and relative humidity of the air used in a system that adjusted the spray to climatic conditions. The nozzles commutation time was determined for both algorithms and adjusted so that it did not have imperfections nor overlapping during the commutation. The times responses (TR), of the two systems,

was obtained with video resources, by calculating the time difference between the instant of the command for nozzles commutation and the instant that happened the last phase of the operation, in the case, the closing of the previous spray. For the case of system VRT, the TR was obtained, in field test, by the difference between the register of the instant that GPS (Global Positioning System) had passed through the bordering line in the sub-areas with different rates of application, and the instant of nozzle's commutation. The flow sensor had revealed accurate, and that one of turbine model was used. The registers of the SSC were precise and trustworthy, when had been carried through, in movement, justifying its use in the practical one. When using the climatic algorithm, the TR of accessing the program, was 6,67 hundredth seconds. The average TR of the tips commutation system of the nozzle, for the conditions climatic system (49,42 hundredth of seconds), was greater than that observed on VRT application system (37,47 hundredth of seconds). At $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, this values were equivalent to 0,96 and 0,73 meters of displacement error, respectively. The average error of VRT in the field was 1,51 meters, added to TR of commutation of the tips, resulted in a total of 2,24 m VRT average error, at $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. The field test had shown that the developed prototype was robust and efficient for the practical application, being possible in such a way, to carry through, even so, the adjust of the size of the drop in function of variation of climatic conditions, as so, the application in variable rates, from information contained in recommendation maps.

Keywords: precision farming, Variable Rate Technology, climatic conditions, application technology.

3 INTRODUÇÃO

Diversas variáveis estão envolvidas na pulverização agrícola, tais como variações na propriedade dos líquidos e fluxo hidráulico, variações nas condições ambientais ao redor dos jatos pulverizados, porte da planta, volume do produto aplicado, sistema de aplicação e outras. O sucesso de uma pulverização agrícola somente é efetivado quando se consegue atingir o alvo com eficiência e menor contaminação possível do ambiente.

Em condições de campo, é difícil respeitar todas as circunstâncias ideais para a realização de uma pulverização, assim como é difícil somente realizá-la quando todas as restrições estiverem sob controle. As condições ambientais, muitas vezes, mudam rapidamente dificultando o sucesso da aplicação (RUEDELL, 2002).

Em muitos casos o uso de produtos fitossanitários não tem sido utilizado de maneira adequada quanto à tecnologia de aplicação, causando grandes desperdícios do produto e aumentando o risco de contaminação de mananciais e áreas adjacentes. Recentemente, pesquisadores, na área de agricultura de precisão, buscam minimizar as perdas diminuindo as quantidades de insumos pelo uso de aplicações em taxas variáveis, conforme a necessidade de controle da infestação de cada local (PAICE et al. 1996; NERY, 2003; ANTUNIASSI & BAIIO, 2004).

Até o início da década de 90, todo trabalho de campo e de pesquisa em metodologia de pulverização agrícola, seja ela manual, tração animal ou mecanizada era esquematizado através do conceito de aplicação em área total, isto é, qualquer

aplicação de produto fitossanitário era feita utilizando-se de uma mesma dosagem do produto e do mesmo volume de calda por hectare em toda a área trabalhada. A partir de meados da década de 90, com o advento da agricultura de precisão, os pesquisadores vêm intensificando o estudo no sentido de se realizar aplicações dos produtos fitossanitários em quantidade adequada nos locais de cultivo, onde eles realmente são necessários, assim como, a aplicação ideal quanto à tecnologia de aplicação utilizada para cada alvo a ser controlado, utilizando-se de diferentes tamanhos de gota, e o momento correto da aplicação.

Novas metodologias que se utilizam de bicos comutáveis, mudando a ponta utilizada, ou somando-se outra ponta, tem sido empregada quando se pretende realizar variações de vazão sem alteração do tamanho da gota pulverizada, o que pode ocorrer quando se varia a vazão pela alteração da pressão.

Sabe-se que os parâmetros climáticos influenciam na evaporação das gotas de pulverização, acarretando a deriva e perda do produto. Farooq et al. (2001) relataram que as técnicas atuais, com emprego de alta tecnologia, ainda não resolveram os problemas causados pelas influências dos fatores dinâmicos a campo, tais como, as condições meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e a velocidade do vento) que afetam a aplicação localizada de produtos fitossanitários.

Procurando desenvolver novas ferramentas, que levem em consideração as técnicas ideais de aplicação de produtos pulverizados, este trabalho teve por objetivo desenvolver um protótipo de pulverizador com sistema de comutação de pontas na barra de pulverização e, posteriormente, avaliar este sistema para ajuste da classe do tamanho de gotas de acordo às diferentes condições climáticas, além de utilizar este protótipo para aplicação em taxas variáveis (VRT), através da comutação de pontas de diferentes vazões, baseado em mapa de recomendação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação de produtos fitossanitários apresentou uma evolução considerável nos últimos 50 anos. Antigamente, a maioria desses produtos era comercializada na formulação de pó seco ou granulado que aplicados com equipamentos não permitiam boas condições de controle da qualidade das aplicações. À medida que a proteção ao ambiente passou a ser mais valorizada e as principais culturas passaram da condição de lavouras de subsistência para cultivos comerciais, houve inovações na qualidade dos produtos fitossanitários e na qualidade dos equipamentos de aplicação destes produtos (BOLLER, 2004).

Atualmente, existem recursos e dispositivos capazes de oferecer maior controle e redução de perdas nas aplicações dos produtos fitossanitários. A utilização de sensores no controle das diversas funções dos pulverizadores tem possibilitado uma melhor qualidade das aplicações desses produtos.

Além das melhorias nos equipamentos, os produtos fitossanitários utilizados são menos tóxicos ao homem e ao ambiente, possibilitando manejo integrado das culturas e redução dos impactos da produção agrícola sobre o ambiente (BOLLER, 2004).

Com o avanço da agricultura de precisão, em que a variabilidade entre os diversos pontos de uma determinada área cultivada é levada em consideração, é necessário aprimorar, cada vez mais, o sistema de coleta de dados, para se ter resultados confiáveis (PEREIRA, 2002).

4.1 Tecnologia de aplicação

Entende-se por tecnologia de aplicação os conhecimentos utilizados na atividade de pulverização e que são necessários para que ela seja eficaz. O sucesso de uma pulverização agrícola somente é efetivado quando se consegue atingir o alvo com a menor contaminação do ambiente possível, o que é obtido utilizando-se da técnica adequada de pulverização baseada nas variáveis: classe de tamanho de gotas, alvo da aplicação, cobertura do alvo, tipo de produtos fitossanitários e adjuvantes, deriva, efeito das condições meteorológicas sobre as gotas, as pontas hidráulicos e o volume pulverizado, dentre outros.

4.1.1 Gotas de pulverização

O tamanho das gotas é normalmente classificado segundo o seu diâmetro mediano volumétrico (DMV), medido em micrômetros (μm). Matuo (1990) relata que o DMV é o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas metades iguais. Uma destas partes contém um volume em gotas, cujos tamanhos são menores que o DMV referente e a outra metade do volume possui gotas maiores que o DMV referente.

Atualmente o tamanho das gotas é estabelecido conforme as pontas de pulverização referência padronizadas na norma ASAE S-572 da ASABE (2004). Esta norma diz que a classe do tamanho de gotas produzidas por uma ponta (bico) são classificadas como muito finas, finas, médias, grossas e muito grossas. Para se saber que classe de gota é produzida por determinada ponta é preciso comparar o seu DMV aos das pontas de referência, pelo mesmo método de determinação do tamanho das gotas.

Segundo Fraser (1958), gotas maiores que $100 \mu\text{m}$ (gotas finas) para a aplicação de inseticidas de contato são pouco eficientes. O autor ainda recomenda a utilização de gotas de tamanho entre 100 a $300 \mu\text{m}$ para a aplicação de herbicidas de contato.

Matuo (1990) sintetizou, numa tabela, o tamanho adequado das gotas para cada tipo de alvo (Tabela 1).

Tabela 1. Tamanho de gotas adequado para alguns alvos.

Alvo	Tamanho da gota (μm)	Classificação BCPC
Insetos em vôo	10 – 50	muito fina
Insetos na folhagem	30 – 50	muito fina
Folhagem	40 – 100	muito fina
Solo	250 – 500	média a grossa

(Fonte: adaptado de MATUO, 1990)

Ozkan (1994) recomendou tamanhos de gotas para fungicidas, inseticidas e herbicidas entre 100-200, 200-300 e 250-400 μm , respectivamente.

Carrero (1996) estabeleceu o número de gotas. cm^{-2} em função do tamanho de gotas e volume da calda pulverizada (Tabela 2). Esta relação pode ser calculada pela equação 1.

Tabela 2. Número de gotas. cm^{-2} em função do tamanho das gotas e volume de pulverização.

DMV (μm)	Volume de pulverização (L.ha^{-1})				
	60	80	100	150	200
100	1150	1530	1910	2870	3820
200	150	200	240	360	480
300	42	56	71	106	140
500	9	12	15	23	30

(Fonte: CARRERO, 1996)

$$n = \frac{60}{\pi} \left(\frac{100}{d} \right)^3 Q \quad (1)$$

onde:

n é o número de gotas por cm^2 ;

d é o diâmetro das gotas (μm);

Q é o volume de pulverização (litros).

Antuniassi & Baio (2004) relataram sobre a importância da

densidade de gotas para uma ação eficiente do produto fitossanitário, sumarizada na Tabela 3.

Tabela 3. Densidade de gotas.

Produto	Gotas.cm ²
Inseticida	20 a 30
Herbicidas Pré-emergentes	20 a 30
Herbicidas Pós-emergentes	30 a 40
Fungicida sistêmico	30 a 50
Fungicida de contato	> 70

(Fonte: Modificado de RUEDELL, 2002)

4.1.2 Alvo da aplicação

O alvo é onde se pretende depositar as gotas pulverizadas. De acordo com o tipo de controle necessário e do alvo a ser coberto, decide-se o tamanho da gota a ser aplicada.

A mosca branca do feijão, por exemplo, ataca a face inferior das folhas do feijoeiro, assim, se for aplicado um inseticida de contato, ele deve ser pulverizado em gotas finas, as quais permanecem por mais tempo suspensas, podendo atingir o alvo desejado na face inferior da folha.

Matuo (1980) relatou que a definição do alvo é de fundamental importância para um controle eficiente, entretanto, nem sempre é de fácil determinação o que pode conduzir a uma aplicação pouco eficaz. Segundo o autor, quando não se atinge o alvo, tem-se uma aplicação ineficiente, desperdício de produto e contaminação do ambiente.

Antuniassi & Baio (2004) descreveram que, dentre os fatores importantes para o sucesso das aplicações, deve-se sempre considerar as relações entre o tipo de alvo a ser atingido, a forma de ação do produto fitossanitário e a técnica utilizada para a aplicação.

A cobertura do alvo é a quantidade de gotas que se pretende colocar por unidade de área do alvo e isto caracteriza a qualidade da aplicação.

Carlton et al. (1983) trabalharam com cobertura da folha e, observaram que, como esperado, no topo da cultura, a deposição do produto fitossanitário foi maior do que nas porções centrais e inferiores, como também a face superior das folhas recebeu a maior quantidade do volume aplicado. Segundo os autores, os fungicidas aplicados sobre a cultura da soja necessitam de uma boa cobertura sobre a planta, maximizando o contato entre o produto fitossanitário e o fungo.

Barriga et al. (1983) trabalharam com gotas pulverizadas de 110 μm (disco rotativo, 6,35 L.ha⁻¹), 250 μm (bico 11001, 276 kPa, 42,35 L.ha⁻¹), 350 μm (bico 8001, 276 kPa, 42,35 L.ha⁻¹) e 480 μm (bico TK-0,75, 138 kPa, 42,35 L.ha⁻¹) de DMV e, observaram que, gotas de menor diâmetro mediano volumétrico proporcionaram melhor penetração e cobertura nas diferentes alturas das plantas de café de 1,20 a 1,30 m de altura. A maior cobertura se deu no nível alto da planta e os níveis baixo e mediano das plantas apresentaram coberturas estatisticamente iguais.

Courshee (1967), citado por Matuo (1990), explicou que a diminuição do volume de pulverização implica, geralmente, em utilização de gotas menores para se manter uma adequada cobertura do alvo. Para o autor, a cobertura da área foliar é expressa pela equação 2.

$$C = 15 \frac{V.R.K^2}{A.D} \quad (2)$$

Onde:

C = cobertura (% área);

V = volume de pulverização (L.ha⁻¹);

R = taxa de recuperação (% do volume aplicado captado pelo alvo);

K = fator de espalhamento das gotas;

A = superfície vegetal existente em um hectare;

D = diâmetro das gotas.

Ao avaliar a equação 2, Matuo (1990) descreveu que uma elevada cobertura pode ser alcançada com um elevado volume de pulverização, aumento da taxa de

recuperação, aumento do fator de espalhamento; o que é alcançado pela utilização de surfatantes. A cobertura pode ser melhorada ainda pela diminuição do tamanho das gotas. Portanto, uma elevada cobertura pode ser obtida pela pulverização em altos volumes ou utilizando-se de gotas menores. Segundo o autor, à medida que a planta cresce, é elevado o índice de enfolhamento e, para se alcançar uma cobertura similar, geralmente, é aumentado o volume de pulverização. No caso de fungicidas, especialmente aqueles com ação de contato, é necessária uma boa cobertura da planta pela calda, que por sua vez é atingida quando são utilizadas gotas finas na pulverização.

Ozkan (1994), porém, enfatiza que não é necessária a utilização de gotas finas quando são aplicados herbicidas sistêmicos ou aqueles cujo alvo é o solo. No entanto, são desejáveis gotas médias e finas quando são aplicados inseticidas e fungicidas de contato, pois estes tamanhos de gotas proporcionam uma melhor penetração e deposição dentro da massa vegetal.

Segundo Matthews (2000), muitos agricultores têm aplicado gotas grossas na pulverização para se minimizar a deriva e a diminuição da contaminação do ambiente, porém este procedimento pode levar ao ineficaz controle da praga, doença ou planta daninha, devido ao fato de gotas grossas proporcionarem uma menor cobertura do alvo de aplicação, quando comparadas às gotas mais finas. O autor também descreve que somente o aumento do volume de pulverização pode não proporcionar o controle eficaz, pois o volume de calda por unidade de área que a folha pode reter é limitado.

Matthews (2000) relata, ainda, que a escolha da técnica de pulverização de fungicidas depende de se conhecer e identificar o foco inicial de infecção do fungo na cultura. Já para o controle de plantas daninhas, com pulverização de herbicidas, em geral, são utilizadas gotas médias a grossas. Quando o alvo é o solo, como exemplo da aplicação de herbicidas pré-emergentes e pré-plantio-incorporados, o autor relata que podem ser utilizadas gotas grossas a muito grossas na pulverização, minimizando a deriva. Já, quando o alvo da aplicação são as folhas das plantas daninhas, uma atenção maior deve ser dada para a escolha da técnica de pulverização a ser utilizada, pois pode haver o efeito guarda-chuva durante a aplicação ou o sítio de ação do herbicida exigir uma boa cobertura do alvo. O autor também discute que gotas grandes causam o efeito ricolcheteio após a gota atingir a folha, resultando em uma retenção pobre da calda.

Ramos & Pio (2003) relataram que a cobertura nada mais é do que o número de gotas por unidade de área obtido na pulverização, e representa o objetivo final desta prática. Segundo os autores, a cobertura ideal varia com o agente a ser controlado, pois a cobertura necessária para o controle de um fungo é maior do que aquela necessária para o controle de um inseto; e o modo de ação do produto aplicado, onde a cobertura necessária para o controle eficiente, utilizando-se um produto sistêmico, é menor do que aquela necessária, utilizando-se um produto com ação de contato. Para os autores, uma boa cobertura é, geralmente, alcançada, com a utilização de altos volumes de pulverização, ou pela utilização de gotas menores.

Uma das vantagens da aplicação de gotas finas está na possibilidade de se diminuir a taxa de aplicação, mantendo-se a área de cobertura; desta forma, o ganho dessa tecnologia proposta está na diminuição do volume de aplicação, na diminuição de água utilizada com conseqüente aumento do rendimento operacional da máquina (MATUO et. al., 1989, ANTUNIASSI & BAIO, 2004).

A uniformidade do perfil de distribuição volumétrico, realizada por um pulverizador de barras, depende da ponta utilizada, da sobreposição dos jatos e da altura da barra em relação à cultura ou alvo (CUNHA & TEIXEIRA, 2003), além das regulagens feitas, e das condições climáticas que influenciam diretamente na melhor ou pior cobertura do alvo.

Matuo (1980) relatou que uma gota lançada ao ar é captada por uma superfície sob duas formas principais: por sedimentação em superfícies horizontais (como no caso de gotas grossas) e por impacto sobre alvos verticais (como no caso de gotas finas).

Segundo Southcombe & Seaman (1990), uma maneira de se aumentar a deposição de produtos fitossanitários em plantas de folhas estreitas e verticais é o uso de gotas finas, porém esta técnica deve ser utilizada com cuidado, pois é grande o risco de deriva.

Gotas finas são requeridas quando há a necessidade de uma boa cobertura foliar, especialmente quando a cultura possui muitas folhas verticais (MATTHEWS, 2000).

Matthews (2000) relata que a rugosidade das folhas pode afetar o ângulo de contato da gota, que conseqüentemente pode afetar a absorção do volume

pulverizado. No entanto, este fato possui menor importância quando da utilização de gotas menores que 150 μm (gota fina), especialmente quando a formulação possui surfatantes.

4.1.3 Produtos fitossanitários e adjuvantes

Para Matthews (2000), o modo de ação do produto químico pode influenciar na escolha da técnica de pulverização a ser utilizada, assim como no momento ideal da pulverização. Cita, como exemplo, que um inseticida pode atuar por contato no corpo do inseto, por ingestão ou por inalação deste pelo inseto; enquanto os fungicidas e herbicidas necessitam que a calda pulverizada entre em contato com o patógeno.

Coutinho & Cordeiro (2002) relatam que alguns produtos fitossanitários, embora sistêmicos, somente se translocam pela planta de baixo para cima, ou seja, exigem que o produto atinja as partes inferiores da planta, necessitando, assim, da utilização de gotas finas ou médias para melhor penetração na massa foliar.

Adjuvantes são produtos químicos presentes nas formulações ou adicionados à calda, que possibilitam a melhoria de alguma característica desta. Alguns adjuvantes são adicionados à calda com o objetivo da redução da deriva (MATUO et al., 1989).

Ozkan (1994) relata que o incremento na viscosidade da calda irá aumentar o espectro das gotas e, conseqüentemente, reduzir o número de gotas propensas à deriva, concordando com Matuo et al. (1989). Fato, este, também constatado por Combella et al. (1996) e Ellis & Tuck (1999) com óleos emulsionáveis na calda de pulverização. No entanto, Ellis & Tuck (1999) concluem que a adição de surfatantes à calda aumenta o risco de deriva, pois diminui o espectro das gotas. Estes autores verificaram que a adição de emulsão à calda aumentou o espectro das gotas em 8% e a adição de surfatantes diminuiu o espectro das gotas em 12%, utilizando pontas do tipo jato plano. Já com a utilização de pontas com indução de ar, esta situação se inverteu, segundo os autores, devido à presença de ar no interior das gotas. Os autores observaram que as emulsões diminuíram em média o espectro das gotas em 8%, e os surfatantes aumentaram o espectro das gotas em 11%.

4.1.4 Deriva em pulverização

Pelo fato de o tamanho de gotas ser importante no processo de pulverização de produtos fitossanitários, em função das condições ambientais, capacidade de cobertura e minimização da deriva, diversos são os trabalhos no sentido de avaliarem o tamanho das gotas nesse processo.

Threadgill & Smith (1975) trabalharam com diferentes tamanhos de gotas e expuseram que as de tamanho maior que 200 μm (gotas médias) sofreram pouca influência com a variação da velocidade do vento (trabalhando de 0,97 a 3,76 m.s) e as gotas de tamanho de 150 μm aumentaram a deposição com o aumento da velocidade do vento (de 0,67 a 3,52 m.s); no entanto, na aplicação com gotas menores que 100 μm (gotas muito finas), a deriva foi elevada.

Ozkan (1994) relatou que gotas maiores que 150 μm não terão redução significativa do seu tamanho antes de atingirem o alvo, concordando com Riley & Wiesner (1999), que verificaram que gotas maiores de 150 μm são pouco susceptíveis à deriva e que pontas com vazões maiores tendem a produzir gotas de tamanho maiores. Nesta mesma linha de pesquisa, Chapple et al. (1997) puderam verificar que, se de um lado, gotas menores que 150 μm possuem maior risco de deriva, de outro, gotas maiores que 300 μm (gotas grossas) possuem pouca probabilidade de serem retidas de forma intacta ao atingirem a superfície foliar. Ozkan et. al. (1997) constataram que gotas maiores que 200 μm (gotas médias) podem proporcionar um controle insatisfatório, se forem aplicados volumes pequenos, não proporcionando boa cobertura do alvo. Cunha & Teixeira (2003) verificaram que as gotas de diâmetro reduzido (100 μm) são biologicamente mais eficazes, entretanto, pouco seguras sob o ponto de vista ambiental, devido ao elevado potencial de deriva.

Matthews (2000) descreveu que o tamanho adequado das gotas possui importância fundamental para a deposição do ingrediente ativo sobre o alvo correto e com a minimização de perdas ou deriva. O autor relatou ainda que gotas de tamanho

entre 50 e 100 μm (gota muito fina) são capazes de serem transportadas para o interior da massa foliar da cultura por meio da turbulência do ar e serem depositadas nas folhas. Quando as condições ambientais propiciarem a deriva, gotas médias a grossas devem ser utilizadas. No entanto, mesmo quando gotas grossas são aplicadas, há uma porção do volume aplicado formado por gotas finas e que estão sujeitas à deriva. O autor ainda relata que, enquanto gotas grandes caem em uma trajetória vertical na aplicação e possuem maior deposição em alvos horizontais, gotas pequenas possuem uma trajetória maior no plano horizontal, melhorando a deposição em folhas verticais, como em plantas de folhas estreitas.

Vários pesquisadores têm trabalhado no controle da ferrugem asiática da soja, constatando que a técnica de pulverização adequada para maior eficiência tem sido a da utilização de gotas muito finas ou finas, atendendo os princípios da tecnologia de aplicação, buscando maior cobertura foliar e capacidade de penetração na parte inferior da planta (ANTUNIASSI et al., 2004a e BOLLER et al., 2004).

Porém, a tomada de decisão quanto ao tamanho de gota a ser utilizada em pulverizações tem de ser feita baseada em avaliações caso a caso, podendo, às vezes, em determinadas situações, obter-se melhor eficiência com espectro de gota diferente do comumente utilizado. Isto ficou comprovado no trabalho de Bonelli (2006), onde o controle da ferrugem asiática da soja foi mais eficiente com gotas médias em comparação a gotas finas. Segundo a autora, isto ocorreu devido à aplicação ser realizada em estágio de alto índice de incidência e severidade, onde se buscava um tratamento para amenizar as perdas. O trabalho foi realizado com a cultura da soja (cv. Tabarana), no estágio R 5.1. Procurando avaliar a aplicação com gotas finas e gotas médias, concluiu que não houve diferença estatística significativa na produtividade. A autora relatou que, no controle curativo, a quantidade de produto depositado pode se tornar mais importante do que a cobertura, principalmente nas folhas da parte superior das plantas. Estas folhas estão mais saudáveis do que as inferiores, que geralmente são as primeiras a ficarem totalmente comprometidas, diminuindo assim a importância no desenvolvimento da planta. Gotas médias acabam oferecendo um desempenho semelhante, apesar de não oferecerem vantagens na cobertura das folhas da parte inferior das plantas. Este fato torna-se importante, pois, na prática, as gotas médias estendem o período de trabalho na

propriedade, visto que as gotas finas e muito finas têm muitas limitações, dentre elas, problemas de deriva e evaporação.

Segundo Miller (1993), a deriva pode ser definida como a porção do espectro de gotas que são produzidas pelo pulverizador que não atinge o alvo, devido a fatores meteorológicos. Este autor também concluiu que são as gotas finas e muito finas que estão mais sujeitas à deriva.

Segundo Márquez (1997), gotas menores do que 100 μm são arrastadas facilmente pelo vento e aquelas maiores que 800 μm são muito pesadas e escorem da superfície das folhas.

Thompson & Ley (1983) relataram que os principais fatores que influenciam a deriva são o tamanho da gota, a altura da barra, a velocidade do vento, a estabilidade atmosférica, a umidade relativa do ar e o coeficiente de absorção da gota pela superfície foliar. Além desses fatores, a formulação do produto fitossanitário pode influenciar diretamente nesse processo (OZKAN et al., 1997).

Ozkan (1994) descreveu que onde há líquido pulverizado, há deriva. Embora a completa eliminação da deriva seja praticamente impossível, ela pode ser minimizada.

Para Bohmont (1990), a deriva deve ser minimizada, pois os produtos fitossanitários são caros, podem causar contaminação do ambiente e danos às culturas ao redor da área tratada. Para Johnson & Swetnam (2006), a deriva deve ser minimizada, principalmente, na aplicação de herbicidas.

Velloso & Souza (1996) relataram que a temperatura do ar acima de 30 °C e umidade relativa abaixo de 70% são fatores que favorecem à evaporação das gotas.

Riley & Wiesner (1999) explanaram que o controle do tamanho das gotas é uma das mais simples maneiras de minimizar a deriva e que isto pode ser alcançado pela escolha correta da ponta e pelo controle da pressão de trabalho. Estes autores ainda relatam que, em alguns casos, o próprio pulverizador de barras, quando opera em velocidades elevadas, pode criar uma turbulência do ar ocasionando deriva de gotas muito finas, concordando com Miller (1993). Os autores também comentaram que uma velocidade excessiva sobre um terreno irregular pode causar instabilidade da barra de

pulverização o que, conseqüentemente, irá elevar a altura de deposição da gota e pode ocasionar deriva, além de uma desuniformidade da pulverização.

A altura da barra interfere sobre a pulverização de duas maneiras: pode comprometer a homogeneidade da deposição sobre o alvo, pois os bicos têm um espaçamento fixo ideal para cada altura da barra e, também, pode influenciar na deriva.

Hadar (1991) mostra que, mesmo em pulverizadores com assistência por ar, a altura da barra não pode ser excessivamente alta, pois pode ocorrer deriva. Já Ozkan (1994) expõe que gotas finas e muito finas possuem pouca energia cinética, fazendo com que estas gotas sejam altamente susceptíveis à deriva. Para o autor, gotas maiores que 200 μm (gotas médias) sofrem pouca influência da altura da barra de um pulverizador de barras, quanto à deriva.

Miller & Smith (1997) trabalharam com diferentes velocidades do pulverizador e discutiram que, em busca do aumento da capacidade operacional, tem havido um aumento da velocidade de deslocamento do pulverizador; no entanto, quando há a aplicação de volumes baixos e, dependendo do tamanho da gota, este procedimento elevará a potencialidade de deriva. Estes autores também relataram que, quando utilizaram uma ponta de jato plano e, quando aumentaram a velocidade de deslocamento de 4 para 8 km.h^{-1} , a deriva aumentou em 51% e, quando a velocidade foi incrementada para 16 km.h^{-1} , a deriva aumentou em 144%, mostrando que, quando há um aumento de velocidade, também há um aumento da deriva, quando se opera com pontas de jato plano à pressões entre 200 kPa e 400 kPa. Segundo os autores, muitos pulverizadores que possuem controladores eletrônicos de pulverização e que, na variação da velocidade, regulam automaticamente a vazão através do ajuste da pressão, estão sujeitos ao incremento no risco de deriva.

Para Ramos (2001), muitas gotas pulverizadas sobre uma cultura podem passar pela folhagem e atingir o solo, principalmente nas entrelinhas; outras gotas podem se coalescer e não serem mais retidas pelas folhas, escorrendo para o solo. Segundo o autor, estas perdas internas são caracterizadas como endoderiva. Enquanto que o deslocamento de gotas para fora da área da cultura, causado pela ação do vento e pela evaporação da água usada na preparação da calda, principalmente nas gotas de tamanhos menores, é denominado de exoderiva. Este tipo de perda externa é um dos principais

responsáveis pelos prejuízos causados a outras culturas sensíveis e pela contaminação ambiental. Quando apenas o termo deriva é utilizado, normalmente refere-se à exoderiva.

Para controle da deriva, novas tecnologias surgiram nas últimas décadas. Grandes contribuições para este controle foram as pontas especiais desenvolvidas para minimizar a deriva, porém, segundo Antuniassi (2003), além das pontas, hoje há grande destaque pela utilização de sistemas de pulverização com assistência por ar, e pulverização eletrostática que, em teoria ajudam no controle da deriva.

Hadar (1991) expõe que a assistência por ar apresenta vantagens em aplicações com baixos volumes e gotas finas. Segundo o autor, este tipo de pulverizador oferece elevada capacidade operacional, pois pode trabalhar em condições atmosféricas em que o pulverizador comum não pode, e possibilita uma elevada deposição das gotas sobre o alvo.

Antuniassi (2003) explana que a utilização de assistência por ar pode aumentar ou diminuir a deriva, assim como melhorar ou não a deposição e cobertura, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, características das plantas e características operacionais do pulverizador. No entanto, em geral, tem se alcançado a redução da deriva pela utilização destes dispositivos em condições climáticas desfavoráveis. Para o autor, a assistência por ar pode melhorar a deposição das gotas nas partes inferiores da cultura, principalmente, daquelas de maior porte.

Todos os tipos de pontas estão sujeitas à produção de gotas finas que, conseqüentemente, estão mais sujeitas à deriva. Os pulverizadores eletrostáticos auxiliam na deposição das gotas no alvo de aplicação, principalmente, de gotas menores que 100 μm (gotas muito finas), pelo carregamento elétrico das gotas fazendo com que elas sejam atraídas pelo objeto de tratamento (planta) por cargas de sinal contrário (MATTHEWS, 1989).

4.1.5 Efeito das condições meteorológicas sobre as gotas

Franz et al. (1998) relataram que a porcentagem das gotas depositadas na superfície abaxial das folhas aumentou progressivamente quando a

velocidade do vento foi superior a 10 km.h^{-1} , assim como aumentou o diâmetro das gotas depositadas nesta posição da folha; no entanto a porcentagem depositada na página superior das folhas permaneceu inalterada com o aumento da velocidade do vento até $14,4 \text{ km.h}^{-1}$, quando então tende a diminuir. A porcentagem das gotas depositadas na página inferior das folhas diminuiu, quando a temperatura foi superior a 28°C . Os autores ainda relataram que o aumento da deposição, tanto na superfície abaxial das folhas quanto na superior, está intimamente ligado com o aumento da umidade relativa do ar.

Matthews (2000) explicou que gotas finas, cujo diluente é água, possuem tempo de vida pequeno e, se esse diluente do produto químico evapora, o tamanho da gota vai diminuir muito, possibilitando o carregamento desta partícula por uma distância muito grande pelo vento. Assim, em temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa, deve ser considerada a utilização de adjuvantes à calda, para aumentar o tempo de vida da gota, diminuindo a deriva.

Pesquisadores vêm buscando desenvolver métodos que consideram o momento e os fatores do clima para realizar a aplicação com eficiência, o que pode ser verificado no trabalho de Antuniassi et al. (2005), que buscou desenvolver um sistema de suporte à decisão para facilitar a operacionalização das aplicações, realizando seleção de pontas na aplicação de produto químico baseado, entre outros, nas condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Este trabalho buscou o uso correto da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários no contexto da agricultura de precisão.

A pulverização e a deposição das gotas são influenciadas diretamente pelas condições meteorológicas no momento da aplicação. Os fatores meteorológicos que mais interferem são o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar.

De acordo com um experimento realizado por Smith et al. (1982), os dois maiores fatores que afetam a deriva são a velocidade horizontal do vento e a altura da barra do pulverizador, mas que também a temperatura possui um papel fundamental.

Segundo Thompson & Ley (1983), uma gota maior do que $150 \mu\text{m}$ somente é afetada pela velocidade do vento quando esta é superior a 10 m.s^{-1} e uma gota maior do que $200 \mu\text{m}$ não sofre influência mesmo com o vento nesta velocidade.

Existem métodos relativamente simples, como é o caso da escala de Beaufort, que torna possível identificar o vento correto para a pulverização, através de sinais da natureza como, por exemplo, o movimento das folhas. Para Matuo (1990), a faixa ideal de velocidade do vento é entre 3,2 a 6,5 km.h⁻¹, com sinais ambientais visíveis de folhas e ramos finos em agitação constante. Já, na condição de ausência de vento, as gotas muito finas podem ficar suspensas no ar por um período muito grande, com maior susceptibilidade à evaporação. Portanto, a ausência de vento é tão negativa quanto o seu excesso (SANTOS, 1992).

Bohmont (1990) relatou que o vento afeta a direção, quantidade e distância da deriva. Krishnan et al. (1993) concluíram que a velocidade e direção do vento influenciaram a qualidade de pulverização em todos os tipos de pontas avaliadas por eles. Procurando comprovar esta influência, Miller (1993) constatou haver uma interação linear entre a deriva e a velocidade do vento. Este autor também expôs que a estabilidade atmosférica influencia o nível de turbulência que, por sua vez, influencia a deriva, principalmente de gotas finas e muito finas.

Ozkan et al. (1997) relataram que a deriva é insignificante quando o vento está entre 0,5 e 4 m.s⁻¹, e a pulverização é feita com gotas de tamanho maior que 150-200 µm (gotas médias).

Franz et al. (1998) expuseram que, havendo a necessidade de deposição na superfície inferior das folhas, os ventos horizontais à cultura são benéficos, o que vem de acordo com Matthews (2000), o qual relatou que somente algumas gotas serão depositadas na superfície inferior das folhas, a menos que exista certo movimento do ar ou turbulência.

Segundo Miller & Stoughton (2000), gotas muito finas podem ficar suspensas no ar em condições de estabilidade atmosférica (ausência de vento) e, então, serem dispersas como outros poluentes a até centenas de quilômetros do local de aplicação. Conforme os autores, estes poluentes somente podem ser removidos da atmosfera pela ação da chuva.

Ramos (2001) relatou que ventos superiores a 1 m.s⁻¹ aumentam o impacto das gotas dentro da área tratada, bem como a penetração da pulverização dentro da copa da cultura.

Ruedell (2002) descreveu que, quando a velocidade do vento é superior a 10 km.h^{-1} , a qualidade da pulverização é afetada devido ao excesso de carregamento lateral das gotas, podendo resultar em maior deriva, o que, em consequência, pode não atingir o alvo em dose suficiente e, ainda, prejudicar as áreas próximas.

A velocidade do vento deve ser considerada no momento de aplicação de qualquer produto fitossanitário agrícola. ABI-SAAB et al. (2004) desenvolveram um protótipo de baixo custo para determinação da direção e velocidade do vento para ser utilizado nas áreas agrícolas em substituição ao anemômetro que é mais caro. É constituído por uma haste cilíndrica que suporta dois painéis de plástico perpendiculares entre si. O conjunto gira livremente em torno da haste, no sentido da direção do vento, e o outro possui uma fenda que atravessado pelo primeiro painel movimenta-se num ângulo de 0 a 90° , de acordo com a velocidade do vento. A intensidade é indicada nas faixas pintadas no primeiro painel. Utilizando-se de um ventilador e um anemômetro, os autores calibraram o protótipo, conforme mostrado na Tabela 4, baseando-se nas informações obtidas em ANDEF (2002) de que a faixa ideal de velocidade de vento para pulverizações de produtos fitossanitários vai de $3,2$ a $6,5 \text{ km.h}^{-1}$, e é admissível pulverizar até $9,6 \text{ km.h}^{-1}$, com ressalva para se evitar a pulverização de herbicida.

Tabela 4. Indicação, no anemômetro protótipo, da cor da faixa conforme condição de aplicação de acordo com a velocidade do vento.

Condição de Aplicação	Cor da faixa	Intervalo de velocidade km.h^{-1}
Com restrição	Amarela (1 ^a)	Até 3,2
Própria	Verde	3,2 – 6,5
Com restrição	Amarela (2 ^a)	6,5 – 9,6
Imprópria	Vermelha	> 9,6

(fonte: ABI-SAAB et al., 2004)

A temperatura do ar e a pressão atmosférica decrescem com a altitude. Bohmont (1990) relata que o solo é aquecido durante o dia e incrementa a temperatura do ar próximo a ele rapidamente, proporcionando um movimento ascendente da massa de ar. Este movimento convectivo da massa de ar pode ocasionar deriva quando há a pulverização de gotas finas a muito finas. O movimento horizontal da massa de ar

pode carregar a partícula pulverizada a grandes distâncias.

Matuo (1990) expõe que, em dias muito quentes e secos, as gotas médias muitas vezes evaporam e não atingem o alvo. O autor recomenda a interrupção da pulverização quando a diferença de temperaturas entre os bulbos seco e úmido ultrapasse 8°C ou quando a temperatura ambiental for superior a 36°C, e a pulverização for realizada com gotas médias ou menores. Ozkan (1994) relatou que, nas horas iniciais da manhã e nas finais da tarde, são os períodos onde a umidade relativa está maior e, portanto, mais favoráveis à pulverização.

Segundo Santos (1992), na condição de temperatura e umidade relativa do ar muito altas, as gotas muito finas são freadas em sua queda por uma corrente convectiva de ar que as sustenta como “bolhas de sabão”.

Ozkan (1994) descreve que o aumento da temperatura afeta a deriva pelo aumento da volatilidade dos líquidos. O autor mostra que gotas maiores que 200 µm (gotas médias) são pouco influenciadas pelo aumento de temperatura entre 10 e 30 °C, a uma umidade relativa de 50%.

Franz et al. (1998) concluíram que, para obter uma boa cobertura da face inferior das folhas, as temperaturas elevadas devem ser evitadas.

Ruedell (2002) descreveu que a pulverização deve ser evitada quando a temperatura for inferior a 10 °C ou superior a 35 °C, alertando, que a temperatura ideal para a aplicação da maioria dos produtos fitossanitários situa-se ente 20 e 30 °C. O autor orienta também que a luminosidade deve estar presente no momento da aplicação, ou algumas horas após a aplicação, para alguns tipos de produtos químicos, principalmente herbicidas pós-emergentes, os quais possuem baixa eficiência quando aplicados em dias sombrios, ou à noite.

Quantick (1985) explana que a evaporação ocorre toda vez que a pressão de vapor do ar está abaixo do valor de saturação. A mudança de estado do líquido depende de energia que é provida pela radiação solar e é suplementada pela remoção do calor, imediatamente ao redor da gota, causando uma aparente perda de calor (calor latente).

Riley & Wiesner (1999) relataram que a taxa de evaporação da gota é mais afetada quando se pulveriza com gotas finas em baixa umidade relativa e em

elevadas temperaturas, concordando com Matthews (2000), que descreve que a taxa de evaporação da gota é influenciada pela saturação do ar ao redor da gota. Riley & Wiesner (1999) relataram, ainda, que o tamanho das gotas e a velocidade de sedimentação são influenciadas pela evaporação da gota que a torna mais propensa para a ocorrência de deriva. Os autores explicam que gotas maiores que 150 μm normalmente atingem o alvo antes de seu tamanho diminuir significativamente devido à evaporação.

Para evitar desperdícios de produtos fitossanitários, Matuo (1990) recomenda que as aplicações desses produtos sejam feitas pela manhã e ao final da tarde, quando a temperatura não é muito elevada para evitar perdas por evaporação.

Segundo Ruedell (2002), as folhas possuem uma camada de cera protetora que é mais espessa quando a umidade relativa é baixa. Os produtos fitossanitários ao serem absorvidos, muitas vezes, necessitam de transpassarem esta camada da cutícula foliar que se tornará mais fácil quando a umidade relativa do ar for mais alta. Segundo o autor, quando a umidade relativa do ar estiver alta a absorção chega a ser três vezes maior do que quando for baixa.

Na pulverização agrícola, o diluente mais utilizado é a água, que é volátil (MATTHEWS, 2000).

Para Ruedell (2002), dentre os fatores ambientais, a umidade relativa do ar é a que mais influencia a ação dos produtos fitossanitários agrícolas. Numa pulverização, as gotas necessitam percorrer uma distância em torno de 0,5 m até atingir o alvo e, neste percurso, a gota sofre grande influência dos fatores ambientais, principalmente pela umidade relativa, que tem importância decisiva no tempo de vida desta gota. Segundo o autor, dependendo da ponta e pressão, gotas menores que 100 μm (muito finas) podem compor até 30% do volume total e são estas gotas que sofrem mais com as condições meteorológicas. Assim, o autor recomenda que a pulverização seja paralisada quando a umidade relativa estiver inferior a 50%. O autor, ainda, comenta que, em condições de elevada umidade relativa, pode ocorrer o orvalho por sobre as plantas e que nestas condições a pulverização de herbicidas deve ser evitada, pois o excesso de água dilui o produto químico e pode facilitar o escorrimento.

Ao estudar as condições climáticas na deposição das gotas, Balan et

al. (2004) avaliaram a variação da deposição do volume de pulverização com pontas de jato cônico vazio, jato plano e pontas antideriva nas diferentes horas do dia em que apresentou variação da umidade e temperatura conforme apresentado na Figura 1. Os autores constataram menor deposição em torno das 15 horas, com a ponta de jato cônico, em temperatura próxima de 30°C e umidade relativa do ar próxima de 50%, condição muito favorável à evaporação. Houve variação de deposição de mais de 100 % entre os períodos de coleta, enquanto as outras duas pontas não sofreram variações expressivas, mantendo-se aproximadamente a mesma deposição. O autor atentou-se ao fato que, talvez, essa semelhança de deposição entre as pontas de jato plano e ponta antideriva pode ter sido devido à ausência de vento no dia da aplicação (BALAN et al., 2004).

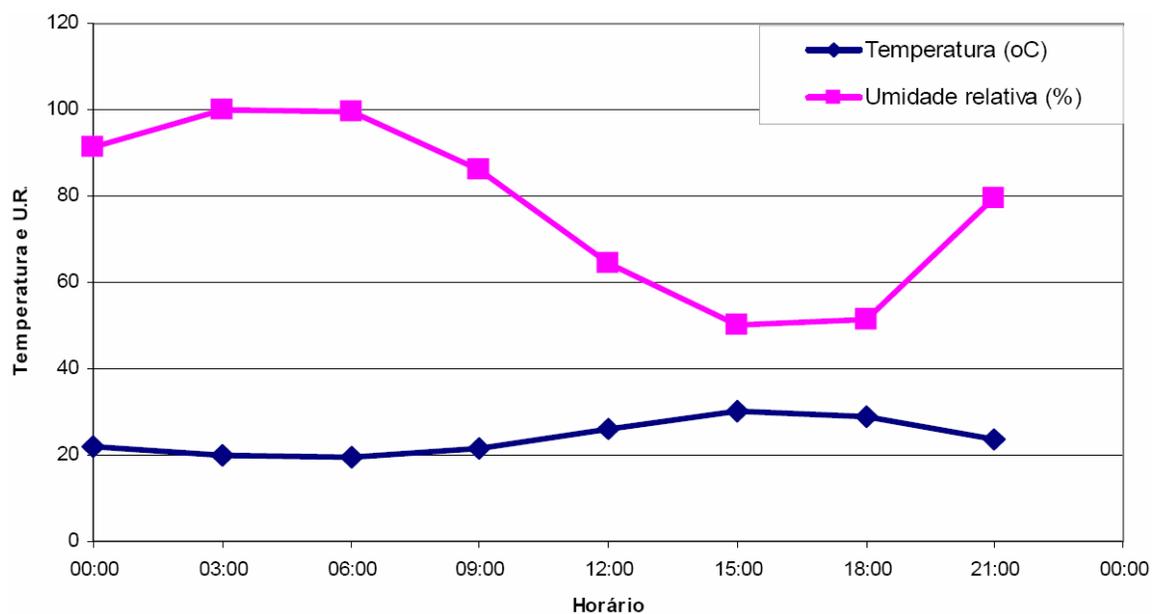


Figura 1. Temperatura e umidade relativa do ar nos respectivos horários de aplicação, realizada em 17/03/2004, na Universidade Estadual de Londrina. (Fonte: BALAN et al., 2004).

4.1.6 Bicos hidráulicos

Fraser (1958) relata que a função básica de um bico hidráulico é converter a energia contida na pressão do líquido em energia cinética, possibilitando a formação de um filme líquido que se move em alta velocidade até um determinado ponto

que se desestabiliza e forma as gotas.

Para Riley & Wiesner (1999), as características da ponta do bico hidráulico e a pressão de operação são os fatores determinantes do tamanho e da uniformidade do espectro das gotas emitidas.

Todo pulverizador possui três componentes em comum: um reservatório de calda, pressão hidráulica e um ou mais dispositivos chamados de bicos. Um bico é um dispositivo cuja função é transformar a calda em gotas. A formação da gota é obtida pela passagem da calda por um pequeno orifício da ponta de pulverização com grande energia, formando um filme líquido que se torna instável e se divide em gotas de tamanhos diversos. O filme líquido e, conseqüentemente, o tamanho da gota são influenciados pela pressão do sistema, tensão superficial do líquido, densidade, viscosidade e condições ambientais. Para a grande maioria dos bicos hidráulicos é necessária uma pressão mínima de 100 kPa para a formação do filme líquido e das gotas. Um incremento na pressão do sistema irá proporcionar um aumento do ângulo de saída do filme líquido e do volume de pulverização (MATTHEWS, 2000).

Os principais componentes de um bico hidráulico são: corpo, filtro, ponta e capa. Segundo Cunha & Teixeira (2003), denomina-se bico o conjunto de peças colocado no final do circuito hidráulico, através do qual a calda é emitida para fora da máquina. Este conjunto consiste em várias partes, sendo a ponta de pulverização a mais importante, pois regula a vazão, o tamanho das gotas e a forma do jato emitido.

Estes mesmos autores descrevem que a ponta de jato plano é o tipo mais utilizado em pulverizadores de barras, devido à sua maior uniformidade de distribuição do volume da pulverização, principalmente quando comparadas às pontas de jato cônico vazio.

Segundo Johnson & Swetnam (2006), a adequada seleção da ponta de pulverização do pulverizador é essencial para a correta aplicação do produto fitossanitário. A ponta de pulverização é o principal componente que determina a uniformidade da pulverização, o volume de pulverização e o potencial de deriva.

A grande maioria das pontas proporciona diferentes tamanhos de gotas, dependendo da pressão que é aplicada sobre a calda. Para cada modelo de ponta em cada pressão, existe uma vazão e tamanho da gota correspondente.

Cunha et al. (2004) avaliaram o espectro de tamanho de gotas em pontas de pulverização hidráulica de jato plano (standard e antideriva) e de jato cônico vazio, utilizando a técnica de difração de raios laser na faixa de pressão de 200 a 400 kPa para as pontas de jato plano, e de 400 a 600 kPa para as pontas de jato cônico vazio. O ambiente de ensaio permaneceu com temperatura menor do que 28 °C, e a umidade relativa, superior a 60%. Concluíram que as pontas de jato cônico vazio geram tamanho de gotas menores do que as pontas de jato plano. Tanto as pontas de jato plano standard como aquelas de jato cônico vazio geraram gotas com alto potencial de deriva. As pontas de jato plano antideriva dotadas de pré-orifício alteraram o espectro de tamanho das gotas pulverizadas, aumentando o diâmetro das gotas, e diminuindo a porcentagem de gotas propensas à deriva.

Scudeler et al. (2004) utilizaram um pulverizador com barra de 18 m para testar dois tipos de pontas de pulverização (jato cônico vazio JA-4 e jato plano com indução de ar AVI 11004) em dois volumes de aplicação, 400 e 600 L.ha⁻¹, na cultura da batata. Os resultados mostraram que no interior do dossel das plantas a maior penetração da pulverização foi obtida com maior volume (600 L.ha⁻¹) e menores gotas (ponta JA-4).

4.1.7 Volume de pulverização

Fraser (1958) revela que volumes de pulverização pequenos geralmente representam a utilização de gotas finas e muito finas.

Matuo (1990) recomenda que ao pulverizar volumes inferiores a 50 L.ha⁻¹, é necessário controlar a evaporação da água ou utilizar outro diluente. O autor relata que a denominação de volume alto seja dada à aplicação feita além da capacidade máxima de retenção das folhas de tal modo que haja escorrimento. Em contraposição ao volume alto, o volume ultrabaixo é aquele onde o volume mínimo é aplicado e é suficiente para se alcançar o controle, que depende das características do alvo.

Ainda, segundo Matuo (1990), uma elevada cobertura pode ser conseguida à custa de um grande volume de pulverização. Em aplicações a alto volume, geralmente, pode ser obtido um bom grau de cobertura, mesmo se empregando gotas

grandes.

De acordo com Robinson (1990), o volume de pulverização a ser adotado deve ser escolhido considerando as informações do rótulo do produto, a experiência prévia, o mínimo volume de pulverização que dará a máxima eficiência operacional do pulverizador e o alvo de aplicação em relação ao estágio de desenvolvimento da cultura.

Santos (1992) relata que um volume de pulverização muito pequeno pode proporcionar gotas muito finas que irão se perder por evaporação ou deriva, enquanto que volumes altos irão ocasionar saturação na superfície foliar e escorrimento para o solo.

De acordo com Matthews (2000), há uma tendência dos agricultores em reduzir o volume de pulverização, concordando com Southcombe & Seaman (1990). O custo da coleta e transporte da água utilizada como veículo de aplicação, é significativo, e o tempo necessário em reabastecimentos afeta diretamente a eficiência operacional da pulverização, especialmente se as condições climáticas diminuírem o período disponível para a pulverização. No entanto, há um conflito entre a otimização da qualidade da pulverização e a minimização do risco de deriva. Em algumas situações, um volume baixo é eficiente no controle e, se a vegetação é mais densa, pode-se aumentar o volume de pulverização para que um número suficiente de gotas atinja o alvo.

Cunha & Teixeira (2003) relataram que a redução do volume de pulverização somente é possível quando se dispõe de pontas de pulverização que propiciam uma distribuição e um espectro de gotas uniformes e de tamanho adequado.

4.2 Agricultura de Precisão

Agricultura de Precisão (AP) se tornou mais evidente depois do advento do Sistema de Posicionamento Global (GPS - Global Positioning System) que fornece coordenada geográfica, ou seja, localiza um ponto no globo terrestre por um sistema de coordenadas conhecidas. A AP é o gerenciamento da lavoura em porções detalhadas do terreno, levando em consideração as diferenças espaciais ocorridas tanto no solo, no que diz respeito à fertilidade, condições físicas e químicas, quanto aos ataques de

pragas, doenças, nematóides e plantas daninhas, entre outros. Portanto, tem-se um detalhamento muito maior da condução da lavoura e cada porção será tratada diferentemente e não mais pela média como é comumente realizado. Para isto, utiliza-se de vários equipamentos, entre eles um para localização no campo (GPS), ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), programas computacionais, monitores, controladores, atuadores, dentre outros.

Pereira (2002) descreveu que com o avanço da tecnologia e a crescente expansão agrícola, tem-se aumentado cada vez mais a área cultivada, sendo esta considerada homogênea ao longo da sua extensão. Mais recentemente, a pesquisa tem considerado as variações ocorridas dentro de cada unidade de cultivo, buscando maximizar a produção, em cada unidade, através do gerenciamento da cultura. Isto tem sido possível pelo avanço da informática, possibilitando o estudo da variabilidade espacial. Estas técnicas de gerenciamento da produtividade vêm sendo chamadas de agricultura de precisão (SCHUELLER, 1992; SANAEI & YULE, 1996; MOLIN, 1997 e PEREIRA, 2002).

Lowenberg-Deboer & Swinton (1995) definiram agricultura de precisão como sendo uma tecnologia aplicada à agricultura a qual permite o monitoramento e o controle eletrônico aplicado à coleta de dados, processamento de informações e suporte de decisão para alocações temporal e espacial de insumos na produção agrícola.

Searcy (2000) caracteriza a agricultura de precisão como uma filosofia de administração. Descreve que a agricultura de precisão é um conjunto de técnicas que tenta reduzir as ineficiências na produção agrícola e aumentar o retorno econômico do produtor. Cita, ainda, que ela só tem sentido, caso o produtor se empenhe em melhorar a eficiência da produção agrícola.

4.2.1 Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O GPS foi desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América na década de 70 do século passado e, nos últimos anos, vem

apresentando uma crescente aplicação em muitas áreas, entre as quais, representa uma alternativa de posicionamento para se localizar no meio agrícola. É um sistema projetado para fornecer o posicionamento instantâneo de um ponto sobre a superfície da Terra, ou próxima a ela, pois este sistema apresenta algumas fontes de erros (MOLIN, 1998). Porém, esses erros podem ser minimizados, usando técnica de correção diferencial ou por algoritmo. A correção diferencial é uma técnica que aumenta a precisão dos dados coletados com o GPS. A correção da posição pode, inclusive, ser feita em tempo real.

A concepção do sistema GPS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo a ela, tenha à sua disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados, o que permite a localização em tempo real. Além disso, o GPS pode ser utilizado sob quaisquer condições climáticas (MONICO, 2000).

A precisão final do sistema é determinada pela soma de vários tipos de erros (HURN, 1993 e HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997). Há fatores que diminuem a acurácia do GPS, gerando erros. Essas fontes de erros são inevitáveis e inerentes ao sistema. Vários autores descrevem os possíveis tipos de erros existentes nas leituras de GPS (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997; HURN, 1993; MONICO, 2000 e MOLIN, 2001) que são: erro do relógio do satélite; erro do relógio receptor; erro de órbita dos satélites; erro de refração; erro de reflexão ou multicaminhamento; erro de disponibilidade seletiva (S/A); erro de geometria dos satélites (GDOP).

Chan et al. (2004) relataram que a acurácia do DGPS é afetada por certos fatores como atraso do sinal, condições atmosféricas, sinal de GPS, qualidade do receptor GPS, condições ambientais do local e o tipo de sinal de correção diferencial.

O governo americano extinguiu a Disponibilidade Seletiva (Selective Availability – AS), ou seja, retirou a proibição de se obter a acuracidade capaz de ser proporcionada pelo GPS, diminuindo o erro em até 10 vezes, sendo esta a maior fonte de erro capaz de reduzir a acurácia dos cálculos de posicionamento dos receptores de GPS (MONICO, 2000). O DGPS ou GPS diferencial é um método largamente utilizado na correção de erros, acrescentando ao sistema um sinal adicional de um ponto referencial de uma base fixa. Os diferentes métodos de correção diferencial foram apresentados em Molin, (1998). Um dos meios de se obter sinal DGPS é via satélite de comunicação geostacionário, específico para este fim.

A correção diferencial reduz consideravelmente ou elimina as maiores fontes de erros encontradas em GPS comuns. O somatório dos erros chega a um total de 3 a 6 metros em 3 dimensões, sendo que o erro causado pela ionosfera continua sendo o maior deles. Os erros de reflexão, relógio do satélite, órbita do satélite e disponibilidade seletiva, se ativada, são praticamente eliminados.

Balastreire & Baio (2000) realizaram um ensaio para comparação entre a acurácia de posicionamento de um GPS operando com algoritmo otimizado com um DGPS utilizando o sinal de correção via satélite. O modelo do receptor GPS utilizado nos ensaios foi o AgGps 132 da Trimble, tanto para coletar dados com o algoritmo como para receber sinal DGPS da empresa Racal. Pode-se observar que o erro máximo obtido, utilizando-se do sinal de correção via satélite, foi 2,8 vezes maior que o obtido com algoritmo otimizado e que, em ambos os sistemas, o erro médio se manteve submétrico, como o esperado pelo GPS utilizado.

Balastreire et al. (2002) descrevem que o DGPS é uma ferramenta importante do sistema e que o conhecimento de suas limitações, assim como de suas potencialidades, é de extrema importância para uma melhor utilização do potencial da agricultura de precisão. Estes autores determinaram a acurácia de um DGPS, modelo AgNavigator, fabricado pela Ashtech, operando em condições dinâmicas de campo com as velocidades de 4; 6; 8; 10 e 12 km.h⁻¹, obtendo erros médios das coordenadas de 0,447; 0,528; 0,918; 1,134 e 1,130 m, respectivamente. Verificando, assim, que em velocidades menores de trabalho com GPS, o erro nas coordenadas obtidas tende a ser menor, melhorando a acurácia das operações realizadas em condições cinemáticas na agricultura de precisão.

4.3 Aplicação em taxa variada de produtos fitossanitários (VRT – Variable Rate Technology)

A aplicação em taxa variada ou aplicação localizada de produtos fitossanitários tem sido estudada nos últimos anos, em virtude principalmente do retorno econômico, por diminuir desperdícios de produtos fitossanitários, comparados à taxa

aplicada em área total, além de propiciar menor contaminação do ambiente.

Segundo Stafford & Miller (1996), as plantas daninhas não se distribuem a campo de maneira uniforme. Por isto, a aplicação localizada pode reduzir a quantidade de herbicidas aplicados, trazer benefícios econômicos e ambientais.

Os equipamentos eletrônicos de controle da pulverização têm sido amplamente empregados a campo, sendo necessário estudos científicos desses equipamentos ou partes de seus componentes para verificar sua eficiência, concordando com Figueiredo et al. (2000), Rietz et al. (1997) e Gandanha Jr. (2000), que ensaiaram equipamentos que são utilizados em agricultura de precisão e apresentaram acurácia adequada, com erro menor que 5%.

Nas aplicações de produtos fitossanitários, vários são os fatores que contribuem para aplicações de doses abaixo ou acima das desejadas, como desgaste de pontas e erros de calibração do pulverizador, entre outros (FIGUEIREDO et al., 2000); assim como o erro de leitura do fluxômetro.

Um dos mais importantes fatores que definem a eficiência de um equipamento para a aplicação localizada de produtos fitossanitários ao realizar a pulverização da dosagem correta, sobre o local desejado, é o seu tempo de resposta. O tempo de resposta pode ser definido como o período entre o comando para a troca da vazão de aplicação e sua efetiva mudança nos bicos (ANTUNIASSI, 1999).

Este período de tempo pode variar em função do ponto de injeção de produtos fitossanitários no sistema, do volume de aplicação, da densidade do produto químico, do comprimento e do diâmetro das tubulações do pulverizador e da configuração do sistema (ANTUNIASSI, 1999 e GADANHA JÚNIOR, 2000).

Em pulverização a taxas variadas, tem-se dois princípios básicos: o de aplicar ou não aplicar o produto, e o de aplicar com diferentes taxas, mudando a vazão na própria ponta ou tendo várias pontas no mesmo local da barra. Para tal, é necessário um sistema de controle que gerencia o compromisso entre vazões variadas e pressão o mais constante possível (MOLIN, 2001).

Por este sistema não é possível variar a dosagem do produto. Já os sistemas mais sofisticados permitem variações de dosagens dos produtos fitossanitários e/ou do volume aplicado. A variação de dosagens do produto fitossanitário é geralmente

realizada por sistemas de injeção direta. O princípio básico do funcionamento deste sistema está relacionado ao armazenamento do produto fitossanitário e do diluente em recipientes separados. A mistura é realizada somente no momento da aplicação, através da injeção do produto fitossanitário na tubulação que leva a calda aos bicos do pulverizador (BAIO, 2001).

No entanto, nem todos os sistemas de injeção direta de produtos químicos possuem uma interface com o sistema de posicionamento, permitindo variações automáticas de dosagens de produtos fitossanitários de acordo com o mapa de prescrição (NORDMEYER et al., 1997).

De acordo com Antuniassi (2004), a aplicação localizada de produtos químicos permite que estes possam ser aplicados com variação tanto da dose quanto do volume aplicado. A variação da dose é realizada através do uso de sistemas de injeção de produtos químicos, independentemente do volume aplicado. O princípio básico destes sistemas está relacionado ao armazenamento do produto e do diluente em recipientes separados, realizando-se a mistura somente no momento da aplicação, através da injeção do produto na tubulação que leva a calda aos bicos. Nestes equipamentos, a definição da quantidade de produto químico injetado pode ser realizada, entre outras maneiras, através do controle da rotação das bombas de injeção. Esta tecnologia permite variações na dose (litros.ha^{-1} ou kg.ha^{-1}) mantendo-se constante o volume total da aplicação.

Antuniassi (2004) ressaltou que os sistemas de injeção também evitam a degradação ambiental porque a inexistência da mistura no tanque reduz consideravelmente os riscos de contaminação do operador e do próprio ambiente, pois as operações de preparo da calda, lavagem e descontaminação do tanque são simplificadas ou eliminadas.

A VRT pode ser alcançada pela variação da pressão do sistema do pulverizador, mas isto pode comprometer a qualidade da pulverização, devido ao fato de ser utilizado somente um bico que não permite grandes variações da pressão do sistema do pulverizador. Grandes variações na pressão proporcionam grandes variações no tamanho das gotas produzidas e, conseqüentemente, no risco de deriva. Porém, esta tecnologia pode ser utilizada se houver a possibilidade da mudança da ponta de pulverização em tempo

real, permitindo a mudança do volume aplicado sem afetar o tamanho da gota (MILLER et al., 1997).

O sistema de aplicação em taxa variada, baseado no princípio da variação de volume total de calda, mantendo-se a concentração constante, pode ser realizado com múltiplos bicos (Figura 2) ou barras de pulverização, para permitir a variação do volume total aplicado, visto que a simples variação da pressão em bicos hidráulicos pode resultar numa flexibilidade de no máximo 20% do volume aplicado. Nestes sistemas, à medida que o pulverizador vai se deslocando no campo, a variação do volume aplicado é realizada pela utilização isolada ou em conjunto de bicos com diferentes vazões, o que possibilita a variação do volume total aplicado (ANTUNIASSI, 2004).



Figura 2. Aplicação em taxa variada pela vazão de múltiplos bicos.

(Fonte: RAUN et al., 2002, citado por ANTUNIASSI, 2004).

Vários pesquisadores vêm trabalhando com aplicação localizada, mostrando como esta tecnologia pode trazer retorno para o agricultor.

Segundo Stafford & Miller (1996), as plantas daninhas não se distribuem a campo de maneira uniforme. Por isto, a aplicação localizada pode reduzir a quantidade de herbicidas aplicados, gerando benefícios econômicos e ambientais.

Antuniassi (1999) avaliou a acurácia da dose aplicada, a estabilidade da dose ao longo do tempo e o tempo de respostas dos sistemas às variações da necessidade de produtos químicos em um sistema A correspondente a uma bomba de dois pistões controlada por um sistema eletrônico; um sistema B formado por uma bomba peristáltica também controlada eletronicamente e um sistema C constituído de uma bomba

monocilíndrica de acionamento hidráulico, de ajuste mecânico e sem controle eletrônico. O autor enfatiza que uma característica importante do sistema de injeção é a habilidade em se operar com produtos fitossanitários e diferentes formulações e, ainda, que sistemas para projeção de líquidos deveriam estar aptos a dosar produtos com viscosidade e densidade variada. O autor concluiu que, quanto à variação da acurácia da dose aplicada, tanto o sistema A quanto o sistema B apresentaram bons resultados, com reduzido desvio do comportamento previsto pelos fabricantes. O inverso ocorreu com o Sistema C ou seja, o sistema não apresentou acurácia. Enquanto os sistemas A e B sofreram pouca ou nenhuma influência da viscosidade da solução injetada, o sistema C mostrou-se bastante sensível, sendo incapaz de operar com a solução viscosa em algumas condições. Os sistemas A e B apresentaram faixas de doses menores do que as previstas pelos fabricantes.

Este autor concluiu, ainda, que quanto à estabilidade da dose aplicada ao longo do tempo, apesar de alguma oscilação nas vazões mais baixas, os sistemas A e B apresentaram resultados adequados, sem padrões característicos de pulsação da dose. O sistema C apresentou pulsação da dose ao longo do tempo, sendo que a amplitude e a frequência destas pulsações puderam ser relacionadas tanto com a dose de produto fitossanitário quanto com o fluxo total de calda. A análise conjunta dos resultados, de acurácia e estabilidade, revelaram que os sistemas A e B podem ser considerados adequados para o uso em sistemas onde o objetivo é a aplicação de doses constantes ao longo do tempo. Quanto ao tempo de resposta para mudanças na dose de produto, os sistemas A e B mostraram-se excessivos, sendo que ambos precisam de melhorias tecnológicas para uma utilização adequada em sistemas de aplicação localizada para agricultura de precisão.

Baio (2001) desenvolveu e avaliou metodologia para determinação do tempo de resposta a campo de um equipamento para aplicação localizada de produtos químicos montado num pulverizador automotriz; avaliou a eficiência e a economia de herbicida alcançadas pela utilização deste sistema de aplicação localizada de produtos químicos, baseado na variabilidade espacial das plantas daninhas. A metodologia avaliada para determinação do tempo de resposta do equipamento para aplicação localizada de produtos fitossanitários mostrou-se prática e rápida. O tempo de resposta do equipamento avaliado foi de 28 segundos. Foi possível a criação de um mapa de prescrição com quatro

dosagens diferentes de herbicida, baseado na variabilidade espacial das espécies de plantas daninhas mapeadas. O mapa da aplicação foi coerente com o mapa de prescrição. As plantas daninhas mapeadas foram controladas eficientemente, sendo que o sistema para aplicação localizada de produtos fitossanitários permitiu uma economia de 31,6% de herbicida, quando comparado à aplicação em área total.

Segundo Giles (1997), citado por Han et al. (2001), a variação do volume de pulverização pode ocorrer em tempo real durante uma aplicação, sem afetar significativamente o tamanho da gota, se forem utilizadas válvulas solenóides em cada bico da barra do pulverizador, tecnologia esta chamada de PWM (do inglês “Pulse-Width Modulation”). Estas válvulas permitem a abertura e o fechamento dos bicos a certa frequência, permitindo a variação da vazão dos bicos sem afetar o tamanho da gota, interferindo assim na dosagem do produto fitossanitário aplicado pela variação do volume de pulverização. Segundo os autores, esta tecnologia permite a variação da dosagem do produto fitossanitário em dez vezes.

Figueiredo et al. (2004), visando determinar tempo de resposta, trabalharam com um sistema de injeção para aplicação local de produtos fitossanitários, onde foi utilizado um pulverizador experimental com um sistema de injeção eletrônica. O sistema foi utilizado para injetar uma calda, contendo NaCl como traçante, que era avaliado por um sensor de condutividade acoplado na saída do controlador de fluxo, sendo conectado a um sistema de aquisição automática de dados. Os dados obtidos, num delineamento de parcelas subdivididas com 4 repetições, utilizando de dois níveis de vazão, dois modos de variação de dose e três faixas de trabalho, mostraram que o tempo de resposta, variando entre 10 e 24 s foram considerados satisfatórios, possibilitando o equacionamento do “look ahead” para o ajuste do sistema para aplicação de produtos fitossanitários em taxas variáveis.

Antuniassi et al. (2004b) utilizaram uma unidade completa de sistema de injeção de pulverização para determinar suas características de desempenho dinâmico para o controle do volume de calda e da dose de produto fitossanitário aplicada. Utilizando-se de bicos OC 40 (Teejet), trabalharam com vazões da calda entre 8 e 20 L.min⁻¹. Trabalhando com uma única marcha do trator, variando a rotação do motor, empreenderam velocidades entre 4 a 7 km.h⁻¹. Concluíram que as variações observadas na

vazão não foram maior do que 10% em relação às médias desejadas com relação ao controle da dose e volume da calda aplicados, indicando comportamento adequado do controlador.

Nery & Antuniassi (2004), testaram o sistema “weedseek” (sensor detector de planta daninha) e desenvolveram metodologias de avaliação de vegetação por sensores ópticos, para aplicação localizada de herbicidas. Os autores trabalharam com área foliar de 1 a 400 cm². Concluíram que o sistema “weedseek” pode ser calibrado para detectar 100% das plantas daninhas baseado em definições mínimas da infestação. O sensor pode ser avaliado ou calibrado tanto com relação à área de cobertura foliar real dos alvos quanto pela projeção da área de vegetação. Para projeção da área de vegetação, obteve-se a equação que determina o valor de ajuste da sensibilidade para a obtenção de 100% de detecção. O sensor não foi eficiente para detectar plantas daninhas baseado no volume das folhas localizadas no campo de atuação do sensor.

Nery (2003) desenvolveu um trabalho no sentido de detectar a infestação de plantas daninhas e pulverizar herbicidas em taxas variáveis em função da porcentagem de infestação, baseado em sensor óptico, concluindo que não foi capaz de identificar plantas com área foliar inferior a 5,32 cm², o que se constituiu num avanço, visto que Von Bargen et al. (1993), citado por Nery (2003), também trabalhando com sensores ópticos, não conseguiram a identificação de plantas com menos de 20 cm².

Antuniassi et al. (2004c) avaliaram um sistema de aplicação de herbicidas em taxas variáveis, através do controle eletrônico em tempo real, usando sensores ópticos para reconhecimento de vegetação em áreas florestais. Compararam este sistema de aplicação de herbicidas com sensores ópticos com dois outros sistemas, sendo um deles um sistema manual de acionamento elétrico, e outro sistema, um manual de acionamento mecânico. Eles observaram uma economia da calda da ordem de 33,6; 15,12 e 9,74 % , respectivamente entre os tratamentos utilizados.

Antuniassi et al. (2004d) trabalharam com um vagão de trem desenvolvido para aplicação em taxas variadas no controle de plantas invasoras em linha ferroviária. Conseguiram, por meio dos tratamentos aplicados, uma variação de doses que pode gerar economia de até 59% de herbicida no controle de plantas invasoras em estradas de ferro.

Lamastus-Stanford & Shaw (2004) descreveram um trabalho com o objetivo de avaliar a possibilidade de aplicação de herbicidas utilizando manejo localizado de plantas daninhas (MLPD), para reduzir os custos totais de produção quando os locais específicos da população da planta daninha são conhecidos. Os pesquisadores puderam verificar o valor potencial do MLPD sob um ponto de vista econômico, embora em certas situações o tratamento em área total pode ser tão efetivo quanto o programa MLPD. Os gastos do MLPD como a amostragem e os custos de tecnologias não foram incluídos nos cálculos de retorno líquido e, quando incluídos, reduziriam a diferença entre MLPD e métodos convencionais. Os resultados também sugerem que, enquanto a quantia total de insumos não pode ser reduzida, MLPD pode mais efetivamente manejar populações de plantas daninhas, aumentando, assim, o controle de plantas daninhas e o retorno líquido. O manejo mais efetivo traria redução na população de plantas daninhas, requerendo menos insumos numa produção futura.

4.4 Algoritmo de seleção de gotas

O uso de sistemas eletrônicos, na agricultura, com destaque para as técnicas de aplicação localizada e aplicação em taxas variáveis, utilizados na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários no contexto da agricultura de precisão, é um dos maiores desafios dos dias atuais (ANTUNIASSI et al., 2005).

Visto que muitos são os fatores envolvidos em uma pulverização, o que torna difícil a tomada de decisão quanto ao tipo de aplicação que deve ser realizada, principalmente quando se refere as técnicas de aplicação localizada e aplicação em taxas variáveis que trabalham com variações locais na aplicação. Por esta razão, Antuniassi et al. (2005), visando contribuir com a busca por tomadas de decisão, desenvolveram um programa computacional programado em C++ (Borland C++ Builder 6 Enterprise). O algoritmo deste programa seleciona o tamanho de gota e, conseqüentemente, a ponta de pulverização ideal a ser utilizada, na aplicação de produtos fitossanitários, dentre uma lista de pontas recomendadas que é oferecida ao usuário, com destaque para duas opções de tamanho de gotas, com as respectivas pontas selecionadas. Essa seleção é feita baseada nos

fatores para tomada de decisão a saber: dados climáticos, características operacionais, dados da cultura, características dos produtos químicos e tecnologia de aplicação.

Concluindo, os autores relataram que o desenvolvimento do sistema levou em consideração a possibilidade de seu uso tanto em sistemas embarcados, com entrada de dados climáticos e operacionais a partir de sensores *online*, como também da sua utilização como pacote para uso em PC, visando o planejamento prévio da operação.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório para Máquinas de Pulverização do NEMPA - Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP), Câmpus de Botucatu, localizada no município de Botucatu – SP, no período de novembro de 2004 a novembro de 2005. Os ensaios de aplicação a taxa variada de produtos fitossanitários foram realizados nas proximidades das coordenadas geográficas de 22°51’18” latitude S e 48°26’10” longitude W, ao lado do NEMPA. A área era plana e sistematizada. As atividades fizeram parte de um projeto PIPE (Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas da FAPESP, processo número 99/11662-5) em parceria com a empresa ENALTA, de São Carlos, SP.

5.1 Ensaio dos sensores

Os ensaios dos sensores de fluxo (fluxômetros) e dos sensores dos parâmetros climáticos foram efetuados no intuito de se conhecer suas características de desempenho, verificando a possibilidade de sua utilização, no protótipo a ser desenvolvido.

5.1.1 Fluxômetros

Dois fluxômetros foram avaliados: o eletromagnético e o de turbina, ambos da marca Polmac, de origem italiana. O primeiro fluxômetro (Figura 3) possui um sistema eletromagnético sem partes internas móveis, para determinar o fluxo. A sua pressão máxima de trabalho foi de 5000 kPa (725 psi), possibilitando uma capacidade de leitura de fluxo de 10 a 200 L.min⁻¹. O segundo fluxômetro foi do tipo turbina axial removível (Figura 4). A pressão máxima de trabalho também foi de 5000 kPa (725 psi), mas sua capacidade de leitura de fluxo varia de 0 a 100 L.min⁻¹. Ambos os equipamentos fornecem indicação de fluxo na forma de pulsos.



Figura 3. Fluxômetro eletromagnético.



Figura 4. Fluxômetro tipo turbina.

Os desempenhos dos fluxômetros foram avaliados com o auxílio de uma bancada de ensaio existente no laboratório do NEMPA, constituída pelos seguintes itens: controlador eletrônico de pulverização, Dickey-John (modelo CCS 100); simulador de velocidade por gerador de pulsos; sistema de pulverização com bomba de pistões Montana (modelo GAMA 83-E com vazão máxima de 80 L.min⁻¹) e um coletor de dados Micrologger CR10X (Campbell Scientific, Inc.). O coletor de dados foi utilizado para monitorar e registrar os valores de pulsos gerados pelos fluxômetros na frequência de 1 hertz (Hz).

Os ensaios de acurácia destes fluxômetros foram realizados com a aplicação de quatro soluções com diferentes densidades. A primeira correspondeu a uma solução com base em água da rede pública de abastecimento. As demais soluções foram constituídas visando obter líquidos de maior densidade (Tabela 5), preparados a partir da mistura desta água com cloreto de sódio (NaCl). As medidas das concentrações foram

realizadas com balança eletrônica, com sensibilidade de 0,01 g.

Tabela 5. Valores das densidades determinados para as diferentes soluções.

Soluções	Porcentagem de sal (%)	Massa de 1000 ml (g)	Densidade (kg.L ⁻¹)
Água com 0% sal	0	995,67	0,996
Água com 2% sal	2	1011,50	1,012
Água com 3% sal	3	1017,57	1,018
Água com 5% sal	5	1031,40	1,031

Nos ensaios foram utilizadas pontas de pulverização de jato plano descentrado da série OC (Spraying Systems Co), cuja vazão é equivalente a 10 pontas de pulverização de jato plano convencionais, simulando uma barra de aplicação em condições reais de campo. Por meio da troca das pontas OC ou da modificação dos ajustes do controlador eletrônico foram estudadas 6 vazões para cada solução (Tabela 6). As vazões foram medidas através de ensaios onde se coletou líquido, durante intervalos de tempo de 30 ou 60 segundos, com o uso de baldes na saída dos bicos OC, os quais foram pesados, calculando a vazão em litros por minuto (L.min⁻¹) considerando-se a densidade calculada de cada solução. Concomitantemente, houve a coleta de dados de pulsos gerados a cada 1 segundo, fornecidos pelos fluxômetros operando com uma das soluções (água ou água + sal), registrados no coletor de dados Micrologger CR10X. Os valores de pulsos foram avaliados pelo seu valor médio no tempo de coleta da vazão.

O controlador eletrônico utilizado nos ensaios foi configurado com os parâmetros apresentados na Tabela 6 para cada tratamento estudado.

Tabela 6. Parâmetros inseridos no controlador eletrônico e bico utilizado.

Tratamentos	Pontas	Vazões aproximadas (L.min ⁻¹)	Taxas de aplicação (L.ha ⁻¹)	Pressões do líquido do bico (kPa)	Vazão do bico (L.min ⁻¹)
1	OC 20	5	100	316	0,76
2	OC 20	10	200	316	0,76
3	OC 40	20	400	316	1,52
4	OC 80	30	600	516	3,04
5	OC 150	40	800	1516	6,7
6	OC 150	50	999	1516	6,7

O delineamento experimental consistiu da análise do número de pulsos fornecidos pelos 2 tipos de fluxômetros (eletromagnético e de turbina) em função de 4 diferentes densidades de soluções salinas (água com 0, 2, 3 e 5% de sal), em 6 níveis diferentes de vazão, com 4 repetições. De posse dos dados, foram feitas análises de regressão para cada solução salina estudada e para o conjunto total de dados, ou seja, com todos os dados ensaiados numa única regressão. As análises para verificar se as leituras dos fluxômetros eram acuradas foram obtidos pelo cálculo dos parâmetros da equação de regressão, do coeficiente de determinação e dos desvios das curvas de regressão. O fluxômetro eletromagnético não foi ensaiado de acordo com o tratamento 1 por ser recomendado pelo fabricante para que se trabalhe na vazão compreendida entre 10 a 200 L.min⁻¹.

5.1.2 Sensores de parâmetros climáticos

Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento, utilizados no sistema de controle da pulverização, que considera as condições climáticas, foram confeccionados pela empresa parceira do projeto.

O sensor de velocidade do vento foi constituído de 4 transformadores ultra-sônicos em 2 pares nos quais cada um é oposto ao outro, permitindo, a princípio, medir a velocidade do vento no plano 2D (vento na horizontal). A Figura 5 ilustra o princípio do sistema. Contudo, o sensor de velocidade do vento apresentou problemas em seu desenvolvimento e não pôde ser concluído. Assim, foram feitos apenas testes preliminares deste sensor e, os dados de velocidade do vento, nos ensaios deste trabalho, foram simulados.



Figura 5. Posicionamento dos sensores ultra-sônicos num plano cartesiano.

Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar foram alocados dentro de um abrigo climático próprio, formando um sensor termoigrômetro, constituído de uma base cilíndrica de alumínio e 6 aparadores (pratos), que são um invólucro protetor, evitando, assim, a exposição direta dos sensores à chuva, ao vento direto e aos raios solares e, também, garantindo que os mesmos recebessem adequada ventilação para permitir o equilíbrio com a atmosfera a sua volta. Na base fica o microcontrolador que faz a leitura dos sensores de parâmetros climáticos, processa o sinal, de acordo com as especificações de cada sensor e envia as informações de temperatura e umidade relativa para um programa específico. Este conjunto, neste trabalho, foi denominado simplesmente de “sistema com sensores climáticos (SSC)” o qual é mostrado na Figura 6.

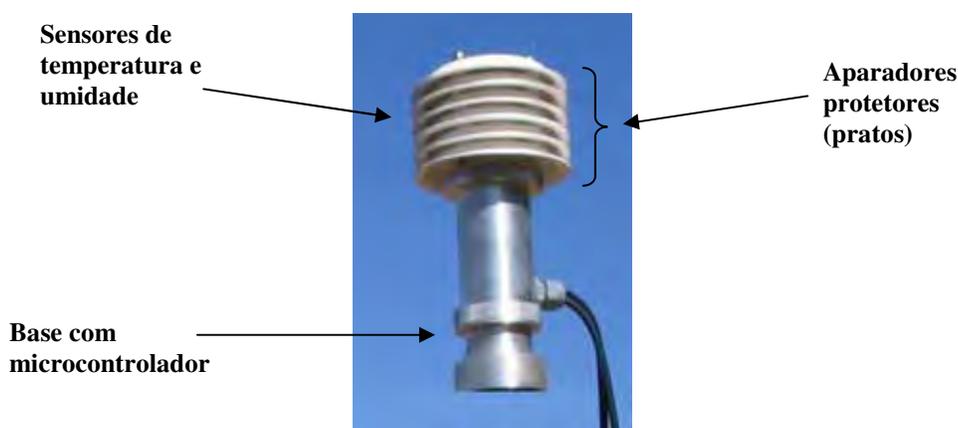


Figura 6. Abrigo dos sensores climáticos (SSC).

O SSC utilizado foi constituído pelos componentes seguintes: microcontrolador da família PIC18F258; sensor de temperatura que é o termômetro digital DS18B20 da Maxim, com sinal de saída digital da temperatura já processada, dispensando

calibração, tendo acurácia de 0,5°C para a faixa de -10°C a 85°C, com resolução de 12bits (0,0625°C); sensor de umidade HIH-3106 da Honeywell, com acurácia de $\pm 2\%$, para a faixa de operação de 0% a 100%, alta repetibilidade, sem necessidade de calibração e facilidade de obtenção do sinal de saída por ter nível de tensão já filtrado. A Figura 7a e 7b mostram, respectivamente, os sensores de temperatura e de umidade relativa do ar propriamente ditos.



Figura 7. (a) Sensor de temperatura digital DS18B20 e (b) de umidade HIH-3106.

Foram ensaiados 2 SSC, simultaneamente, nos ensaios estáticos para, posteriormente, no ensaio dinâmico serem utilizados os dados de um SSC fixo e o outro móvel, para efeito de comparação.

5.1.2.1 Ensaio estático

Os sistemas com sensores climáticos (SSCs) foram comparados com o do termômetro do NEAR (Núcleo de Estudos de Energias Alternativas e Renováveis) do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, considerado, neste trabalho, como termômetro referência .

O termômetro referência possuía sensores da Campbell Scientific, Inc., de modelo HMP45C, conectado ao coletor de dados Micrologger CR23X. O sensor de temperatura IEC 751 1/3 Classe B, faixa de medição de temperatura de -40 °C a + 60 °C. Um sensor de umidade relativa analógico capacitivo (HUMICAP® 180), com

faixa de medição da umidade relativa (UR) de 0 a 100% sem condensação, com acurácia de $\pm 2\%$ UR (UR = 0 à 90%) e $\pm 3\%$ UR (UR = 90 à 100%) (SIQUEIRA, 2005).

Os dados do termoigrômetro referência foram coletados através do programa PC208W da Campbell Scientific e, também, por processo manual, transcrevendo-se os valores lidos nos visores para planilhas do Excel. Nos dois processos, os dados foram coletados a cada 10 segundos de intervalo. O programa PC208W fornecia um valor médio a cada 5 minutos, de valores coletados a cada 10 segundos.

Os dados do SSC foram coletados por computador através do programa Hiper Terminal, a cada 10 s, com sinais transmitidos por via serial RS232. O SSC foi alimentado com tensão de 12V.

Os ensaios foram realizados em vários dias diferentes, buscando-se sempre que possível, levantar dados em horários distintos quanto às características climáticas, pela coleta de dados das 6h30 às 20h00, para que se pudesse verificar variações de temperatura e umidade relativa do ar.

A metodologia dos ensaios foi iniciar a coleta dos dados dos SSCs exatamente quando no visor do micrologger 23X do termoigrômetro referência mostrasse uma coleta dos valores de temperatura e umidade relativa do ar, que eram realizadas a cada 10 segundos.

5.1.2.2 Ensaio dinâmico

Utilizando-se dos dois sistemas SSCs calibrados no ensaio estático, foi desenvolvido um ensaio dinâmico, onde um SSC era mantido estacionário e o outro móvel, para verificar a possibilidade de se utilizar o SSC embarcado no conjunto trator pulverizador a fim de se medir dados climáticos em tempo real na pulverização.

A Figura 8 mostra como o ensaio foi realizado. O SSC estacionado foi conectado a um computador de mesa, enquanto que o SSC móvel foi colocado sobre um veículo, fixo pelo ímã contido em sua base, e conectado a um computador portátil para aquisição dos dados.



Figura 8. Ensaio do SSC em Condição Dinâmica.

O ensaio foi realizado em um dia sem vento para que não houvesse interferência de massas de ventos diferentes entre os sensores, havendo apenas o vento produzido pelo deslocamento do SSC móvel.

O SSC móvel respeitou uma trajetória de movimento próximo ao SSC estacionado, com o intuito de não sofrer influência de condições climáticas muito diferentes das condições que circundavam a estação fixa, dando maior confiabilidade aos resultados.

Foi demarcada uma distância de 50 m no campo e feita uma calibração da velocidade de deslocamento do veículo para uma aceleração fixa. O acelerador tinha dois estágios em que o veículo ficava mais estável e propiciava um deslocamento de 11 km.h^{-1} e outro de 20 km.h^{-1} . Esta velocidade superior, que não é indicada para este tipo de pulverizador, foi colocada em prática no intuito de validar se o sensor oscilaria suas leituras quando da passagem de massas de vento, ou, ainda, simulando um vento de 9 km.h^{-1} para um deslocamento do trator de 11 km.h^{-1} .

Assim como nos ensaios estáticos, os tempos dos dois SSCs foram sincronizados para posterior comparação na mesma base de tempo. Os SSCs eram ligados simultaneamente (anotando a hora) e se deslocava com o veículo até atingir a velocidade desejada para a partir daí se começar a ter dados válidos, ou seja, desprezava-se os

primeiros dados colhidos, pela anotação da hora em que efetivamente estes interessavam.

Os dados foram coletados sempre que o veículo se deslocava do sentido Norte-Sul e Sul-Norte, buscando se passar sempre no mesmo caminhamento. Foi demarcado, no campo, o caminhamento a ser realizado pelo veículo, indicando o local onde deveria ser feita a convergência para que meia volta do percurso a 11 km.h^{-1} levasse 20 segundos. A distância percorrida pelo veículo foi o perímetro de uma área retangular de 50 m por 10 metros. Em sendo assim, a distância máxima que um SSC ficava do outro, era aproximadamente de 26 m, que é metade da diagonal deste retângulo. Para o ensaio a 20 km.h^{-1} , a cada passada no sentido N-S e S-N eram anotadas a hora para que se pudesse comparar os dados de temperatura e a umidade relativa do ar no momento destas passadas, uma vez que o relógio estava sincronizado com o ligamento dos SSCs.

5.1.2.3 Análise dos dados

Os dados dos sensores climáticos foram processados e comparados estatisticamente pelo intervalo de confiança (IC = 95%), tanto entre os SSCs e o termoigrômetro referência nos ensaios estáticos, quanto entre os próprios SSCs no ensaio dinâmico.

5.2 Seleção das pontas utilizadas nos ensaios

Para os ensaios de laboratório e de campo foram utilizados dois conjuntos de pontas. Um para os ensaios com o sistema de pulverização baseado em condições climáticas, selecionados para aplicação de diferentes tamanhos de gotas, mantendo-se a mesma vazão e, o outro conjunto selecionado, para os ensaios com sistema de pulverização baseado em VRT em laboratório e campo, selecionados para produzir diferentes vazões, dentro de um mesmo tamanho de gota, em uma mesma pressão de trabalho.

Para facilidade na condução dos ensaios, as pontas foram chamadas de ponta 1, ponta 2 e ponta 3, de acordo com a sua posição no bico (Figura 9).

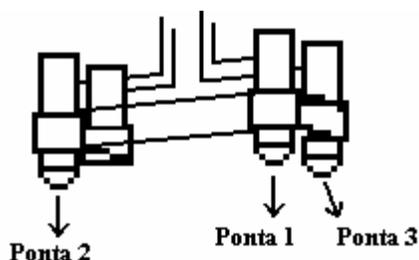


Figura 9. Disposição das pontas 1,2 e 3 no bico.

O primeiro conjunto foi selecionado de maneira a possibilitar a aplicação de diferentes tamanhos de gotas. Neste caso, a taxa aplicada precisou ser sempre igual, porque a pulverização foi adequada unicamente às condições climáticas, evitando-se deriva do produto pela seleção de ponta que gerava gotas de maior tamanho.

Na Tabela 7 são apresentadas as pontas, da marca Teejet, utilizadas nos ensaios, que produzem diferentes tamanhos de gotas, mantendo a mesma vazão.

Tabela 7. Pontas utilizadas nos ensaios de variação das condições climáticas.

Posição	Ponta (modelo)	Pressão (kPa)	Classe de tamanho de gotas (ASAE-572S)
Ponta 1	TJ 11002	350	muito fina
Ponta 2	XR 11002	350	fina
Ponta 3	TT 11002	350	média

Na seleção das pontas de pulverização para os ensaios de aplicação em taxa variada (VRT) buscou-se variar a taxa aplicada unicamente pela utilização de diferentes tipos de ponta, evitando que fossem necessários ajustes nas pressões do sistema, uma vez que já é conhecido que mudanças nos sistemas com controladores eletrônicos possuem um tempo de atraso de resposta (GADANHA JR. 2000). Foi utilizada uma única ponta por bico em cada taxa de aplicação.

O conjunto de pontas para VRT foi escolhido de maneira que fornecessem gotas médias, em uma mesma pressão, e assim fosse mais fácil sua análise e visualização, além de permitir que os ensaios de campo pudessem ser realizados em horários mais amplos, durante o dia, em condições climáticas ideais de aplicação. Para isto, foram utilizadas as informações do catálogo da Teejet, no qual a pressão encontrada foi de 200 kPa (Figura 10), para as pontas XR 1103, XR 11004 e XR 11005. Com esta pressão e

pela Equação 3, calculou-se as taxas de aplicação, uma vez que a velocidade de deslocamento determinada foi de 7 km.h⁻¹. Os cálculos apresentam os resultados de como se chegou aos valores das taxas e a Figura 10 mostra as classes do tamanho de gota e vazão da ponta segundo catálogo do fabricante da ponta utilizada.

$$Ta = \frac{Q \times 60.000}{V \times E} \quad (3)$$

onde:

Ta = taxa aplicada, em L.ha⁻¹;

Q = vazão por bico, em L.min⁻¹;

V = velocidade de deslocamento, em km.h⁻¹;

E = espaçamento entre os bicos, em cm.

$$XR\ 11003 \Rightarrow Ta = (0,96 \times 60.000) / (7 \times 75) = 109\ L.ha^{-1}$$

$$XR\ 11004 \Rightarrow Ta = (1,29 \times 60.000) / (7 \times 75) = 147\ L.ha^{-1}$$

$$XR\ 11005 \Rightarrow Ta = (1,61 \times 60.000) / (7 \times 75) = 184\ L.ha^{-1}$$

TeeJet [®] Informações sobre Tamanho de gota: XR TeeJet [®] (XR)							
bar	bar						
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
XR8001	M	F	F	F	F	F	F
XR80015	M	M	M	F	F	F	F
XR8002	M	M	M	M	M	F	F
XR8003	M	M	M	M	M	M	M
XR8004	C	C	C	M	M	M	M
XR8005	C	C	C	C	C	M	M
XR8006	C	C	C	C	C	C	C
XR8008	VC	C	C	C	C	C	C
XR11001	F	F	F	VF	VF	VF	VF
XR110015	F	F	F	F	F	VF	VF
XR11002	M	F	F	F	F	F	F
XR11003	M	M	M	F	F	F	F
XR11004	M	M	M	M	F	F	F
XR11005	M	M	M	M	M	M	F
XR11006	C	M	M	M	M	M	M
XR11008	C	C	M	M	M	M	M

(bar)		bar	l/min
UB(1.5-4) AI(2-8) DG(2-4) TJ60(2-4) TP(2-4) TT(1-6) XR(1-4) AIUB(2-8)	D25143-UB-8503 (DG, TJ60, TP, XR) 8003 (AI, DG, TJ60, TP, TT, XR) 11003 AIUB8503 [50] TJ60 [100]	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0	0.88 0.96 1.18 1.36 1.62 1.67 1.80 1.93
UB(1.5-4) AI(2-8) DG(2-4) TJ60(2-4) TP(2-4) TT(1-6) XR(1-4) TTJ(1.5-5) AIUB(2-8) TF(0.7-3)	D25143-UB-8504 (DG, TJ60, TP, XR) 8004 (AI, DG, TJ60, TP, TT, XR) 11004 AIUB8504 1/4TTJ04 TF-2 [50]	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0	0.81 1.29 1.58 1.82 2.04 2.23 2.41 2.58
AI(2-8) DG(2-4) TP(2-4) TT(1-6) XR(1-4) TTJ(1.5-5) TF(0.7-3)	(DG, TP, XR) 8005 (AI, DG, TP, TT, XR) 11005 1/4TTJ05 TF-2.5 [50]	1.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0	1.14 1.61 1.97 2.27 2.54 2.79 3.01 3.22

Figura 10. Gota média para as 3 pontas na pressão de 200 kPa (2 bar) e as respectivas vazões em L.min⁻¹ (Fonte: TEEJET, 2001).

A Tabela 8 apresenta as pontas utilizadas no ensaio de VRT, da marca Teejet, e as respectivas taxas utilizadas.

Tabela 8. Pontas utilizadas nos ensaios de aplicação em taxa variada (VRT).

Posição	Ponta (modelo)	Pressão (kPa)	Classe de tamanho de gotas (ASAE-572S)	Taxa aplicada (L.ha ⁻¹)
Ponta 1	XR 11003	200	Média	109
Ponta 2	XR 11004	200	Média	147
Ponta 3	XR 11005	200	Média	184

Observa-se pela Tabela 8, em que posição ficou localizada cada uma das pontas nos ensaio de VRT, uma vez que a ponta 1, ponta 2 e ponta 3, tiveram anteriormente, pré-definidas, suas posições no bico.

Na Figura 11, são apresentadas as distribuições das pontas tanto para os ensaios com variação das condições climáticas como os ensaios de VRT.

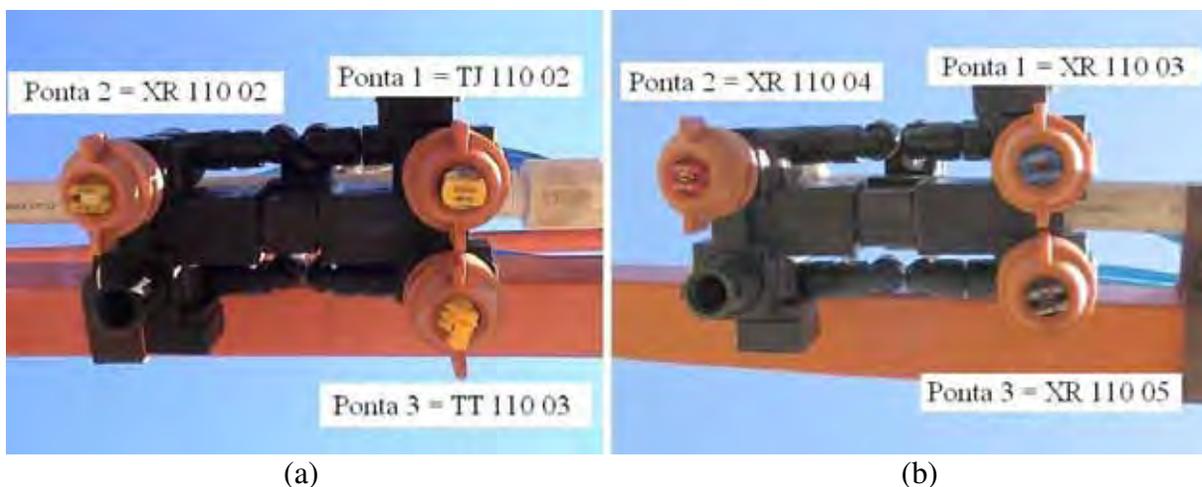


Figura 11. Disposição das pontas no bico conforme sua posição (a) para variação dos fatores climáticos e (b) para aplicação a taxa variada (VRT).

5.3 Proposição do algoritmo de controle do sistema

Foram projetados dois algoritmos distintos: um sistema de pulverização baseado em condições climáticas em que as pontas de pulverização eram

comutadas para fornecer diferentes tamanhos de gotas, em função dos valores de temperatura e umidade relativa do ar, determinados com o uso de sensores, no momento da aplicação, denominado de “algoritmo climático”; e outro sistema de pulverização baseado em aplicação à taxa variada em que a comutação era realizada para fornecer diferentes vazões, em função dos valores de volumes pré-estabelecidos, lidos em mapas de prescrição com o auxílio de GPS, denominado “algoritmo VRT”. Ambos os sistemas utilizaram-se do mesmo protótipo de pulverizador projetado, mudando-se apenas os programas computacionais e o uso do SSC no caso do sistema baseado em condições climáticas.

5.3.1 Algoritmo baseado em condições climáticas

Este algoritmo foi desenvolvido para realizar leituras da temperatura e umidade relativa do ar, no local da aplicação de produtos químicos, em tempo real e, através de atuadores do sistema comutador de pontas, adequar, automaticamente, o tamanho de gotas às condições climáticas no momento da pulverização.

Para testar a viabilidade de se embarcar estas tecnologias no conjunto trator-pulverizador, um protótipo foi projetado com o programa de seleção de gotas proposto por Antuniassi et al. (2005), processado por um computador portátil *laptop*. Inseriu-se este programa no algoritmo climático, desenvolvido em linguagem C++ (Borland C++ Builder 6 Enterprise) em ambiente Windows. O programa desenvolvido recebe as informações do SSC em tempo real, lê a velocidade do vento (simulada), processa no algoritmo de seleção de gotas que indica qual classe de tamanho de gota deve ser aplicado e, conseqüentemente, a ponta indicada, conforme descrito em (ANTUNIASSI et al., 2005). Selecionada a ponta, o algoritmo climático envia ou não, conforme necessidade de troca de ponta, um sinal para a placa controladora do sistema comutador de pontas que, por sua vez, aciona os atuadores para realizarem a comutação das pontas nos bicos (pontas de diferentes classes de tamanho de gotas) para a manutenção da qualidade da aplicação.

A placa controladora do sistema comutador de pontas faz a interface entre o programa computacional no *laptop* e os atuadores pneumáticos que acionam a comutação das pontas.

A velocidade do vento foi simulada, introduzindo-se um valor diretamente no algoritmo climático, visto que o desenvolvimento do sensor de velocidade até a data dos ensaios ainda não havia atingido um nível de acurácia desejado das leituras, conforme já relatado. Foi simulada uma velocidade de 4 km.h^{-1} , por ser um valor que não limita a utilização de nenhum tamanho de gota dentro do algoritmo; assim, as variações ocorreram exclusivamente devido a temperatura e umidade relativa do ar.

O algoritmo para seleção do melhor tamanho de gota de pulverização determina a gota ideal, com base em dados fornecidos de características do alvo, do produto a ser aplicado e das características operacionais, e ainda restringe a utilização da gota selecionada, conforme as limitações dos fatores climáticos de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento; isto é, se houver uma situação onde a gota ideal indicada pelo algoritmo tenha sido a gota muito fina, e a gota fina seja a alternativa, e, durante a aplicação, as condições climáticas não forem mais apropriadas para a aplicação da gota muito fina, automaticamente é enviado um comando para comutar para a gota fina. Mas se as condições não forem mais favoráveis nem à gota fina, o algoritmo indica ao operador que deve ser interrompida a aplicação. Portanto, as condições climáticas orientam, caso possa, naquele momento, ser aplicada a gota ideal, conforme fora selecionada pelo algoritmo, devido às características já descritas. É admissível como gota alternativa sempre uma classe acima da gota ideal; no caso de muito fina, apenas a gota fina pode ser alternativa; já no caso de fina, apenas a gota média.

O algoritmo não interrompe a aplicação no caso da condição climática não ser admissível para nenhuma das duas classes de tamanho de gotas selecionadas. O que o algoritmo faz é avisar ao operador ao qual cabe a decisão se interrompe ou não a aplicação.

Os valores arbitrados como limites para os fatores climáticos, inseridos no algoritmo de gotas, para a decisão de seleção de pontas, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Valores arbitrados como limites de fatores climáticos para cada classe de tamanho de gota, inseridos no algoritmo de gotas, para seleção da ponta adequada para a aplicação.

Tipo gotas	Temperaturas (°C)	Umidades (%)	Vento (m.s ⁻¹)
Muito fina	≤ 25	≥ 70	> 3 ≤ 12
Fina	≤ 28	≥ 60	> 3 ≤ 12
Média	≤ 32	≥ 50	≤ 12
Grossa	≤ 32	≥ 50	≤ 12
Muito Grossa	≤ 32	≥ 50	≤ 12

Como pode ser observado na Tabela 9, as restrições climáticas são as mesmas para os tamanhos de gotas média, grossa e muito grossa, indicando que há sentido em se utilizar esta tecnologia de comutação de pontas para adequação aos fatores climáticos, somente quando se aplica gotas muito finas, finas ou médias, para que não haja excesso de deriva.

5.3.2 Algoritmo baseado em aplicação à taxa variada (VRT)

No sistema de aplicação em taxa variada (VRT – Variable Rate Technology), um receptor GPS envia as coordenadas geográficas em tempo real para o programa computacional “Algoritmo VRT” no *laptop*, que as compara com os valores do arquivo em protocolo xml (que possui armazenado os dados das coordenadas geográficas e taxas de aplicação do mapa de recomendação), seleciona qual taxa deve ser aplicada naquele local, e envia esta informação ao controlador de pulverização, que teve seu programa adaptado para ler a taxa e selecionar a ponta a ser usada, informando à placa controladora de comutação, que aciona os atuadores para comutar as pontas, quando necessário.

O programa computacional do algoritmo VRT foi desenvolvido em ambiente *linux* e processa os dados do arquivo com extensão “.xml”. Os valores de coordenadas deste arquivo são adquiridos do programa Sistemas de Informação Geográfica Enalta (SIG-Enalta) onde são processados os dados levantados com GPS em campo, dos limites da área onde é feita a aplicação de cada taxa selecionada.

O Algoritmo VRT foi programado para aplicar a maior vazão dentre as utilizadas em locais não mapeados ou para quando houvesse perda do sinal de recepção do GPS, evitando que, em aplicação real de campo, fique alguma área sem controle por alguma falha de sinal ou levantamento errôneo do mapa de infestação.

5.4 Descrição do controlador eletrônico de pulverização

Foi utilizado o controlador eletrônico de pulverização da marca Enalta, que tem como principal função adequar a vazão aplicada em função da variação de velocidade do pulverizador. Este possui uma tela principal, que serve para visualizar as variáveis que estão sendo controladas pelo controlador, e três módulos básicos de configuração dos fatores para calibração da pulverização (Configuração de Aplicação, Seleção de Memória e Configuração Avançada).

A descrição das configurações do controlador de pulverização, ao término dos ensaios, está apresentada nas Tabelas 1 e 2 do Apêndice 1.

A Figura 12 apresenta o controlador eletrônico, marca ENALTA, modelo ECP 401.



Figura 12. Controlador eletrônico de pulverização, no módulo Tela Principal, marca ENALTA, modelo ECP 401.

5.5 Montagem do protótipo

Para comutar o tipo de ponta do bico de pulverização, conforme a necessidade de se variar o tamanho de gotas ou o volume aplicado, foi projetado e desenvolvido um sistema pneumático de comutação de pontas que faz parte de um protótipo de pulverizador (Figura 13).

O protótipo foi desenvolvido interligando-se sensores a um *laptop* e a um controlador eletrônico de pulverização. Os programas computacionais utilizados foram especificamente desenvolvidos para processarem dados e controlarem, concomitantemente, as necessidades de troca de ponta dos bicos tanto para os diferentes tamanhos de gotas como para a taxa de pulverização aplicada.

Estes processadores (*laptop* e controlador eletrônico), ligados diretamente a um sistema pneumático, enviam o comando para os mecanismos pneumáticos acionarem a troca de ponta dos bicos. O sistema hidráulico do protótipo ajusta as taxas aplicadas, pelo controlador eletrônico de pulverização ENALTA, projetado e desenvolvido na fase anterior deste projeto PIPE.

O bico comutador de pontas utilizado, neste projeto, implicou na necessidade do desenvolvimento de um sistema pneumático que pudesse suprir as exigências de pressões necessárias para comutar, simultaneamente, os treze bicos do pulverizador proposto. O objetivo era que o sistema pneumático fosse independente, podendo o pulverizador ser tracionado por qualquer trator com tomada de potência (TDP).

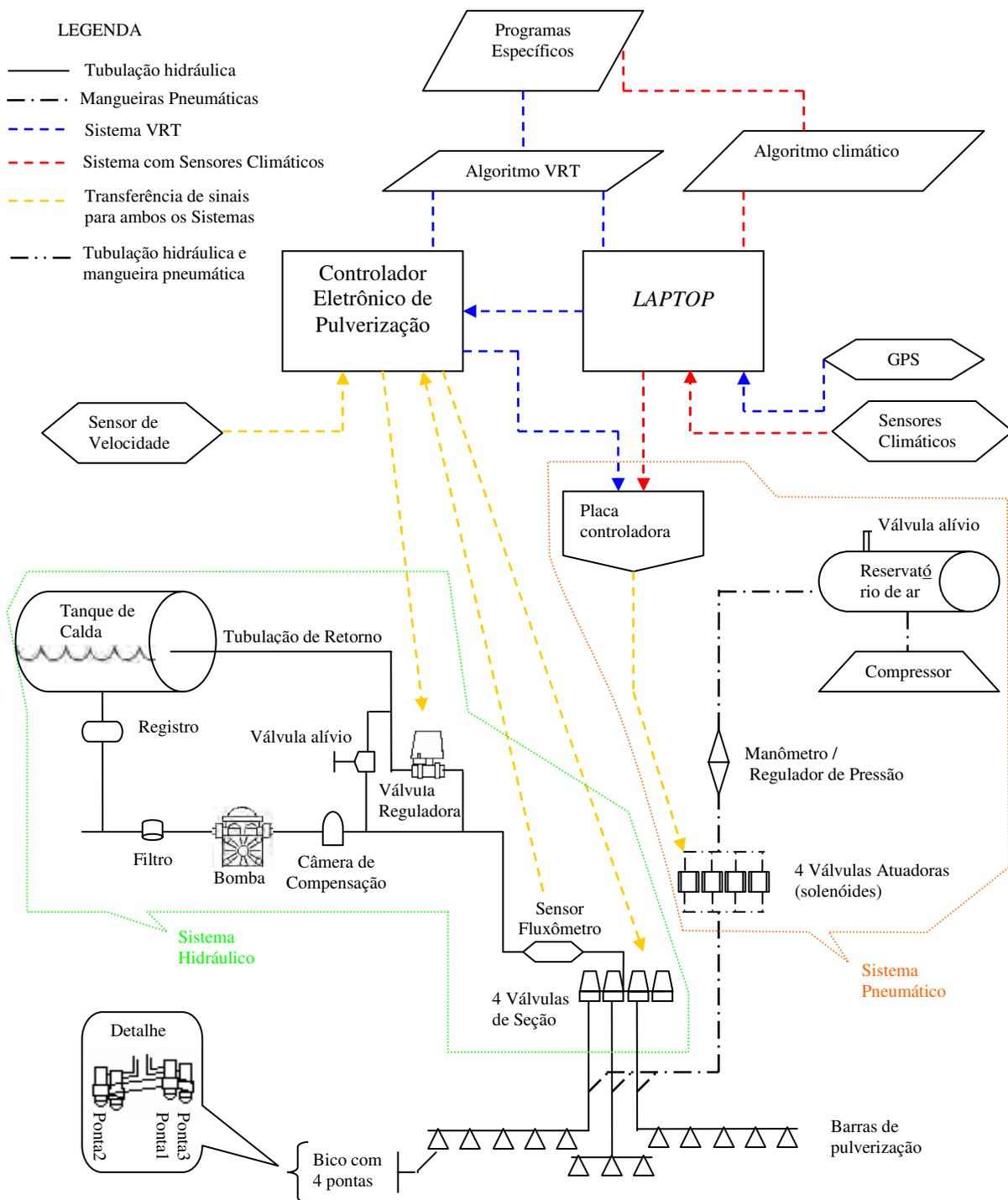


Figura 13. Esquema do projeto de montagem do protótipo. Sistema hidráulico: tanque, registro, filtro, bomba, câmara de compensação, válvula de alívio, válvula reguladora na linha de retorno, fluxômetro de turbina, válvulas de seção sem retorno regulável, bicos (VarioSelect). Sistema pneumático: placa controladora, compressor, reservatório de ar, válvula de alívio, manômetro regulável e filtro, válvulas solenóides ou atuadores, mangueiras pneumáticas, bico comutador VarioSelect. Sistema elétrico eletrônico: programas computacionais de VRT e algoritmo climático, controlador eletrônico de pulverização, *laptop*, SSC, placa controladora do sistema de comutação de pontas, atuadores pneumáticos, fluxômetro e sensor de velocidade.

O protótipo foi montado utilizando-se a estrutura, o tanque, o filtro, a bomba hidráulica, a câmara de compensação e as barras de um pulverizador Condor, modelo S12/75. Na parte traseira do pulverizador foi adaptado um suporte, em forma de grade, para montagem de componentes, os quais podem ser verificados na Figura 14.

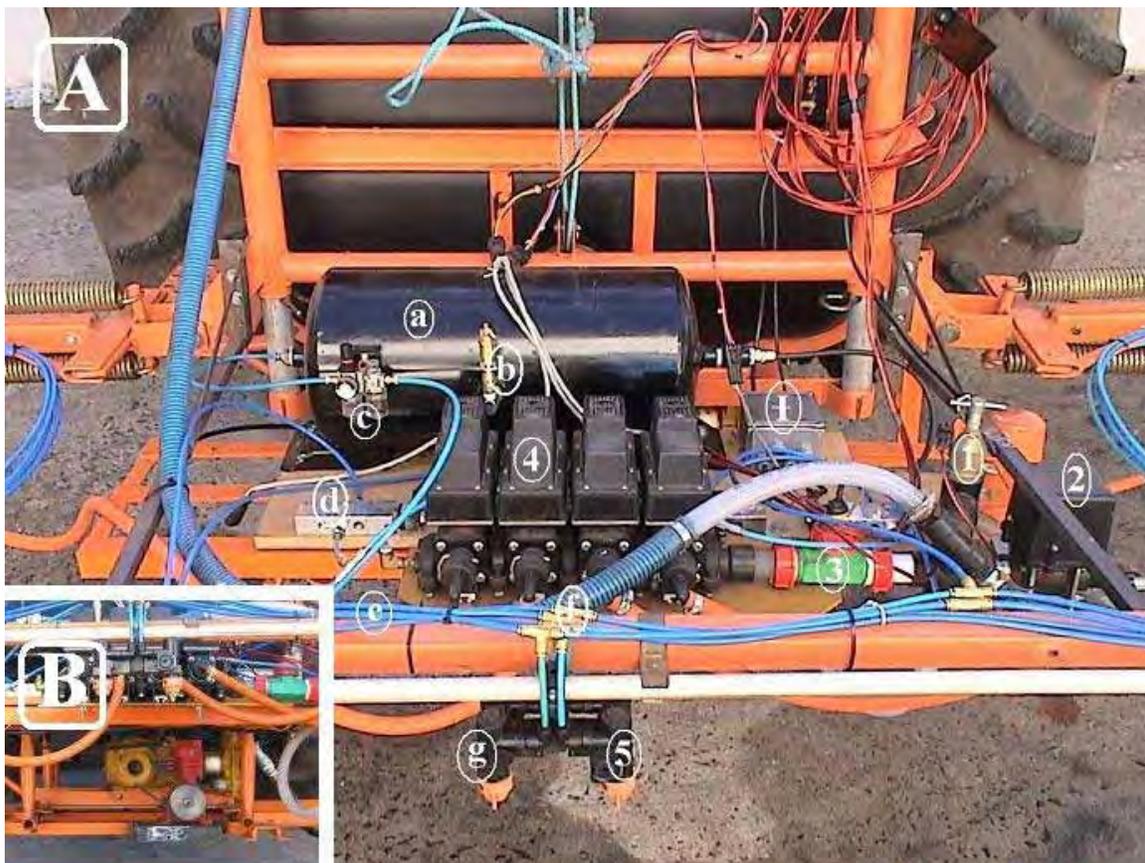


Figura 14. [A] Composição final do protótipo com seus principais componentes. Sistema hidráulico: (1) válvula de alívio; (2) válvula reguladora na linha de retorno; (3) fluxômetro de turbina; (4) válvula de seção sem retorno regulável; (5) bicos (Vario Select). Sistema pneumático: (a) reservatório 40 L; (b) válvula de alívio; (c) manômetro regulável e filtro; (d) válvula solenóide ou atuadores; (e) mangueiras pneumáticas de 1/4'; (f) T de distribuição; (g) bico comutador Vario Select; (I) placa controladora da comutação. [B] destaque do posicionamento do compressor no protótipo.

5.5.1 Sistema hidráulico

O sistema hidráulico foi constituído de tanque, filtro, bomba hidráulica, câmara de compensação, válvula de alívio, mangueira de retorno, válvula

reguladora na linha de retorno, fluxômetro de turbina, válvula de seção de 2 vias (ou seja, sem retorno regulável), mangueiras e 13 bicos comutadores. A bomba hidráulica era do modelo JP-75, com vazão de $75 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, pressão máxima de 3432 kPa ($35 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$) e rotação de 540 rpm . A válvula reguladora utilizada foi da Spray System – Teejet, 344AE-2RL, com pressão máxima de 2000 kPa , que trabalhou com tensão de 12 V . A válvula de seção foi da marca Teejet, modelo 460ZC Directoalve, que trabalhou com pressão máxima de 2000 kPa e alimentação e sinal de comando com tensão também de 12 V .

5.5.2 Sistema pneumático

O sistema pneumático desenvolvido neste trabalho foi constituído de um compressor, um reservatório de ar de 30 L , manômetro de leitura da pressão, válvula mecânica de alívio, 4 válvulas solenóide (atuadores), mangueira pneumática de $6,35 \text{ mm}$ ($1/4''$) de diâmetro para pressão máxima de $689,48 \text{ kPa}$ (100 psi), os conectores T de emendas das mangueiras e os bicos comutadores VarioSelect, mostrados na Figura 15.

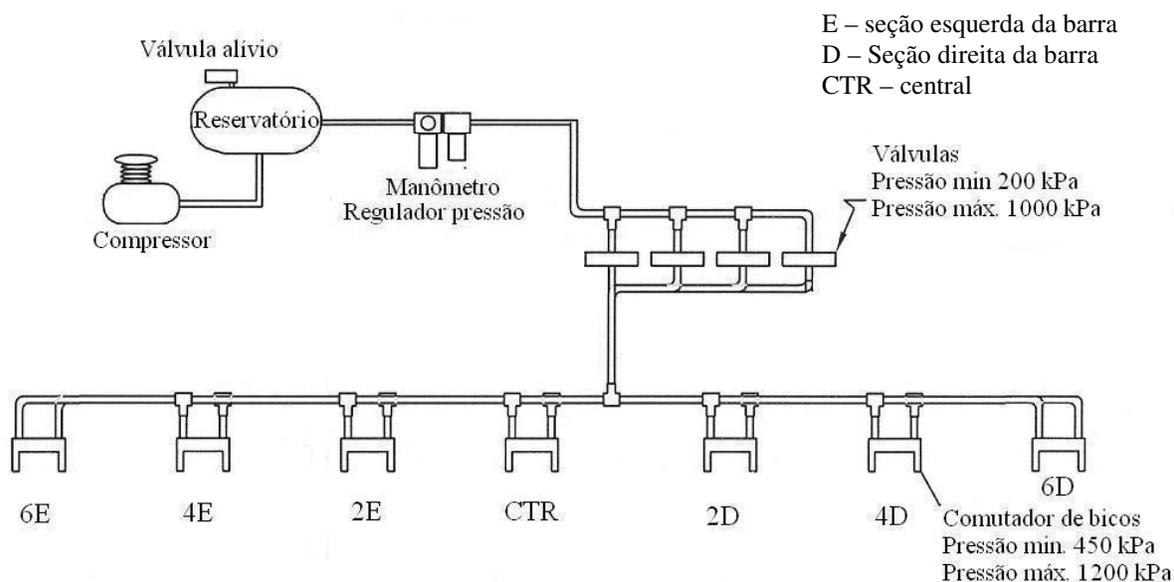


Figura 15. Sistema pneumático do protótipo, mostrando seus componentes descritos na própria figura, inclusive os bicos que foram ensaiados, não ilustrando os demais bicos.

A válvula de alívio mecânico serve para manter uma determinada pressão máxima no sistema, abrindo quando a pressão interna do reservatório superar a pressão da mola que a sustenta fechada, preservando assim a pressão do sistema constante, haja vista que o compressor é acionado pela tomada de potência (TDP) do trator, mantendo-se funcionando enquanto o pulverizador estiver acionado pela TDP. A válvula de alívio foi regulada para manter a pressão a 650 kPa no sistema.

As válvulas solenóides da marca Thermoval, modelo VS-22.051.24.01.16.087-19.01.34.44, trabalharam a pressão mínima de 200 kPa, pressão máxima de 1000 kPa, potência de 19 W e foram alimentadas com tensão de 12V fornecida por uma bateria. O bico, VarioSelect da marca LECHLER (Alemã), disponibiliza o uso de 4 pontas em um único bico, podendo usar uma ponta por vez ou duas a duas, conforme a necessidade. De acordo com o fabricante, possui, como principais características, tempo de acionamento de 0,1 segundo, pressão mínima exigida de 450 kPa para manter as válvulas abertas, pressão máxima de 1200 kPa, tensão de acionamento de 12 V, vazão máxima de 10 L.min⁻¹ para conexão de 12,7 mm (1/2”), não precisa de manutenção especial e, principalmente, evita pico de pressão no momento da comutação das pontas. A Figura 16 mostra um exemplo deste bico.



Figura 16. Bico pneumático comutador de pontas VarioSelect, da marca Lechler.

5.5.3 Sistema elétrico e eletrônico

Os sistemas elétrico e eletrônico foram constituídos com os seguintes componentes: o controlador eletrônico de pulverização, o SSC (apenas para o

sistema de pulverização baseado em condições climáticas), o GPS (apenas para o sistema VRT) o fluxômetro, o sensor de velocidade, os programas computacionais desenvolvidos para utilização no sistema de comutação de pontas, um *laptop* e a placa eletrônica controladora do sistema de comutação das pontas que faz a interface entre o programa computacional no *laptop* e os atuadores pneumáticos que acionam a comutação das pontas. Portanto, foram realizados dois sistemas, um que considera as condições climáticas e comuta as pontas conforme necessidade do tamanho de gotas definidas pelo algoritmo de gotas (ANTUNIASSI et al., 2005), e outro, para aplicação em taxa variada, baseado em mapas de prescrição pré-definidos.

5.6 Ensaios do protótipo

Os ensaios do protótipo tiveram duas fases distintas, a de laboratório e a de campo. O levantamento de dados do sistema de pulverização, baseado em condições climáticas, foi realizado totalmente no laboratório; já o levantamento de dados para o estudo do sistema de pulverização, baseado em aplicação à taxa variada, foi feito tanto no laboratório quanto a campo.

Como o tempo de resposta das comutações das pontas dos bicos, variável experimental, é pequeno (inferior a 1 s), optou-se pela utilização de recursos de videografia, isto é, uso de câmera de vídeo e placa de captura de imagens, para determinação dos tempos de resposta, desde o recebimento do sinal para comutação, a abertura do leque de uma ponta e o fechamento do leque da outra e a sobreposição, entre outros.

Foi utilizada uma filmadora de vídeo digital 8 mm, da marca Sony, modelo TRV351 para captura das imagens.

O filme foi transferido para o computador, capturado e editado no programa Pinnacle Studio, versão 9.1.2, que permite a visualização da imagem quadro a quadro do filme. No formato NTSC, o filme gravou 30 quadros por segundo. Portanto, cada quadro equivale a um tempo de 0,03 segundos ou 3,33 centésimos de segundo ($s \cdot 10^{-2}$), ou, $3,33 s \cdot 10^{-2} \cdot \text{quadro}^{-1}$. Assim, multiplicando-se o número de quadros

por 3,33 centésimos de segundo, obtém-se o tempo de resposta procurado.

Para facilitar a determinação do momento da comutação das válvulas solenóides, nos ensaios dos tempos de resposta, foi montado um painel com três lâmpadas de cores diferentes denominado, neste trabalho, de “painel de luz”. Cada uma das lâmpadas foi ligada a uma válvula solenóide através de um fio com, aproximadamente, 7 m de comprimento, acendendo com a abertura da sua respectiva válvula e apagando com o seu fechamento.

Este painel de luz foi instalado ao lado do bico ensaiado e a luz branca ficou associada à ponta 1; a vermelha, à ponta 2 e a laranja, à ponta 3, conforme ilustrado na Figura 17.

Foi utilizado um trator SCL John Deere, modelo 6600, por ser o disponível no NEMPA, com rotação do motor a 2100 rpm, para fornecer 540 rpm na TDP para o pulverizador, com pressão média do sistema pneumático do protótipo entre 600 e 650 kPa, sendo que era necessário pressão de no mínimo 450 kPa para comutação das pontas nos bicos. O espaçamento entre bicos do pulverizador foi de 75 cm.

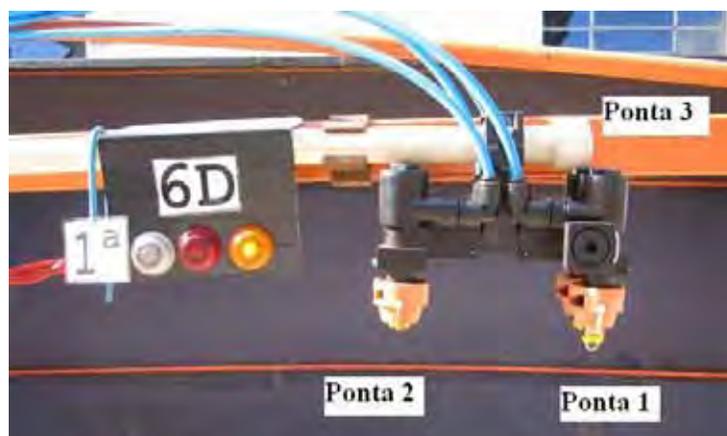


Figura 17. Painel de luz para mostrar o momento exato de acionamento das válvulas solenóides para comparação com os acionamentos das pontas do bico. Este exemplo é referente à primeira repetição do bico seis da barra direita do pulverizador.

Os ensaios foram realizados tanto com o trator em movimento quanto estacionário. Quando em movimento, a marcha utilizada foi a 1C, propiciando velocidade constante de deslocamento do trator de 7 km.h^{-1} .

5.6.1 Laboratório

Para realização das medidas de tempo de resposta da comutação das pontas dos bicos, quando variavam as condições climáticas, foram utilizadas taxa de aplicação de 100 L.ha^{-1} e velocidade simulada de 7 km.h^{-1} , no controlador eletrônico.

5.6.1.1 Determinação do tempo de resposta para sistema baseado nas condições climáticas

A determinação do tempo de resposta para sistema baseado nas condições climáticas foi dividida em dois ensaios distintos: o primeiro, determinou o tempo de resposta do algoritmo climático (*software*); e o segundo, determinou o tempo de resposta da comutação de pontas.

a) Tempo de resposta do processamento do algoritmo climático

Este ensaio foi realizado simulando-se uma pulverização que necessitasse de diferentes classes de tamanhos de gotas, de acordo com as exigências quanto às condições climáticas. Foram fornecidos ao algoritmo de seleção de gotas parâmetros de tipos de alvo e produto fitossanitário, condições operacionais e condições climáticas para seleção dos diferentes tamanhos de gotas desejados, apresentados na Tabela 10.

O painel de luz foi colocado próximo à tela do *laptop* para medida do tempo de resposta, obtido pelo intervalo de tempo decorrido desde a atualização na tela do *laptop* dos valores da temperatura e da umidade relativa do ar, enviados pelo SSC, que determinavam a mudança da ponta selecionada (também mostrada no *laptop*), até o acendimento da lâmpada no painel de luz mostrando que houve acionamento dos atuadores

para comutação das pontas. Este tempo foi calculado por meio da contagem do número de quadros transcorridos pelo método da videografia.

Os valores do SSC, enviados ao algoritmo climático no *laptop* a cada 5 segundos, eram resultados de médias móveis de 6 valores, de um intervalo de 30 segundos.

Tabela 10. Parâmetros simulados no algoritmo de seleção de tamanho de gotas para obtenção dos tamanhos de gotas desejados.

Parâmetros	Gota muito fina	Gota fina	Gota média	Gota grossa	Gota muito grossa
Alvo	Cultura	Cultura	Cultura	Solo	Solo
Porte	Alto	Alto	Baixo	-	-
Estádio	Tardio	Tardio	Inicial	-	-
Posição	Média / inferior	Média / inferior	Média / inferior	-	-
Produto fitossanitário	Fungicida / acaricida	Fungicida / acaricida	Fungicida / acaricida	Herbicida	Herbicida
Modo de ação	Contato	Sistêmico	Sistêmico	Pré	Pré
Volume pulverização	100 L.ha ⁻¹				
Necessidade cobertura	Maior	Menor	Menor	Menor	Menor
Uso de adjuvante	Sem surfatante	Sem surfatante	Com surfatante	Com surfatante	Com surfatante
Tipo barra	Comum	Comum	Comum	Comum	Comum
Velocidade vento efetiva/o no ensaio	4 km.h ⁻¹	4 km.h ⁻¹	4 km.h ⁻¹		
Velocidade vento	4 km.h ⁻¹	5 km.h ⁻¹	8 km.h ⁻¹	8 km.h ⁻¹	11 km.h ⁻¹
Temperatura simulada	30 °C				
Umidade simulada	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %

As variações na temperatura e umidade relativa do ar foram conseguidas através do aquecimento e umedecimento do meio em que o SSC se encontrava, utilizando-se para isto de um secador de cabelo e da névoa gerada pelo próprio pulverizador. O valor de velocidade do vento foi simulado no programa a 4 km.h⁻¹.

A Figura 18 mostra a tela do *laptop* com o painel de luz, as informações climáticas e a ponta selecionada.

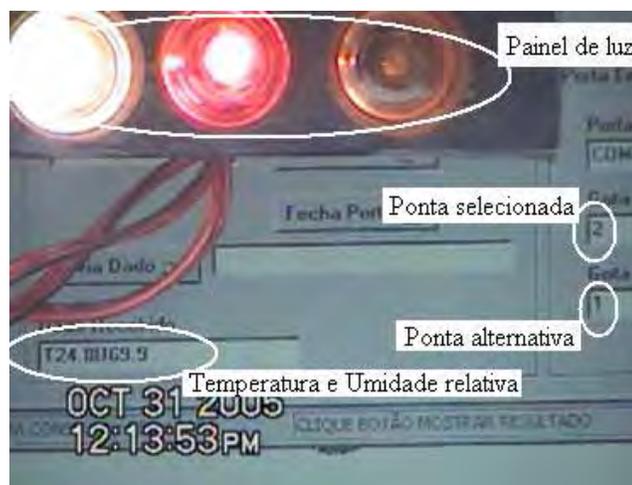


Figura 18. Painel de luz e tela do *laptop* com dados climáticos e ponta selecionada.

b) Tempo de resposta da comutação de pontas dos bicos

Para realização dos ensaios dos componentes do tempo de resposta, o algoritmo climático recebia informações de variação das condições climáticas diretamente pelo teclado do *laptop*. Quando se teclava o número 1, era como se o SSC estivesse enviando sinal de temperatura e umidade relativa tal que fosse necessária a aplicação de uma gota muito fina, produzida pela ponta localizada na posição 1 do bico. Quando se teclava o número 2, informava-se a necessidade de uma gota fina, produzida pela ponta localizada na posição 2 e, o número 3, a necessidade de uma gota média, produzida pela ponta localizada na posição 3.

A simulação de diferentes condições climáticas, através da digitação dos números no teclado, que proporciona a necessidade de variação da ponta, foi feita numa seqüência lógica pré-definida de forma que se obteve todas as possíveis combinações de comutações entre as 3 pontas estudadas de cada bico, mudando a aplicação de uma ponta para outra. Este ensaio foi filmado posicionando-se a câmera sempre perpendicular ao leque e de frente para o painel de luz.

A seqüência de comutação de pontas foi sempre acionada numa mesma ordem para os bicos ensaiados, simulando uma mudança do tamanho de gota aplicado. Esta seqüência se deu com os seguintes tamanhos de gotas: gota muito fina (MF),

gota fina (F) e gota média (M); e se obedeceu sempre à seqüência: MF-F, F-M, M-MF, MF-M, M-F, F-MF^{*}; ou pela numeração das pontas: 1-2, 2-3, 3-1, 1-3, 3-2, 2-1, respectivamente.

Foram feitos levantamentos de dados dos bicos pares 6, 4 e 2 tanto da barra do lado esquerdo quanto da barra do lado direito do pulverizador (6D, 4D, 2D, 6E, 4E e 2E) e, ainda, do bico central (CTR). Para cada bico foram feitas 3 repetições, obedecendo-se à seqüência descrita no parágrafo anterior.

Para facilidade das análises, foi padronizado que o leque em processo de abertura fosse denominado de leque B, e o leque em processo de fechamento, de leque A.

O processamento da imagem foi feito acionando-se o filme quadro a quadro durante o intervalo de tempo em que as pontas comutavam. Foi adotado, como instante inicial de referência para a determinação deste intervalo de tempo, o acendimento da lâmpada no painel de luz indicando para comutar para a ponta B e, como instante final, a abertura total do leque B. Nestes dois pontos de referência, foram anotados o número dos respectivos quadros; assim, o total de quadro; durante a comutação, foi calculado pela diferença entre ambos. O intervalo de tempo foi obtido pelo cálculo do número de quadros existentes, durante o intervalo de comutação, vezes 3,33 centésimos de segundos.

Este mesmo processo de determinação do intervalo de tempo foi utilizado para cada um dos componentes de tempo de resposta, identificando os respectivos instantes iniciais e instantes finais de referência.

A Figura 19 mostra um exemplo do momento da comutação onde o leque B encontrava-se completamente aberto, enquanto que o leque A estava em processo de fechamento. Neste caso houve sobreposição da aplicação, o que é positivo, pois não houve falha, o que prejudicaria o controle fitossanitário.

* Onde “-” significa “comutar para”



Figura 19. Momento da Comutação entre as pontas.

5.6.1.2 Tempo de resposta para comutação de pontas para o algoritmo baseado na aplicação VRT

Os ensaios de laboratório para validação do sistema de comutação das pontas dos bicos pneumáticos para aplicação em taxa variada seguiram os mesmos passos do ensaio de comutação de ponta para condições climáticas, tendo como única diferença o tipo de pontas que eram colocadas nos bicos. Estas pontas selecionadas foram as apresentadas na Tabela 8.

Foram feitos levantamentos de dados dos bicos 6 e 2 para a barra do lado direito do pulverizador (6D e 2D), com 3 repetições em cada bico.

5.6.1.3 Determinação dos valores componentes do tempo de resposta

Os dados extraídos dos ensaios de videografia em laboratório foram processados em planilha eletrônica Excel, e a diferença entre os intervalos de tempo de acionamentos entre os atuadores de comutação abrir ou fechar, e os leques estarem abertos ou fechados, forneceram vários componentes, a saber:

- 1 Instante do comando (luz do painel) - tempo em que o comando é acionado para comutar de ponta, ou também, podendo ser considerado o acionamento para abrir o novo leque B;
- 2 tempo de sobreposição do algoritmo - intervalo de tempo desde o acionamento para abrir o novo leque B até o comando para fechar o leque A anterior;
- 3 tempo de resposta de início de abertura do leque B - intervalo de tempo desde quando recebe o comando até o início de abertura do leque B;
- 4 tempo de resposta do final da abertura do leque B - intervalo de tempo desde quando recebe o comando até efetivamente abrir o leque B;
- 5 tempo de resposta do início do fechamento do leque A - intervalo de tempo desde quando recebe o comando de abrir o leque B até o início de fechamento do leque A;
- 6 tempo de resposta do final do fechamento do leque A - intervalo de tempo desde quando recebe o comando de abrir o leque B até o final de fechamento do leque A;
- 7 tempo de sobreposição - intervalo de tempo decorrido com os dois leques efetivamente abertos (5 - 4);
- 8 tempo de resposta do sistema – é igual ao tempo de resposta do final do fechamento do leque A, considerado como o tempo de resposta do sistema para comutar de ponta (6 - 1).

A partir destes componentes, foi avaliada a acurácia do protótipo, principalmente quanto ao tempo de resposta e sobreposição.

5.6.2 Ensaio de campo

O período experimental a campo foi entre os dias 1 e 07 de setembro de 2005.

5.6.2.1 Aferição da velocidade de deslocamento do trator

Foi feita uma avaliação da velocidade de deslocamento do trator, medida pelo controlador eletrônico, que é calculada através do sensor magnético colocado próximo aos parafusos fixadores da roda do trator.

O ensaio do sensor de velocidade do controlador eletrônico de pulverização foi feito pela comparação entre a velocidade mostrada no monitor e a velocidade calculada quando se percorria uma distância de 100 m, marcando-se o tempo com um cronômetro digital, que possui uma sensibilidade de centésimos de segundo. Foram realizadas pelo menos 3 medidas em cada marcha ensaiada com velocidades constantes. Outra vantagem desta medida da velocidade de deslocamento foi a de se verificar a real velocidade desenvolvida pelo trator em cada marcha, uma vez que é conhecido que os manuais de velocidade de deslocamento dos tratores, fornecidos pelas fábricas, apresentam valores que são aproximados.

5.6.2.2 Tempo de resposta do sistema VRT a campo

Os ensaios em VRT foram feitos com a utilização de mapas de recomendação da pulverização, com três diferentes taxas. Para levantamento deste mapa e durante todo ensaio de campo foi utilizado o sistema de localização DGPS composto pelo receptor GPS Trimble, modelo AgGPS 132, e uma antena com correção diferencial com o sinal fornecido pela OmniStar.

Para se evitar erros elevados de posicionamento com o uso de GPS, foi feito um planejamento de missão para a data da realização do ensaio, o qual está apresentado no apêndice 2. O planejamento de missão fornece dados da qualidade do sinal do GPS, como número de satélites disponíveis, geometria de distribuição dos satélites (PDOP), entre outros.

Foram realizados dois ensaios distintos em campo: o primeiro se utilizou do painel de luz fixo na ponta da barra de pulverização, para visualização do momento da comutação de pontas no campo; o segundo, foi realizado com corante na

calda do tanque e fita de papel colocada diretamente no chão.

A variação a taxa aplicada era feita pelas pontas de diferentes vazões apresentadas na Tabela 8. Foi utilizada uma única ponta de pulverização por bico em cada taxa aplicada.

A acurácia do tempo de resposta em VRT a campo, mensurada pelo primeiro ensaio, deu-se com a seguinte seqüência:

- a) utilizando-se de uma trena, foi demarcada uma área de 90×18 m, no alinhamento Norte-Sul, estaqueando-se os vértices. Dividiu-se esta área em três subáreas de aproximadamente 30 m de comprimento, para receberem diferentes taxas de vazão;
- b) com o programa Field Rover II, no *laptop*, de levantamento de coordenadas geográficas, através das leituras do GPS, foi criado o mapa de limite da área, baseado nas estacas previamente demarcadas em campo, da área limítrofe do ensaio (estacas 1, 2, 3 e 4 da Figura 20);
- c) com base no mapa de limite importado pelo SIG-Enalta, foi criado o mapa de recomendação, determinando-se as subáreas de cada taxa de aplicação.
- d) para o levantamento dos dados e facilitação do alinhamento do conjunto trator pulverizador e GPS, durante a passagem entre subáreas, foram colocadas estacas nos limites das subáreas e fitas no chão entre estas estacas, perpendicular à direção de caminhamento do trator, delimitando-se onde efetivamente deveria haver as trocas das taxas de pulverização aplicadas;
- e) a mudança de taxa aplicada ocorria quando o conjunto trator-pulverizador, munido do sistema VRT e GPS, começava a pulverização com dada vazão, pré-determinada no mapa de recomendação para a referida subárea, e mudava de vazão, pela comutação de pontas, quando ultrapassava a linha limítrofe, divisória, entre as subáreas, na qual constava outra vazão no mapa de recomendação;

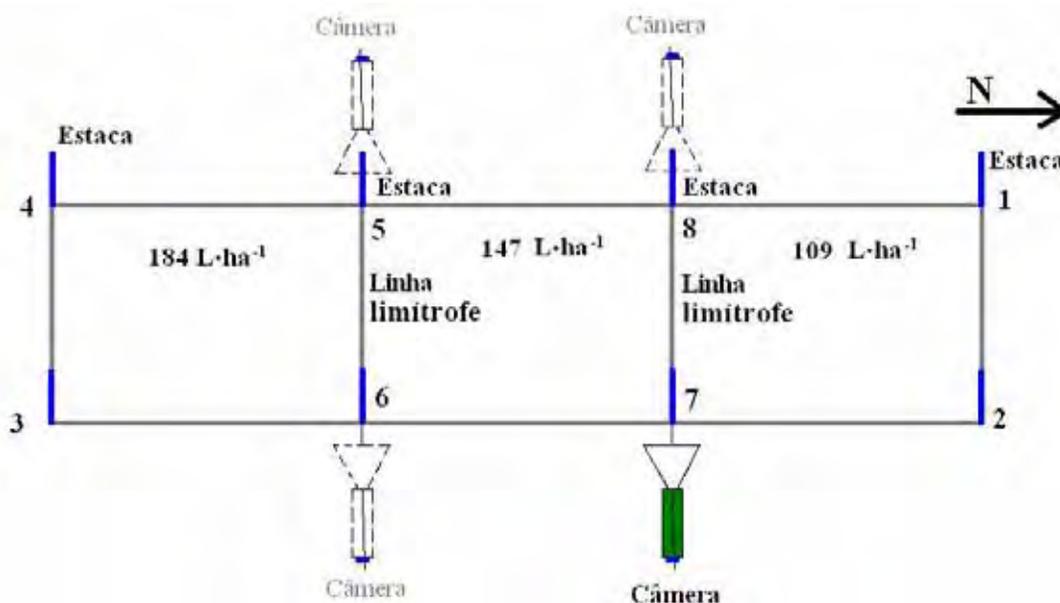


Figura 20. Posicionamento da câmera na estaca 7 e demonstração dos outros 3 pontos onde foi instalada a câmera, em alinhamento com as estacas que estão no alinhamento de divisa entre as subáreas de diferentes taxas de aplicação.

- f) foram feitos levantamentos com mudanças de taxas em dois sentidos, Norte-Sul (N-S) e Sul-Norte (S-N), com decréscimo e acréscimo da taxa aplicada, respectivamente;
- g) uma câmera filmadora foi alocada no tripé com seu eixo sempre na direção da linha divisória entre duas subáreas, conforme mostrado no esquema da Figura 20;
- h) foi filmado o pulverizador no instante em que passava pelos limites das subáreas de mudança da taxa aplicada, para se detectar o intervalo de tempo entre o instante da passagem pela linha limítrofe e o da comutação de ponta do bico, que coincidia com o acendimento de uma das lâmpadas no painel de luz;
- i) foram feitas 5 repetições de cada mudança de taxa de aplicação;
- j) o filme foi transferido para o computador e processado com recurso de videografia, já descrito anteriormente;
- k) o tempo de mudança de taxa e a distância percorrida foram analisados com base no número de quadros lidos no filme entre o instante em que o GPS,

instalado no pulverizador, passava pelas estacas de divisa das subáreas e o instante da comutação das lâmpadas do painel de luz. O tempo foi conseguido diretamente pelo cálculo do número de quadros vezes 0,03 segundos. O erro de distância da comutação foi conseguido por cálculo, uma vez que o tempo de deslocamento do trator foi constante, de 7 km.h⁻¹, proporcionando 0,065 m.quadro⁻¹.

As taxas aplicadas, utilizando-se do mesmo tamanho de gota, foram de 109 L.ha⁻¹, 147 L.ha⁻¹ e 184 L.ha⁻¹ (com suas posições mostradas na Figura 20), simulando uma aplicação em local com menor ou maior grau de intensidade de infestação do agente a ser controlado.

Portanto, procurou-se determinar qual foi o tempo de resposta do sistema para se mudar a taxa aplicada, considerando todos os fatores de tempo envolvidos, tendo como principais os do erro do GPS e do tempo de comutação das pontas.

No segundo ensaio, os subitens de **(a)** a **(e)** foram os mesmos do primeiro ensaio. Foram avaliados os tempos de sobreposição das taxas aplicadas através de corante azul na calda pulverizada sobre fita de papel branco, esticada no chão, a partir da estaca limitadora das subáreas, alinhada no sentido de caminhamento do trator S-N. A importância deste ensaio, é que o mesmo avalia a taxa aplicada quando a gota efetivamente atinge o alvo e não quando houve a comutação de taxa de pulverização, mostrada pelo acendimento da lâmpada no painel de luz. O corante utilizado foi o FD&C 1 (azul), dosado visualmente até que a calda estivesse azulada.

O ensaio consistiu em medir na fita de papel, com auxílio de uma trena, a distância a partir da estaca de divisa de subáreas, onde havia efetivamente a mudança de taxa e a sobreposição ocorrida pelos dois bicos estarem simultaneamente abertos. Esta análise foi feita pela observação visual do corante azul na fita de papel branca. Portanto, as medidas com a trena foram realizadas entre a estaca de divisa de subáreas e os pontos marcados no papel pelo observador em que se iniciava e terminava a sobreposição dos jatos pulverizados.

Realizou-se um único levantamento para cada mudança de taxa para esta metodologia com a fita de papel.

5.6.3 Análise dos dados

Ensaio de laboratório

Os dados do tempo de resposta da comutação dos sistemas foram calculados pela média dos valores levantados das 3 repetições. Estes tiveram seus valores de intervalos de tempo médios comparados estatisticamente pelo intervalo de confiança (IC = 95%), em seus limites mínimos e máximos.

Ensaio de Campo

Os dados do tempo de resposta e distância percorrida das 5 repetições ensaiadas foram analisados pelo valor médio e pelo intervalo de confiança, em seus limites mínimos e máximos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Ensaio dos sensores

6.1.1 Fluxômetros

Os dados coletados para cálculo da vazão e número de pulsos lidos pelos fluxômetros e suas respectivas análises estatísticas encontram-se no Apêndice 3.

Os resultados estatísticos dos ensaios dos fluxômetros, para o estudo do número de pulsos em função da vazão, mostraram que não houve grandes variações dos dados, apresentando pequeno desvio-padrão e baixo coeficiente de variação. Nas análises dos dados, de todas as soluções, o valor de F da regressão linear foi altamente significativo, motivo pelo qual foram calculadas as equações de regressão.

Foram calculados os desvios máximos e mínimos das curvas de regressão para as soluções salinas estudadas, com um intervalo de confiança de 95% (Figura 21 e Figura 22).

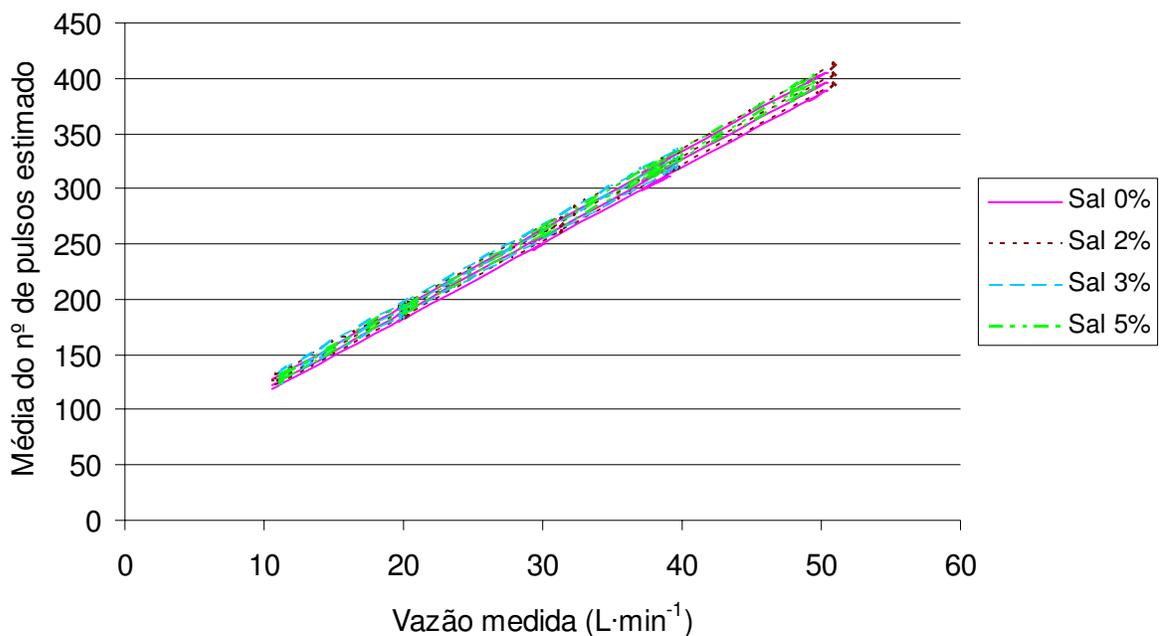


Figura 21. Valores máximos e mínimos de desvios da curva de regressão, da vazão em função do pulso, para as 4 concentrações de soluções salinas estudadas para o fluxômetro eletromagnético.

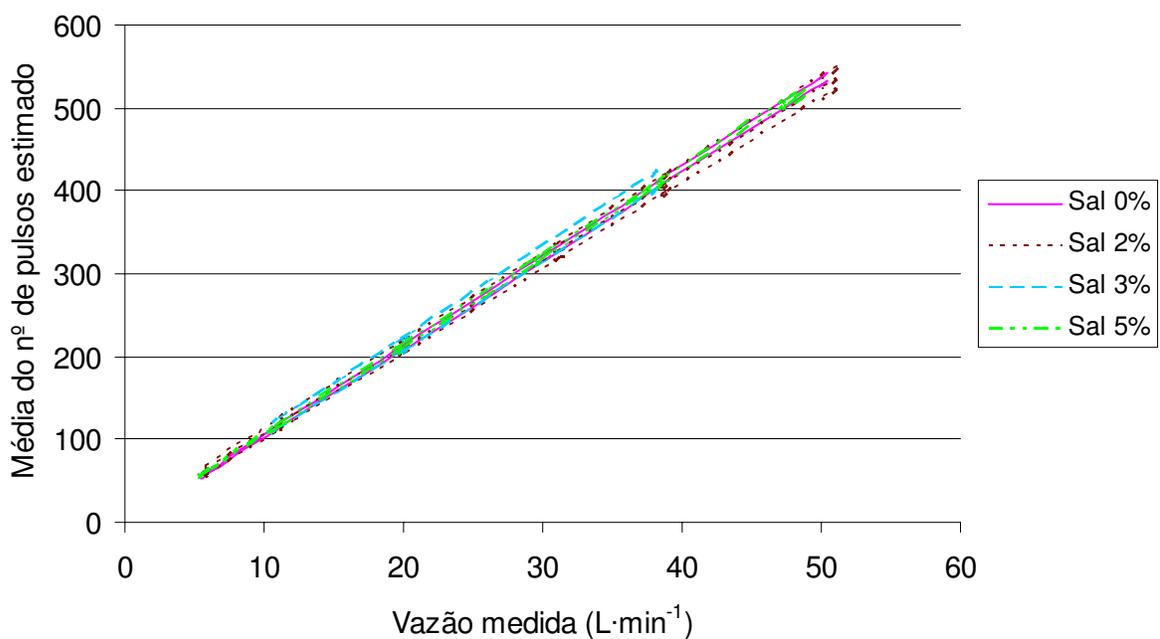


Figura 22. Valores máximos e mínimos de desvios da curva de regressão, da vazão em função do pulso, para as 4 concentrações de soluções salinas estudadas para o fluxômetro de turbina.

Todas as regressões das soluções ficaram dentro dos limites dos desvios máximos e mínimos das demais soluções, mostrando não haver influência da densidade na leitura de ambos fluxômetros.

Este fato indica que pode ser utilizada uma única equação de regressão linear com todas as soluções ensaiadas, conforme apresentado na Tabela 11, para estimar o valor de número de pulsos ou vazão.

Tabela 11. Equação de regressão do número de pulsos dos fluxômetros em função da vazão em $L.m^{-1}$ para as diferentes soluções estudadas.

Soluções	Turbina		Eletromagnético	
	Equações ($y = n^{\circ}$ pulsos)	R^2	Equações ($y = n^{\circ}$ pulsos)	R^2
Água com 0% sal	$y = 10,726x - 3,1782$	0,9998	$y = 6,8759x + 50,621$	0,9991
Água com 2% sal	$y = 10,452x + 2,1247$	0,9989	$y = 6,9159x + 51,954$	0,9991
Água com 3% sal	$y = 10,834x - 2,0807$	0,9997	$y = 6,9383x + 52,007$	0,9996
Água com 5% sal	$y = 10,764x - 1,4841$	0,9996	$y = 7,0178x + 49,955$	0,9996
Todas densidades	$y = 10,648x - 0,5696$	0,9991	$y = 6,9308x + 51,166$	0,999

Os gráficos das Figura 23 e Figura 24 mostram as regressões de vazões *versus* número de pulsos para todas as soluções estudadas, mostrando que não houve diferença visual significativa entre as leituras de vazão das diferentes densidades quando analisados em cada fluxômetros.

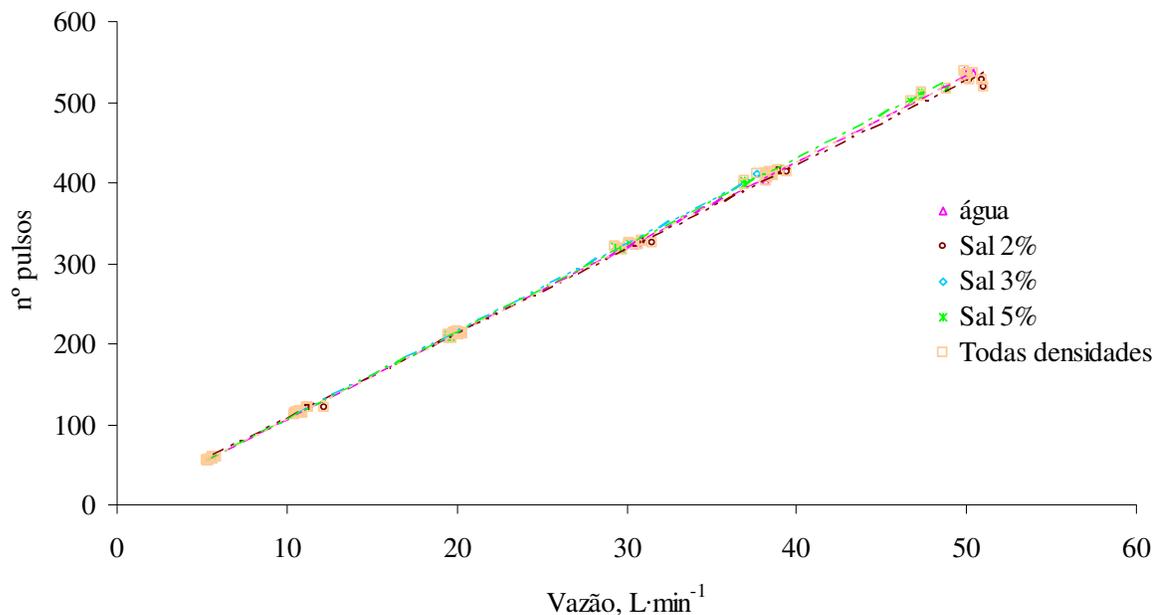


Figura 23. Regressão dos valores dos n° de pulsos emitidos pelo fluxômetro de turbina em função da vazão nas diferentes densidades.

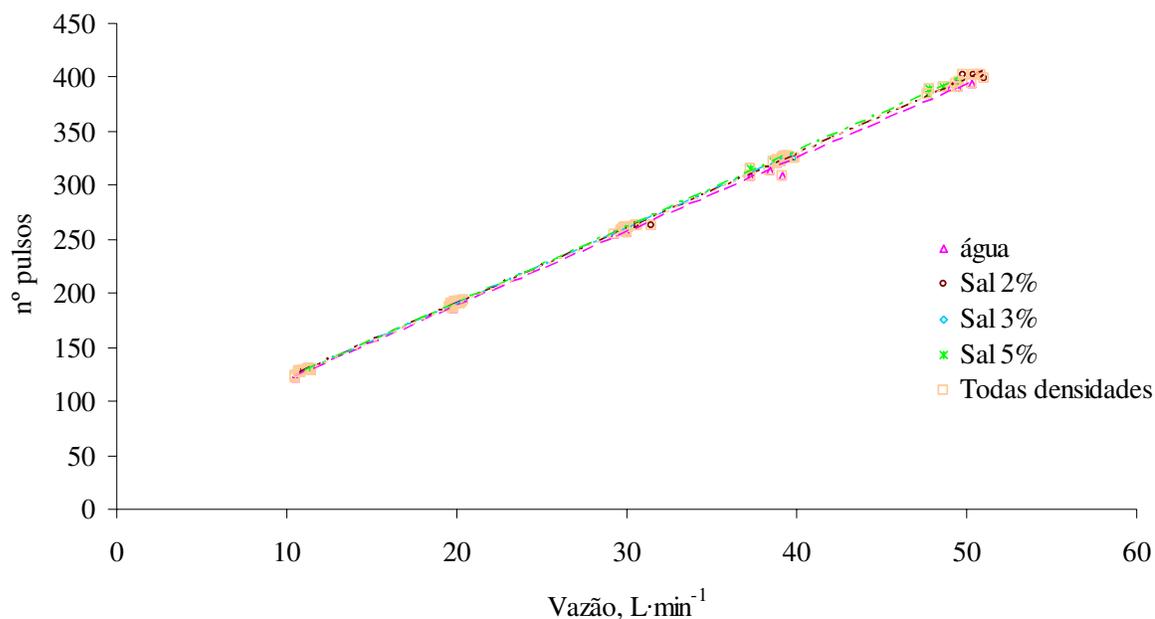


Figura 24. Regressão dos valores dos nº de pulsos emitidos pelo fluxômetro eletromagnético em função da vazão nas diferentes densidades.

Da equação “todas densidades” obteve-se um coeficiente de determinação de 0,9972 ($R^2 = 0,9972$) e de 0,9988 ($R^2 = 0,9988$), respectivamente, para o fluxômetro eletromagnético e de turbina, indicando que os dados possuem distribuição normal e boa acurácia dentro dos limites de vazão ensaiados.

Na Figura 25, são apresentados os valores de número de pulsos por litro para os dois fluxômetros estudados, cujos dados foram obtidos dividindo-se os valores da soma de número de pulsos em um minuto pela vazão correspondente.

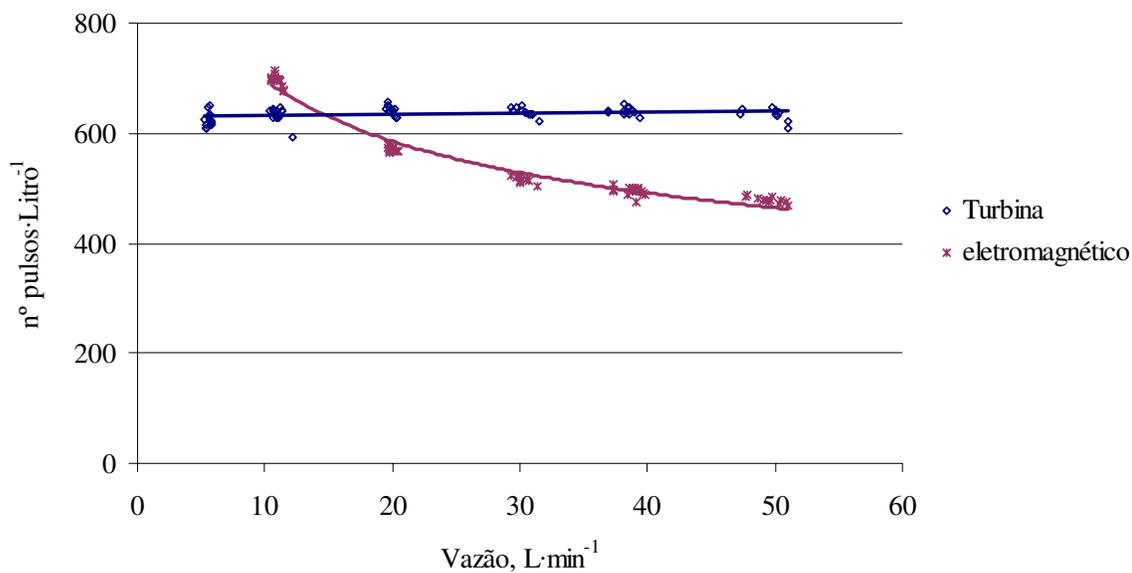


Figura 25. Valor de número de pulsos.Litro⁻¹ em função da vazão em L.min⁻¹ imposta ao sistema, para cada um dos fluxômetros, para todos os dados levantados.

Observa-se, pela Figura 25, que o fluxômetro eletromagnético apresentou um decréscimo do número de pulsos/Litro com o aumento da vazão, o que indica a necessidade de uma equação de correlação para conversão dos dados de número de pulsos para vazão. O fluxômetro de turbina apresentou valores de número de pulsos por Litro praticamente constantes em função da variação da vazão. Neste caso, houve indicação de que, para o fluxômetro de turbina, o cálculo da vazão do sistema seria obtido da divisão do valor do número de pulsos pela constante do coeficiente angular da reta de regressão tomada no gráfico de número de pulsos em função da vazão (Figura 23).

Constatou-se nos ensaios, que o fluxômetro de turbina apresentou menor oscilação do número de pulsos emitidos em cada ensaio do que o fluxômetro eletromagnético; porém, quanto ao número de pulsos médio, os dois sensores foram acurados em todas as repetições. O fluxômetro eletromagnético, apesar de ter maior oscilação nas leituras dos números de pulsos em cada ensaio, teve um comportamento bastante linear da média do número de pulsos emitidos em função da vazão. Por outro lado, o de turbina, apesar de ter maior estabilidade no número de pulsos emitidos nas leituras de cada ensaio, apresentou ligeira variação entre soluções nas altas vazões, reforçando a idéia de que as equações devem ser utilizadas dentro dos limites de vazão estudados.

Os resultados gerais mostram fundamentalmente que os algoritmos de controle devem ser adaptados ao uso de cada um dos tipos de fluxômetro, não sendo recomendada a substituição indiscriminada entre os tipos de sensores sem que haja este ajuste. Este fato é de suma importância para o mercado atual de pulverizadores com controlador eletrônico, visto que em muitos casos estes fluxômetros são intercambiados indiscriminadamente sem que estes cuidados sejam tomados, aumentando-se a chance de perda de acurácia nas aplicações, sejam estas em doses constantes ou em taxas variáveis.

Pelos resultados, visto que ambos os sensores são acurados, optou-se por utilizar, na montagem do protótipo de pulverizador, desenvolvido neste trabalho, o sensor de turbina.

6.1.2 Ensaio estático dos sensores de parâmetros climáticos

A Figura 26 ilustra o posicionamento dos sensores no ensaio estático, mostrando os dois SSCs e o termogrômetro referência, bem como os dois computadores conectados aos SSCs e o micrologger 23X de coleta das informações do termogrômetro referência.

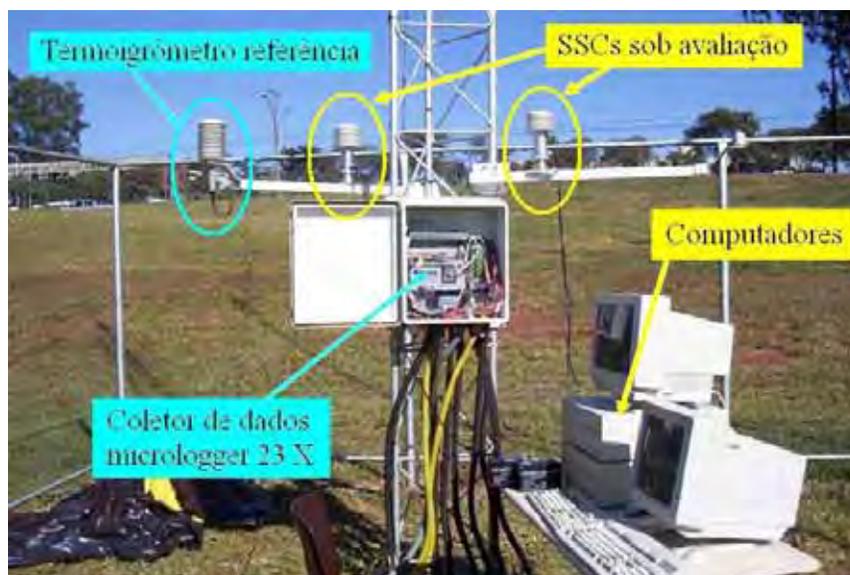


Figura 26. Ensaio estático dos SSCs, conectados a computadores e o termogrômetro referência, conectado ao coletor de dados Micrologger 23X.

Os SSCs foram programados para fornecerem um conjunto de dados (um dado de temperatura e um de umidade relativa do ar) a cada 10 segundos, igual ao do termoigrômetro referência do NEAR, que eram registrados a cada 5 minutos de uma média de valores coletados a cada 10 segundos.

Os dados levantados para comparação entre os 3 sensores, termoigrômetro referência e os 2 SSCs, estão apresentados na Tabela 12 e na Tabela 13, os quais são médias de 8 valores coletados a intervalos de 5 minutos da média de dados obtidos a cada 10 segundos.

Tabela 12. Análise estatística de temperatura e umidade relativa do ar, em 03/05/2005.

Hora: 06:35:00 às 07:10:00

Parâmetros	Temperatura			Diferença temperatura			Umidade relativa			Diferença umidade		
	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
Média	13,24	13,06	13,08	0,18	0,16	0,02	85,41	95,87	96,69	-10,46	-11,28	0,83
Desvio-padrão	0,11	0,13	0,15				0,42	0,50	0,54			
Coef. Variação	0,82	1,01	1,14				0,49	0,52	0,55			
Intervalo de confiança												
Mínimo 95%	13,17	12,97	12,97				85,12	95,52	96,32			
Máximo 95%	13,32	13,15	13,18				85,71	96,21	97,06			

Hora: 10:25:00 às 11:00:00

Parâmetros	Temperatura			Diferença temperatura			Umidade relativa			Diferença umidade		
	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
Média	17,95	17,92	17,99	0,03	-0,04	0,06	68,59	76,82	77,00	-8,23	-8,41	0,18
Desvio-padrão	0,27	0,28	0,28				1,04	1,10	1,17			
Coef. Variação	1,52	1,57	1,55				1,52	1,44	1,52			
Intervalo de confiança												
Mínimo 95%	17,76	17,73	17,79				67,87	76,06	76,19			
Máximo 95%	18,14	18,12	18,18				69,31	77,59	77,81			

Hora: 13:35:00 às 14:10:00

Parâmetros	Temperatura			Diferença temperatura			Umidade relativa			Diferença umidade		
	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
Média	22,07	22,19	22,18	-0,12	-0,10	-0,01	55,72	61,75	61,20	-6,03	-5,48	-0,55
Desvio-padrão	0,30	0,34	0,42				0,85	1,02	1,18			
Coef. Variação	1,36	1,52	1,89				1,52	1,66	1,93			
Intervalo de confiança												
Mínimo 95%	21,87	21,96	21,89				55,13	61,04	60,38			
Máximo 95%	22,28	22,42	22,47				56,31	62,46	62,02			

SR = Sensor Termoigrômetro referência
S1 = Sistema com Sensores Climáticos 1
S2 = Sistema com Sensores Climáticos 2

Tabela 13. Análise estatística de temperatura e umidade relativa do ar, em 23/06/2005.

Hora: 07:45:00 às 08:20:00

Parâmetros	Temperatura			Diferença temperatura			Umidade relativa			Diferença umidade		
	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
Média	13,77	13,64	13,67	0,13	0,09	0,04	85,03	94,58	95,54	-9,55	-10,51	0,96
Desvio-padrão	0,36	0,44	0,38				1,28	1,41	1,22			
Coef. Variação	2,61	3,20	2,82				1,51	1,49	1,27			
Intervalo de confiança												
Mínimo 95%	13,52	13,34	13,41				84,13	93,60	94,69			
Máximo 95%	14,02	13,94	13,94				85,92	95,55	96,38			

Hora: 09:55:00 às 10:30:00

Parâmetros	Temperatura			Diferença temperatura			Umidade relativa			Diferença umidade		
	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
Média	16,32	16,73	16,64	-0,40	-0,32	-0,09	77,88	85,23	86,69	-7,36	-8,82	1,46
Desvio-padrão	0,37	0,20	0,19				1,37	0,91	0,83			
Coef. Variação	2,26	1,22	1,15				1,76	1,07	0,96			
Intervalo de confiança												
Mínimo 95%	16,07	16,58	16,51				76,92	84,60	86,12			
Máximo 95%	16,58	16,87	16,77				78,83	85,87	87,27			

Hora: 15:10:00 às 15:45:00

Parâmetros	Temperatura			Diferença temperatura			Umidade relativa			Diferença umidade		
	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1	SR	S1	S2	SR - S1	SR - S2	S2 - S1
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
Média	21,60	21,80	22,60	-0,20	-1,00	0,80	61,62	66,57	65,73	-4,95	-4,11	-0,84
Desvio-padrão	0,20	0,24	1,44				0,93	0,99	0,80			
Coef. Variação	0,91	1,11	6,37				1,51	1,48	1,22			
Intervalo de confiança												
Mínimo 95%	21,46	21,63	21,60				60,97	65,89	65,17			
Máximo 95%	21,74	21,97	23,59				62,26	67,25	66,29			

SR = Sensor Termoigrômetro referência

S1 = Sistema com Sensores Climáticos 1

S2 = Sistema com Sensores Climáticos 2

Como pode ser observado na Tabela 12 e na Tabela 13, os limites mínimos e máximos do intervalo de confiança com 95% de confiabilidade mostraram que os sensores de temperatura do ar dos SSCs (S1 e S2) são, estatisticamente, iguais entre si, apresentando diferença máxima entre os sensores de 0,8 °C. Para umidade relativa do ar, a maioria dos dados foram estatisticamente iguais entre si, com uma diferença máxima entre as leituras dos SSCs de 1,46%. Esta diferença de 1%, na prática, atende às necessidades da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Estes valores permitem inferir que os SSCs são acurados, quando comparados entre si, tanto para temperatura como para

umidade relativa do ar, o que possibilitou que estes fossem usados no ensaio dinâmico, tendo um SSC sido utilizado fixo e, o outro, móvel.

Quando comparados os dados do termômetro referência com os dos SSCs, os limites mínimos e máximos do intervalo de confiança com 95% de confiabilidade mostraram que, na grande maioria dos dados, a temperatura do ar apresentou valores estatisticamente iguais, inferindo que os dados de temperatura do ar dos SSCs foram acurados. Quanto ao parâmetro umidade relativa do ar, os limites de confiabilidade mostraram que os dados obtidos nos SSCs são, estatisticamente, diferentes daqueles no termômetro referência. Os desvios tenderam a crescer com o aumento da umidade relativa do ar. Estas diferenças entre os SSCs e o termômetro referência, apesar de serem significativas, não desqualificaram os SSCs para os ensaios com os algoritmos com sensores climáticos e aplicações à taxas variadas, uma vez que estes apresentaram variações precisas dentro de cada faixa de umidade, o que pode ser verificado pela equação de regressão para equiparação dos dados de umidade relativa do ar dos SSCs com os dados do termômetro referência, mostrados na Figura 27.

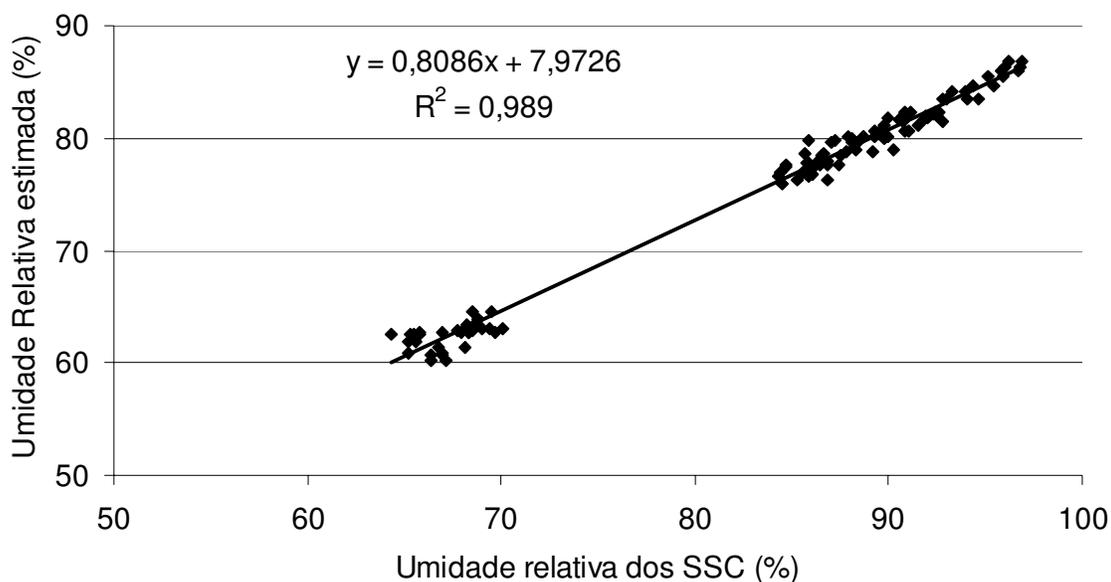


Figura 27. Equação de regressão para ajuste da umidade relativa do ar lida pelo SSC em função dos valores do termômetro referência.

O resultado da comparação dos dados dos SSCs com os do termômetro referência, durante o intervalo de tempo de aproximadamente 10 minutos,

coletados a cada 10 segundos, no dia 23 de junho de 2005, são apresentados na Figura 28 e, os valores médios a cada 5 minutos, coletados em diversos períodos, no intervalo das 06h30 às 20h30, no mesmo dia, são mostrados na Figura 29.

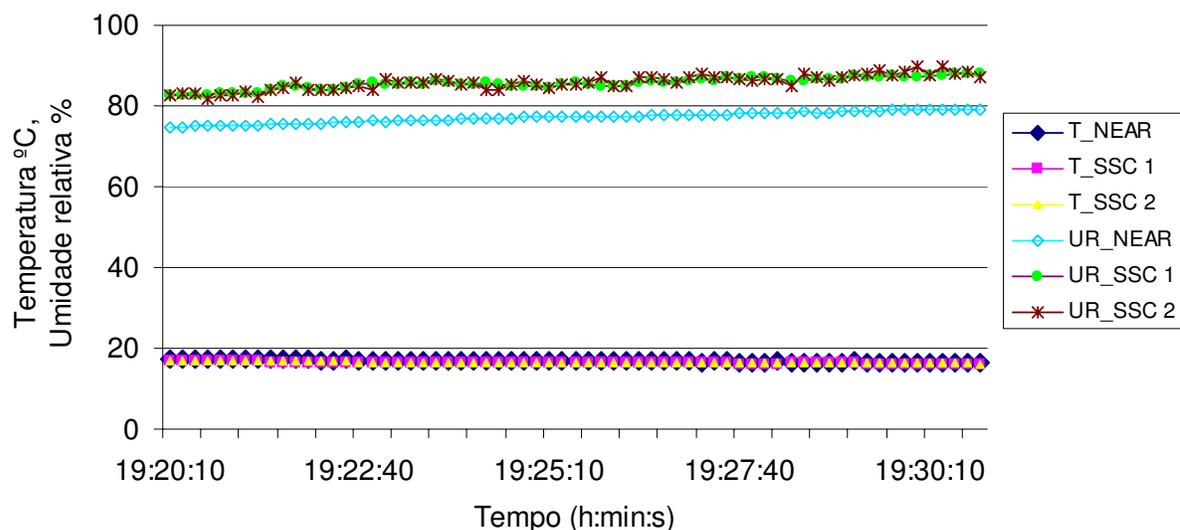


Figura 28. Temperatura e umidade relativa do ar para os sensores SSCs e termômetro referência durante o intervalo de tempo de 10 minutos.

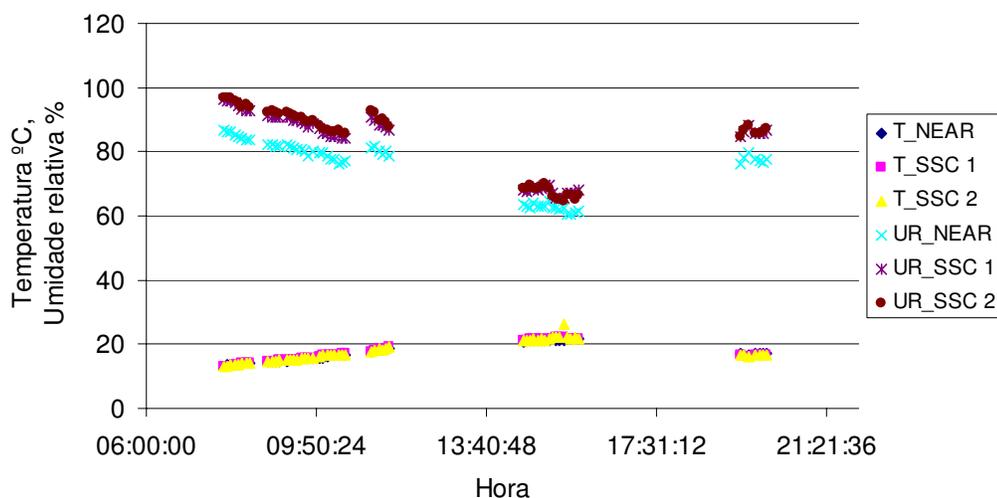


Figura 29. Temperatura e umidade relativa do ar para os sensores SSCs e termômetro referência durante o período das 06h30 às 20h30.

Analisando o gráfico da Figura 28, observa-se que a diferença dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, tanto entre os SSCs como entre estes e o termômetro referência, mantiveram-se precisos com o tempo.

Observa-se, na Figura 29 que, durante o decorrer do dia, a umidade diminuiu com o aumento de temperatura, diminuindo também a diferença entre os valores de umidade relativa dos SSCs com os do termômetro referência.

6.1.3 Ensaio dinâmico dos sensores climáticos

Nos ensaios dinâmicos dos SSCs, quando se manteve a velocidade do veículo a 11 km.h^{-1} , foram feitas coletas de informações de temperatura e umidade relativa do ar, com início as 11h30 e 15h15 do dia 21 de junho de 2005, com 35 dados registrados a cada 10 segundos, em cada horário. Quando se manteve a velocidade de 20 km.h^{-1} , com início às 16h10 do mesmo dia, a coleta constituiu-se de 23 dados registrados. Os resultados deste ensaio para temperatura e umidade relativa do ar estão apresentados na Tabela 14 e na Tabela 15, respectivamente.

Tabela 14. Parâmetros estatísticos de temperatura do ar do ensaio dinâmico com os SSCs, com intervalo de confiança de 95%.

Hora início ensaio	Velocidades	Parâmetros	Temperatura SSC móvel	Temperatura SSC estático	Média dos desvios temperatura	Percentagem do desvio em relação ao estático
hh:mm	km.h ⁻¹		°C	°C	°C	%
11:30	11	Média	19,946	19,680	0,266	1,350
		Intervalo de confiança				
		Mínimo	19,884	19,613		
		Máximo	20,007	19,747		
		Desvio padrão	0,185	0,201		
		Coef. Variação	0,929	1,022		
15:15	11	Média	22,039	22,611	0,572	2,531
		Intervalo de confiança				
		Mínimo	21,986	22,523		
		Máximo	22,091	22,699		
		Desvio padrão	0,161	0,269		
		Coef. Variação	0,730	1,190		
16:10	20	Média	20,887	21,039	0,170	0,806
		Intervalo de confiança				
		Mínimo	20,814	21,007		
		Máximo	20,960	21,071		
		Desvio padrão	0,179	0,078		
		Coef. Variação	0,858	0,372		

Os limites mínimos e máximos do intervalo de confiança (Tabela 14) mostraram que os valores de temperatura do ar, na comparação entre os sistemas móvel e fixo, diferiram estatisticamente entre si. Contudo, os sensores, nos intervalos de tempo ensaiados, propiciaram uma amplitude máxima entre os limites dos intervalos de confiança entre os dois SSCs de 0,71 °C, acarretando no maior valor encontrado da média dos desvios da temperatura, em módulo, de 0,57 °C, que representa erro de 2,53%, em relação ao valor médio da temperatura do SSC estático. Sabendo-se, ainda, que estes sensores, segundo o fabricante, apresentam acurácia de 0,5°C para a faixa de -10°C a 85°C, pode-se inferir que os SSCs tiveram o mesmo comportamento de leitura da temperatura do ar, tanto com o SSC estático como o em movimento. Do ponto de vista prático, em tecnologia de aplicação, esta diferença apresentada poderia ser desconsiderada.

Tabela 15. Parâmetros estatísticos de umidade relativa do ar do ensaio dinâmico com os SSCs, com intervalo de confiança de 95%.

Hora início ensaio	Velocidades	Parâmetros	Umidade SSC móvel	Umidade SSC estático	Média dos desvios umidade	Porcentagem do desvio em relação ao estático
hh:mm	km.h ⁻¹		%	%	%	%
11:30	11	Média	62,523	63,449	0,994	1,567
		Intervalo de confiança				
		Mínimo	62,242	63,178		
		Máximo	62,804	63,719		
		Desvio padrão	6,000	0,816		
		Coef. Variação	1,357	1,286		
15:15	11	Média	48,664	46,533	2,131	4,579
		Intervalo de confiança				
		Mínimo	48,361	46,358		
		Máximo	48,967	46,709		
		Desvio padrão	0,928	0,537		
		Coef. Variação	1,907	1,153		
16:10	20	Média	52,496	51,609	1,096	2,123
		Intervalo de confiança				
		Mínimo	52,033	51,227		
		Máximo	52,959	51,990		
		Desvio padrão	1,133	0,934		
		Coef. Variação	2,158	1,810		

Os limites mínimos e máximos do intervalo de confiança (Tabela 15) mostraram que os valores de umidade relativa do ar, na comparação entre os sistemas

móvel e fixo, diferiram estatisticamente entre si. Contudo, os sensores, nos intervalos de tempo ensaiados, propiciaram uma amplitude máxima entre os limites dos intervalos de confiança entre os dois SSCs de 2,61%, acarretando, no maior valor encontrado da média dos desvios da umidade relativa do ar, em módulo, ser de 2,13%, o que representa erro de 4,579% em relação ao valor médio da umidade do SSC estático. Sabendo-se, ainda, que estes sensores, segundo o fabricante, apresentam acurácia de $\pm 2\%$, para a faixa de operação de 0% a 100%, pode-se inferir que os SSCs tiveram o mesmo comportamento de leitura da umidade relativa do ar, tanto com o SSC estático como o em movimento. Do ponto de vista prático, em tecnologia de aplicação, esta diferença apresentada poderia ser desconsiderada, viabilizando o uso do SSC embarcado.

Deve ser lembrado, aqui, que estas diferenças no ensaio dinâmico foram apresentadas com os SSC distante aproximadamente 5 m um do outro, sendo que um deles estava se movimentando, podendo ter havido pequenas variações de microclima.

6.2 Controle da pulverização pelos algoritmos

O controle eletrônico das pulverizações foi efetuado através dos programas com algoritmos específicos para cada um dos sistemas estudados, isto é, o sistema baseado em condições climáticas e o de aplicação à taxa variada, descritos anteriormente.

6.3 Ensaio do protótipo

6.3.1 Tempo de resposta do processamento do algoritmo climático

Na Tabela 16 e na Tabela 17, são apresentados os dados do tempo de resposta do algoritmo climático entre receber a informação de temperatura e umidade relativa do ar do SSC e efetivamente mandar o sinal para comutação de ponta no bico,

avaliado através do atraso entre a mudança da temperatura e umidade no programa (lida na tela do visor do *laptop*) e o acendimento da luz no painel de comutação. Os valores arbitrados como limites de fatores climáticos, que indicavam que deveria ser realizada a comutação de pontas, ideais para pulverização de acordo com a classe de tamanho de gotas, foram apresentadas na Tabela 9. Estes limites de temperatura e umidade relativa do ar foram os que o algoritmo climático assumia como determinantes para realizar a comutação de pontas no bico.

Tabela 16. Tempo de resposta do processamento do algoritmo climático na comutação entre as pontas TJ 110 02 (bico 1 - gota muito fina) e XR 110 02 (bico 2 - gota fina).

Repetição	Mudança na condição climática				Comutação		Tempo Resposta (s.10 ⁻²)
	De		Para		De	Para	
	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)			
1	25,1	71,2	25	71	2	1	6,67
2	24,9	70,6	25,1	70	1	2	6,67
3	25,1	70,6	25	70	2	1	6,67
4	25	70	25	69	1	2	6,67
5	25,1	71,5	25	71	2	1	6,67
6	24,8	70,1	24,8	69	1	2	6,67
7	24,8	69,7	24,8	70	2	1	6,67
8	24,8	70,1	24,8	69	1	2	10,00
9	25	70,1	25,1	70	1	2	6,67
10	25	72	25,1	72	1	2	6,67

A Tabela 16 e a Tabela 17 mostram que o intervalo de tempo para o algoritmo climático processar as informações e enviar à placa controladora do computador de pontas o comando para mudança de ponta foi praticamente constante, registrado basicamente em dois quadros do programa de processamento de imagem, o que corresponde a 6,67 centésimos de segundo.

Tabela 17. Tempo de resposta do processamento do algoritmo climático na comutação entre as pontas XR 110 02 (bico 2 - gota fina) e TT 110 02 (bico 3 - gota média).

Repetição	Mudança na condição climática				Comutação		Tempo Resposta (s.10 ⁻²)
	De		Para		De	Para	
	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)			
1	26,6	67,7	28,1	63	2	3	6,67
2	28	58,8	26,6	60	3	2	6,67
3	27,8	61,8	28,4	59	2	3	6,67
4	27,4	59,2	27,2	60	3	2	6,67
5	27,5	63,1	28,2	61	2	3	6,67
6	27,4	59,7	27,1	61	3	2	6,67
7	28	61,9	29,1	59	2	3	6,67
8	27,8	58,6	27,5	60	3	2	6,67
9	27,9	61,8	28,7	59	2	3	6,67
10	28,2	58,9	27,8	60	3	2	6,67
11	27,8	62,1	28,3	60	2	3	6,67
12	27,7	59,7	27,3	60	3	2	6,67
13	27,7	60,6	28,2	59	2	3	6,67
14	28	59,8	27,7	60	3	2	6,67

6.3.2 Tempo de resposta das comutações das pontas dos bicos acionados pelo algoritmo climático

Os resultados das primeiras filmagens dos bicos mostraram que o intervalo de comutação entre pontas estava com defasagem, quando se acionava, concomitantemente, tanto o fechamento de uma como a abertura da outra ponta, promovendo uma falha na aplicação, ficando as plantas, pragas, ou solo sem receber os produtos.

Para sanar esta falha, procurou-se então eliminar este tempo de defasagem, que fazia com que os dois bicos se mantivessem fechados simultaneamente. Este intervalo de tempo foi calculado pelos recursos da videografia, e constatou-se que deveria haver um atraso do tempo de fechamento do leque A, proporcional à falha na aplicação, de 21,6 centésimos de segundo. O tempo determinado, nesta operação, foi

levado em consideração no programa de comutação das pontas para minimizar este erro. Assim, os bicos foram ensaiados com este intervalo de tempo embutido no algoritmo.

A Figura 30 mostra a seqüência de imagens do ensaio de comutação de pontas feita com o processo de videografia, na determinação do intervalo de tempo de mudança do leque pulverizado, para estudos com sistema baseado em condições climáticas e ou sistema baseado em aplicação a taxa variada. Esta seqüência foi a composição final do algoritmo, já com o tempo de defasagem corrigido.



Figura 30. Seqüência da operação de comutação de pontas.

Na imagem 1 da Figura 30, observa-se que a primeira lâmpada à esquerda (branca) já estava acesa, indicando que o leque A (leque A é o que, no início do ensaio, estivesse aberto), na ponta 1 de pulverização, estava aberto.

A imagem 2 mostra o momento em que a segunda lâmpada acendeu, indicando o instante que houve o recebimento do comando para acionar a comutação de

pontas, fechar o leque A e abrir o leque B (leque B era o que, no dado ensaio, estivesse sendo aberto). Este momento é representado na Tabela 18 pela coluna 1 de instante do comando, que é o início da contagem do tempo de resposta ($t = 0$). O fato de as duas lâmpadas estarem acesas indica a sobreposição inserida no algoritmo.

A imagem 3 mostra que a lâmpada branca já estava apagada, o sistema já havia recebido o comando para fechar o leque A e, ainda, que o leque B já estava completamente aberto. Mostra também o momento em que há sobreposição dos leques da pulverização. Na Tabela 18, esta sobreposição pode ser observada na coluna 7.

Pode-se observar pelo tempo (imagens 2, 3 e 4) que a sobreposição ocorre dentro do mesmo segundo. A determinação de seu valor real foi feita contando-se o número de quadros em que os leques permaneceram sobrepostos, desde o momento de o leque B estar totalmente aberto até o instante de início de fechamento do leque A, utilizando-se o recurso de videografia, e multiplicando-se este número por 3,33 centésimos de segundo, como descrito no capítulo de material e métodos.

A imagem 4 mostra o leque A fechado, completando o tempo de resposta do sistema, correspondendo aos valores apresentados na coluna 8 da Tabela 18, que é o intervalo de tempo desde o recebimento do comando para acionar a comutação de pontas até o leque A estar totalmente fechado.

Na Tabela 18, são apresentados os dados médios, de três repetições, do levantamento com videografia do tempo de resposta das comutações das pontas dos bicos para os ensaios com o sistema de pulverização baseado em condições climáticas.

Da análise, pelo intervalo de confiança, do tempo de resposta do sistema quando comutando as pontas em diferentes seqüências (1-2, 2-3, 3-1, 1-3, 3-2, 2-1), verificou-se que estes não diferiram entre si, estatisticamente, a 95% de confiabilidade, tendo o sistema o mesmo tempo de resposta independentemente de qual ponta estivesse no bico e de qual posição.

Tabela 18. Valores médios de três repetições dos componentes do tempo de resposta do sistema de comutação de pontas, para os 7 bicos ensaiados, nas várias combinações, para o sistema baseado em condições climáticas.

Bico	Comutação Bico	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
6 D	1-2	0	21,11	25,56	37,78	36,67	52,22	-1,11	52,22
6 D	2-3	0	22,22	24,44	37,78	41,11	56,67	3,33	56,67
6 D	3-1	0	21,11	21,11	32,22	41,11	58,89	8,89	58,89
6 D	1-3	0	20,00	22,22	31,11	34,44	50,00	3,33	50,00
6 D	3-2	0	20,00	25,56	38,89	42,22	53,33	3,33	53,33
6 D	2-1	0	20,00	20,00	30,00	37,78	56,67	7,78	56,67
4 D	1-2	0	21,11	23,33	32,22	36,67	52,22	4,44	52,22
4 D	2-3	0	20,00	17,78	31,11	36,67	53,33	5,56	53,33
4 D	3-1	0	18,89	17,78	30,00	40,00	54,44	10,00	54,44
4 D	1-3	0	20,00	16,67	28,89	33,33	47,78	4,44	47,78
4 D	3-2	0	20,00	24,44	37,78	41,11	51,11	3,33	51,11
4 D	2-1	0	20,00	17,78	30,00	35,56	50,00	5,56	50,00
2 D	1-2	0	20,00	21,11	34,44	40,00	57,78	5,56	57,78
2 D	2-3	0	21,11	20,00	34,44	36,67	47,78	2,22	47,78
2 D	3-1	0	20,00	15,56	26,67	38,89	51,11	12,22	51,11
2 D	1-3	0	22,22	16,67	31,11	36,67	47,78	5,56	47,78
2 D	3-2	0	20,00	20,00	33,33	40,00	45,56	6,67	45,56
2 D	2-1	0	18,89	14,44	25,56	34,44	44,44	8,89	44,44
CTR	1-2	0	20,00	26,67	35,56	36,67	45,56	1,11	45,56
CTR	2-3	0	20,00	20,00	31,11	34,44	41,11	3,33	41,11
CTR	3-1	0	21,11	18,89	30,00	36,67	47,78	6,67	47,78
CTR	1-3	0	21,11	16,67	28,89	34,44	42,22	5,56	42,22
CTR	3-2	0	20,00	28,89	41,11	36,67	44,44	-4,44	44,44
CTR	2-1	0	20,00	20,00	32,22	34,44	41,11	2,22	41,11
2 E	1-2	0	20,00	34,44	45,56	40,00	46,67	-5,56	46,67
2 E	2-3	0	20,00	20,00	32,22	38,89	45,56	6,67	45,56
2 E	3-1	0	22,22	22,22	33,33	41,11	47,78	7,78	47,78
2 E	1-3	0	21,11	20,00	33,33	37,78	44,44	4,44	44,44
2 E	3-2	0	21,11	35,56	46,67	41,11	44,44	-5,56	44,44
2 E	2-1	0	20,00	21,11	31,11	36,67	43,33	5,56	43,33
4 E	1-2	0	22,22	23,33	33,33	40,00	48,89	6,67	48,89
4 E	2-3	0	20,00	17,78	31,11	41,11	48,89	10,00	48,89
4 E	3-1	0	20,00	16,67	27,78	37,78	46,67	10,00	46,67
4 E	1-3	0	21,11	15,56	30,00	38,89	48,89	8,89	48,89
4 E	3-2	0	20,00	22,22	32,22	40,00	43,33	7,78	43,33
4 E	2-1	0	20,00	17,78	28,89	37,78	45,56	8,89	45,56
6 E	1-2	0	22,22	25,56	37,78	42,22	55,56	4,44	55,56
6 E	2-3	0	21,11	24,44	37,78	42,22	54,44	4,44	54,44
6 E	3-1	0	20,00	20,00	32,22	41,11	56,67	8,89	56,67
6 E	1-3	0	20,00	22,22	35,56	40,00	52,22	4,44	52,22
6 E	3-2	0	20,00	24,44	35,56	44,44	55,56	8,89	55,56
6 E	2-1	0	20,00	20,00	30,00	40,00	53,33	10,00	53,33

6 D – sexto bico da barra de pulverização do lado direito; 4 D – quarto bico da barra de pulverização do lado direito; 2 D – segundo bico da barra de pulverização do lado direito; CTR – bico central da barra de pulverização; 2 E – segundo bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 4 E – quarto bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 6 E – sexto bico da barra de pulverização do lado esquerdo.

Na Tabela 19, são apresentados os valores médios, por bico, dos dados da Tabela 18.

Tabela 19. Valores médios, por bico, dos componentes do tempo de resposta do sistema de comutação de pontas, para os 7 bicos ensaiados, para o sistema baseado em condições climáticas.

Bico	Parâmetros	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
6D	média	0	20,74	23,15	34,63	38,89	54,63	4,26	54,63
	minimo 95%	0	19,90	21,80	32,72	37,14	52,20	2,30	52,20
	máximo 95%	0	21,59	24,49	36,54	40,64	57,06	6,22	57,06
4D	média	0	20,00	19,63	31,67	37,22	51,48	5,56	51,48
	minimo 95%	0	19,47	18,05	29,98	35,90	48,99	4,16	48,99
	máximo 95%	0	20,53	21,20	33,36	38,54	53,97	6,95	53,97
2D	média	0	20,37	17,96	30,93	37,78	49,07	6,85	49,07
	minimo 95%	0	19,64	16,65	28,89	36,72	46,19	4,99	46,19
	máximo 95%	0	21,10	19,27	32,96	38,83	51,96	8,72	51,96
CTR	média	0	20,37	21,85	33,15	35,56	43,70	2,41	43,70
	minimo 95%	0	19,87	19,05	30,43	34,37	41,23	-0,33	41,23
	máximo 95%	0	20,87	24,66	35,87	36,74	46,17	5,14	46,17
2E	média	0	20,74	25,56	37,04	39,26	45,37	2,22	45,37
	minimo 95%	0	20,08	20,71	32,20	38,13	44,43	-1,97	44,43
	máximo 95%	0	21,40	30,40	41,87	40,39	46,31	6,41	46,31
4E	média	0	20,56	18,89	30,56	39,26	47,04	8,70	47,04
	minimo 95%	0	19,97	17,22	29,13	38,41	45,55	7,63	45,55
	máximo 95%	0	21,15	20,56	31,98	40,10	48,52	9,78	48,52
6E	média	0	20,56	22,78	34,81	41,67	54,63	6,85	54,63
	minimo 95%	0	19,97	21,57	33,21	40,58	53,43	5,41	53,43
	máximo 95%	0	21,15	23,99	36,42	42,76	55,83	8,30	55,83
Média geral		0	20,48	21,40	33,25	38,52	49,42	5,26	49,42

6 D – sexto bico da barra de pulverização do lado direito; 4 D – quarto bico da barra de pulverização do lado direito; 2 D – segundo bico da barra de pulverização do lado direito; CTR – bico central da barra de pulverização; 2 E – segundo bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 4 E – quarto bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 6 E – sexto bico da barra de pulverização do lado esquerdo.

As tabelas com todos os dados processados neste ensaio estão apresentadas no Apêndice 4.

Primeiramente, na Tabela 19, observa-se que o tempo de resposta médio do sistema para comutar de ponta no bico foi de 49,42 centésimos de segundo, que na velocidade de trabalho de 7 km.h⁻¹ proporcionaria um deslocamento de 0,96 m. Pela

Tabela 18, verifica-se que o menor e o maior valor encontrado do tempo de resposta do sistema foram da ordem de 41,11 centésimos de segundo e 58,89 centésimos de segundo, respectivamente, proporcionando na mesma velocidade um deslocamento de 0,80 m para o menor valor, ocorrido no bico central e 1,15 m para o maior valor, no bico 6 da barra do lado direito (6 D).

Na Tabela 18 e na Tabela 19, verifica-se que o tempo de resposta do sistema teve um aumento gradual do centro para a ponta da barra, tanto para o lado direito como para o esquerdo da barra. Dos dados dos limites dos intervalos de confiança para o tempo de resposta do sistema, pode-se verificar que, estatisticamente, o tempo não diferiu significativamente quando comparado na seqüência crescente do centro para a ponta, ou seja, quando comparado o tempo do bico central com o tempo dos bicos 2 D e 2 E, e destes com os bicos 4 D e 4 E, respectivamente, e destes com os bicos 6 D e 6 E, respectivamente. Porém, na comparação entre o bico central com os bicos 6 D e 6 E, pelo intervalo de confiança do tempo de resposta do sistema, estes apresentam diferença estatística significativa a 95% de confiabilidade. Isto significa que houve perda de carga no sistema pneumático, do ponto central para o ponto mais distante da mangueira pneumática (bicos 6D e 6E). Vale ressaltar que este aumento, do ponto de vista prático, não prejudica a aplicação por ser pequeno (máximo encontrado de 17,78 centésimos de segundo) e ser para comutar a ponta, e não de falha na aplicação.

Na Tabela 19, observa-se, ainda, que o tempo médio de resposta final de abertura do leque B foi de 33,25 centésimos de segundo, o que proporciona um deslocamento de 0,65 m, a 7 km.h⁻¹.

O algoritmo, conforme já foi referido, foi programado para que não houvesse falha e nem dupla dosagem, com apenas um mínimo de sobreposição necessária, o que foi alcançado neste projeto, fornecendo tempos aceitáveis de sobreposição médio de 5,26 centésimos de segundo ou 0,10 m a 7 km.h⁻¹ (Tabela 19).

É sempre aceitável que haja uma pequena sobreposição do produto aplicado, mantendo o controle químico sobre o alvo, não sendo aceitável a falha que não permita controle algum sobre este.

Portanto, a nova metodologia desenvolvida para aplicação de tamanhos de gotas adequados, foi capaz de prever as variações meteorológicas e realizar os

ajustes necessários quanto às exigências da tecnologia de aplicação, de maneira eficiente e viável.

6.3.3 Tempo de resposta da comutação de pontas para sistema baseado em VRT, com o equipamento estacionado em laboratório

Os valores médios de 3 repetições do levantamento, com videografia, do tempo de resposta das comutações das pontas dos bicos para os ensaios com o sistema baseado em VRT, estão apresentados na Tabela 20.

A análise, pelo intervalo de confiança, para verificar se havia diferença no tempo de resposta do sistema quando comutando as pontas em diferentes seqüências (1-2, 2-3, 3-1, 1-3, 3-2, 2-1), mostrou que estes diferiram entre si estatisticamente com 95% de confiabilidade. A ponta 3, de maior vazão foi a que se diferiu das demais, apresentando maior tempo para comutação, do que se pode concluir, que quando a vazão é maior, existe maior resistência ao fechamento do leque. No entanto, quando se analisam os bicos nas diferentes posições da barra de pulverização, separadamente dentro de cada seqüência de comutação das pontas, todos dados se apresentaram iguais estatisticamente entre si pelo intervalo de confiança, com 95% de confiabilidade, o que permite que os dados sejam analisados pelas médias do tempo de resposta por bico, apresentado na Tabela 21.

A tabela com todos os dados processados neste ensaio está apresentada no Apêndice 5.

Tabela 20. Valores médios de três repetições dos componentes do tempo de resposta do sistema de comutação de pontas, para os 3 bicos ensaiados, nas várias combinações, para o sistema VRT.

Bico - repetição	Comutação Bico	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
6 D	1-2	0,00	21,11	27,78	40,00	35,56	37,78	-4,44	37,78
	2-3	0,00	16,67	18,89	30,00	30,00	31,11	0,00	31,11
	3-1	0,00	21,11	24,44	37,78	42,22	42,22	4,44	42,22
	1-3	0,00	21,11	24,44	36,67	33,33	36,67	-3,33	36,67
	3-2	0,00	22,22	32,22	42,22	42,22	42,22	0,00	42,22
	2-1	0,00	20,00	23,33	34,44	36,67	37,78	2,22	37,78
4 D	1-2	0,00	21,11	27,78	40,00	34,44	34,44	-5,56	34,44
	2-3	0,00	22,22	20,00	32,22	35,56	35,56	3,33	35,56
	3-1	0,00	20,00	23,33	36,67	41,11	42,22	4,44	42,22
	1-3	0,00	20,00	20,00	31,11	34,44	34,44	3,33	34,44
	3-2	0,00	21,11	30,00	43,33	43,33	43,33	0,00	43,33
	2-1	0,00	21,11	25,56	35,56	35,56	35,56	0,00	35,56
2 D	1-2	0,00	22,22	25,56	34,44	36,67	36,67	2,22	36,67
	2-3	0,00	14,44	14,44	25,56	26,67	27,78	1,11	27,78
	3-1	0,00	18,89	16,67	26,67	41,11	42,22	14,44	42,22
	1-3	0,00	22,22	21,11	32,22	36,67	36,67	4,44	36,67
	3-2	0,00	21,11	25,56	37,78	42,22	42,22	4,44	42,22
	2-1	0,00	22,22	18,89	30,00	35,56	35,56	5,56	35,56

6 D – sexto bico da barra de pulverização do lado direito; 4 D – quarto bico da barra de pulverização do lado direito; 2 D – segundo bico da barra de pulverização do lado direito.

Tabela 21. Valores médios, por bico, dos componentes do tempo de resposta do sistema de comutação de pontas, para os 3 bicos ensaiados, para o sistema VRT.

Bico - repetição	Parâmetros	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
6 D	Média	0,00	20,37	25,19	36,85	36,67	37,96	-0,19	37,96
	Mínimo 95%		18,98	22,53	34,13	33,82	35,53	-1,81	35,53
	Máximo 95%		21,76	27,84	39,57	39,51	40,39	1,44	40,39
4 D	média	0,00	20,93	24,44	36,48	37,41	37,59	0,93	37,59
	Mínimo 95%		20,22	22,61	34,34	35,61	35,70	-0,89	35,70
	Máximo 95%		21,64	26,27	38,63	39,20	39,48	2,74	39,48
2 D	média	0,00	20,19	20,37	31,11	36,48	36,85	5,37	36,85
	Mínimo 95%		17,68	17,48	28,08	33,43	33,75	3,12	33,75
	Máximo 95%		22,69	23,26	34,15	39,54	39,95	7,62	39,95
Média geral		0,00	20,49	23,33	34,81	36,85	37,47	2,04	37,47

6 D – sexto bico da barra de pulverização do lado direito; 4 D – quarto bico da barra de pulverização do lado direito; 2 D – segundo bico da barra de pulverização do lado direito.

O tempo de resposta médio do sistema para comutar de ponta no bico foi de 37,47 centésimos de segundo, o que na velocidade de trabalho de 7 km.h^{-1} corresponde a um deslocamento de 0,73 m (Tabela 21). O fato de o tempo médio do sistema na condição VRT ter se apresentado ligeiramente menor que o com condições climáticas, provavelmente ocorreu devido às diferentes pressões hidráulicas dos sistemas, que foi menor no VRT, oferecendo menor resistência ao fechamento da válvula da ponta formadora do leque.

Pela Tabela 20, verifica-se que o menor e o maior valor encontrado do tempo de resposta do sistema foram da ordem de 27,78 centésimos de segundo e 43,33 centésimos de segundo, respectivamente, proporcionando um deslocamento de 0,54 m, a 7 km.h^{-1} , para o menor valor, ocorrido no bico 2 da barra do lado direito (2D) e 0,84 m para o maior valor, ocorrido no bico 4D.

Na Tabela 21, verifica-se que o tempo de resposta do sistema não diferiu estatisticamente pelo intervalo de confiança, com 95% de confiabilidade, entre os bicos nas diferentes posições da barra de pulverização, o que mostra que o sistema de comutação de pontas do bico, quando trabalhando com pontas para o sistema VRT, não apresentou perda de carga na barra, diferente do que ocorreu com o sistema baseado em condições climáticas. Em VRT, apresentou diferença dentro da sequência de comutação das pontas, mostrando que quando a vazão é maior existe maior resistência ao fechamento da ponta.

Verifica-se, ainda, que o tempo de resposta final de abertura do leque B foi de 34,81 centésimos de segundo, que a 7 km.h^{-1} proporciona um deslocamento de 0,68 m, e o tempo de sobreposição médio foi de 2,04 centésimos de segundo ou 0,04 m a 7 km.h^{-1} .

Os tempos de resposta encontrados para ambos os sistemas ensaiados, fornecendo deslocamento de até um metro, satisfazem ao uso com tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, de acordo com Miller et al. (1997), que relatou ser de um metro a distância aceitável para comutação em aplicação a taxa variada.

6.3.4 Aferição da velocidade de deslocamento do trator em campo

Os dados da Tabela 22 são referentes ao ensaio do sensor de velocidade do controlador eletrônico de pulverização. O monitor foi alimentado com a constante de velocidade 216 pulsos, previamente encontrada em ensaio de calibração.

Tabela 22. Valores médios de velocidades calculadas e leituras de velocidades mostradas no controlador eletrônico de pulverização.

Marcha	Rotação	Velocidade tabela Fabricante	Velocidade monitor	Velocidade média monitor	Tempo em 100m	Velocidade real	Velocidade real	Velocidade real média
	Rpm	km.h ⁻¹	km.h ⁻¹	km.h ⁻¹	s	m.s ⁻¹	km.h ⁻¹	km.h ⁻¹
3 .A	2100	4	3,95		91	1,10	3,96	
3 .A	2100	4	3,95		91,1	1,10	3,95	
3 .A	2100	4	4,00	3,97	88,4	1,13	4,07	3,99
1 B	2100	5	4,30		82,3	1,22	4,37	
1 B	2100	5	4,25		82,8	1,21	4,35	
1 B	2100	5	4,30	4,28	82,9	1,21	4,34	4,35
2 B	2100	7	5,85		60,7	1,65	5,93	
2 B	2100	7	5,95		60,2	1,66	5,98	
2 B	2100	7	5,90	5,90	60,1	1,66	5,99	5,97
1 C	2100	8	7,00		50,5	1,98	7,13	
1 C	2100	8	6,95		51,8	1,93	6,95	
1 C	2100	8	7,10		50,8	1,97	7,09	
1 C	2100	8	7,05	7,03	51	1,96	7,06	7,06
3 B	2100	9	7,95		45,2	2,21	7,96	
3 B	2100	9	7,95		44,7	2,24	8,05	
3 B	2100	9	7,95	7,95	44,8	2,23	8,04	8,02
2 C	2100	11	10,10		36,1	2,77	9,97	
2 C	2100	11	9,85		36	2,78	10,00	
2 C	2100	11	10,05	10,00	35,7	2,80	10,08	10,02
3 C	2100	14	12,65		28,3	3,53	12,72	
3 C	2100	14	12,65		28,2	3,55	12,77	
3 C	2100	14	12,95	12,75	27,4	3,65	13,14	12,88
1 D	2100	16	15,30		23,3	4,29	15,45	
1 D	2100	16	15,40		23,1	4,33	15,58	
1 D	2100	16	14,95	15,22	24	4,17	15,00	15,35
2 D	2100	23	21,45		17	5,88	21,18	
2 D	2100	23	21,40		16,7	5,99	21,56	
2 D	2100	23	21,45	21,43	16,4	6,10	21,95	21,56

Com os dados da Tabela 22, conclui-se que o sensor de velocidade do monitor apresentou boa acurácia, quando adequadamente calibrado, apresentando

valores de velocidade bem próximos da velocidade real calculada.

A partir do ensaio de velocidade, foi possível selecionar a velocidade utilizada nos ensaios de campo de $7,06 \text{ km.h}^{-1}$, conseguida na marcha 1C, com rotação do motor a 2100 rpm, fornecendo 540 rpm na TDP para o pulverizador. Nesta velocidade, a leitura feita, a partir do visor do controlador de pulverização apresentou desvio de $0,03 \text{ km.h}^{-1}$, o que corresponde a uma variação de 0,44% em relação ao dado real.

Uma das principais funcionalidades de um controlador eletrônico de pulverização é adequar o volume de aplicação em função da variação de velocidade do pulverizador, o que comumente ocorre em campo, devido, principalmente, às irregularidades do terreno. Portanto, fica evidente que, se a velocidade fosse medida de forma errada pelo controlador, todo o sistema de controle seria comprometido e, conseqüentemente, a aplicação de produto fitossanitário.

6.3.5 Tempo de resposta do sistema VRT a campo

Após se ter os sistemas calibrados, ensaiados e validados, em condição estática, pôde-se realizar os ensaios de campo para o sistema VRT. Nesta etapa do projeto, além de verificar o tempo de resposta geral do sistema para aplicação a taxa variada, constatou-se que o protótipo construído apresentou robustez, não havendo qualquer tipo de problema com a parte pneumática do pulverizador durante os ensaios, e que foi possível utilizar o algoritmo VRT a campo.

A primeira ação para o início dos ensaios de campo foi a de se criar o mapa de limite da área pelo caminhamento linear feito com o GPS e o programa específico de visualização e navegação Field Rover II, passando uma por uma das estacas localizadas nas extremidades da área previamente demarcada. Este mapa limite foi, então, importado pelo SIG-Enalta e criado o mapa da área de aplicação, com as respectivas coordenadas conhecidas.

Tendo como base este mapa de aplicação, foram criadas, células quadradas de 6 metros de lado, gerando assim uma nova camada de mapa. O passo

seguinte foi a criação do mapa de pontos centrais, produzindo um outra camada, com os pontos centrais de cada célula. O algoritmo VRT utiliza este ponto central para associar a taxa de pulverização que deve ser aplicada na célula correspondente. Em seguida, este mapa constituído de células, com seus pontos centrais, foram divididas em 3 subáreas distintas, em que foram atribuídos os valores das taxas de aplicação pretendidas, construindo o mapa de recomendação. Estas taxas foram atribuídas do sentido norte para o sul, sendo de 109, 147 e 184 L.ha⁻¹, respectivamente, nas regiões das 20 primeiras células, 20 células intermediárias e 24 últimas células, como mostrado na Figura 31.

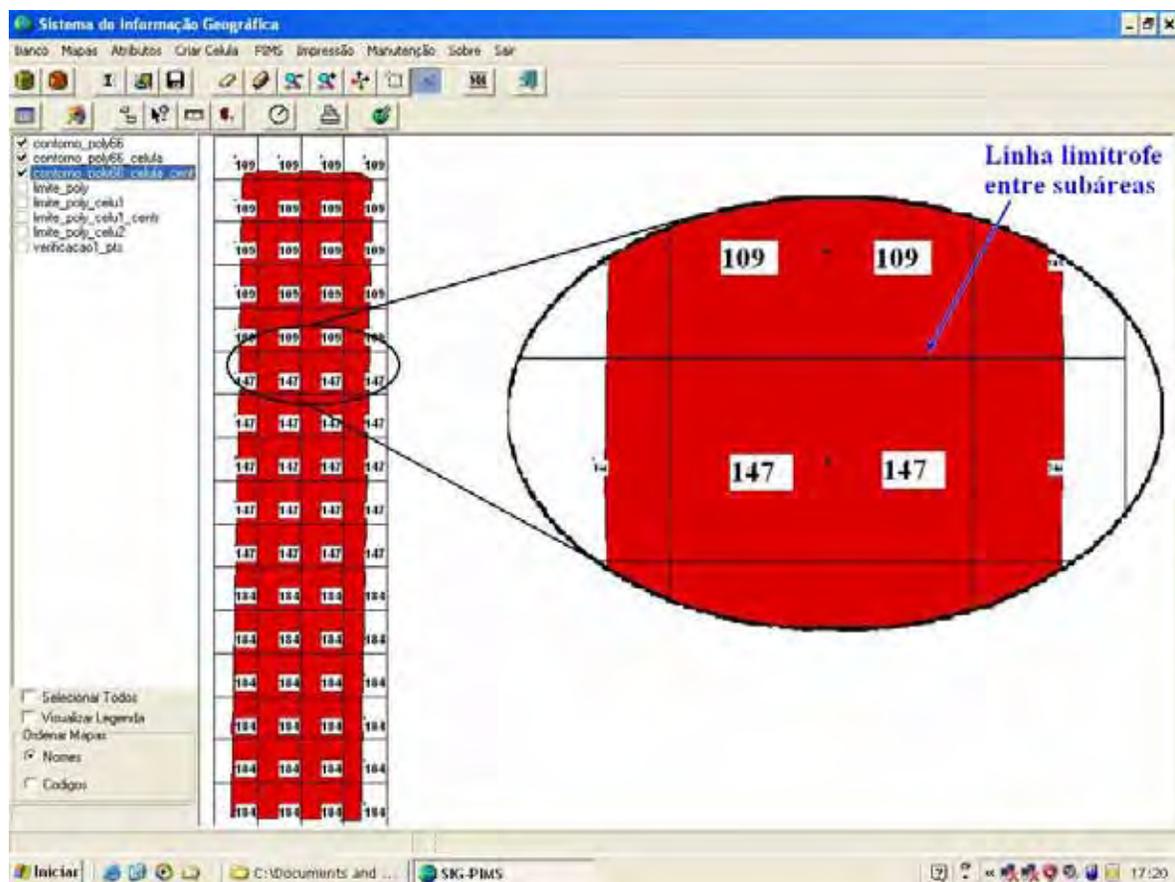


Figura 31. Mapa de recomendação construído no SIG-Enalta, com os respectivos mapas em camadas, mostrando em detalhe as taxas aplicadas e a linha limítrofe, entre as subáreas.

Observa-se que, na Figura 31, estão sendo visualizados as três camadas em conjunto: o mapa de limite da área, o mapa de células com grade de 6mx6m e

o mapa de pontos com as taxas de aplicação correspondente a cada célula. Este foi o mapa de recomendação para aplicação nos ensaios em campo.

A área, em destaque, ilustra a região de mudança da taxa 109 L.ha^{-1} para 147 L.ha^{-1} , que ocorre no momento em que a antena do GPS passar pela linha limítrofe de divisa entre as subáreas.

Em campo, as estacas que indicavam o ponto da comutação, foram locadas exatamente no alinhamento de divisa das subáreas. Foi utilizada a ferramenta de medir distância do SIG, para locar essas estacas de divisa a partir daquela localizada no limite norte da área.

Criado o mapa de recomendação, utilizou-se a ferramenta de exportação do SIG-Enalta para exportar o mapa no formato “xml”. Este formato foi utilizado pelo algoritmo VRT para as leituras das taxas de aplicação e suas correspondentes coordenadas.

Nos ensaios de campo foram levantados dados do tempo de resposta do sistema VRT para mudar a taxa aplicada através da comutação das pontas na barra de pulverização, analisados pelo recurso de videografia. A Figura 32 mostra os dois instantes de coleta de informação com este recurso.



Figura 32. Instantes que o GPS passava pela estaca do alinhamento limítrofe (1) e; momento real da mudança de taxa aplicada (2).

A imagem 1 da Figura 32 ilustra o pulverizador passando no alinhamento de divisa entre as subáreas. Neste momento, a mudança deveria ocorrer da

taxa de aplicação de 184 L.ha⁻¹ para a taxa de 147 L.ha⁻¹, porém como há erro no sistema, a troca de taxa foi efetuada após deslocar mais 2,40 m de distância da estaca limítrofe, ilustrada na imagem 2. O instante desta mudança foi observado pelo acendimento da lâmpada do painel de luz, e calculado a distância pelo número de quadros lidos no programa de processamento de imagem, já descrito anteriormente.

Os dados médios, com 5 repetições, do tempo de resposta e erro de distância, para mudança da taxa no sistema VRT, a campo, estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Tempo de resposta e erro de distância, do sistema VRT, e seus limites mínimos e máximos do intervalo de confiança com 95% de confiabilidade.

Tratamento	Tempo			Distância		
	Médio de Erro	Intervalo erro mínimo	Intervalo erro máximo	Média de Erro	Intervalo erro mínimo	Intervalo erro máximo
L.min ⁻¹	(s.10 ⁻²)	(s.10 ⁻²)	(s.10 ⁻²)	(m)	(m)	(m)
147 - 109	70,67	50,07	91,26	1,37	0,97	1,77
109 - 147	91,33	73,97	108,69	1,78	1,44	2,11
184 - 147	80,00	47,33	112,67	1,56	0,92	2,19
147 - 184	84,67	53,36	115,97	1,65	1,04	2,26
147 - 109	25,33	-1,81	52,48	0,49	-0,04	1,02
109 - 147	122,67	107,85	137,48	2,39	2,10	2,67
184 - 147	67,78	12,56	123,00	1,32	0,24	2,39
Média	77,49	49,05	105,94	1,51	0,95	2,06

Analisando a Tabela 23, constata-se que a média do tempo de resposta encontrado foi de 77,49 centésimos de segundos, que na velocidade de deslocamento de 7 km.h⁻¹, utilizada no ensaio, representou erro de 1,51 m de distância na mudança da taxa aplicada.

O maior valor de desvio encontrado foi de 146,67 centésimos de segundo e o menor foi de 3,33 centésimos de segundo, o que correspondeu a um erro de deslocamento de 2,85 m e 0,06 m, respectivamente.

Pela Tabela 23, verifica-se pela análise estatística do intervalo de

confiança, com 95% de confiabilidade, que os tempos de resposta e o erro de distância de comutação das taxas são iguais, independente de qual mudança de taxa fosse aplicada.

Observa-se ainda, que os limites mínimos e máximos apresentaram grande amplitude. Provavelmente, isto ocorre devido ao erro do GPS.

Possivelmente estas variações entre os valores apresentados residem no tempo de aquisição das coordenadas através do GPS, que trabalhou com frequência de aquisição de dados de 1 Hertz, o que pode acarretar um erro de até 1,94 m, pois o trator se deslocava a uma velocidade de 7 km.h⁻¹. Além disso, o estaqueamento na linha limítrofe entre as subáreas foi realizado no dia anterior ao ensaio, portanto, se o GPS estivesse trabalhando com constelação diferente de satélites, isto poderia fornecer erros de até um metro e, ainda, mais um metro quando do levantamento do mapa de limite da área. Portanto, em um caso extremo, pode-se dizer que o erro em virtude do GPS poderia chegar a quatro metros.

Como o erro máximo encontrado foi de 2,85 m, é passível a conclusão de que os erros encontrados foram devido ao momento de aquisição das coordenadas pelo GPS, mostrando que o algoritmo VRT enviava comando de mudança de taxa, tão logo recebia a informação.

Isto foi constatado em campo quando o trator foi posicionado sobre a linha limítrofe de divisa entre duas taxas e pequenos deslocamentos para frente e para trás foram executados para localizar o ponto exato de comutação. Este ponto de comutação aconteceu exatamente sobre a linha divisória entre duas subáreas, ou seja, no local indicado no mapa de recomendação.

Uma forma de minimizar o erro devido ao tempo de envio das coordenadas pelo GPS é utilizar um fator de correção no algoritmo VRT conhecido como “look ahead”. Esse fator nada mais é do que a leitura do ponto adiante de onde o GPS se localiza tomando como referência de trajetória os pontos anteriores já coletados pelo GPS. Isso faz com que o algoritmo faça a previsão de onde será o ponto de comutação da taxa, antecipando a tomada de decisão do sistema.

O tempo de resposta total de VRT é a soma do tempo para mudar a taxa aplicada no campo mais o tempo para comutar de ponta, analisado nos ensaios anteriormente descritos. Assim, o tempo de resposta total médio foi de 114,96 centésimos

de segundo, que a 7 km.h^{-1} , equivale a 2,24 m.

A Tabela 24 apresenta os dados do segundo ensaio realizado em campo, onde se pulverizou corante azul sobre papel branco, tipo bobina de calculadora.

Tabela 24. Parâmetros do ensaio, com fita de papel branco esticada no chão, para levantamento da sobreposição da pulverização no alvo, durante a comutação das pontas. Estimativas com base em uma velocidade de 7 km.h^{-1} .

Parâmetro	Posição	Taxas comutadas L.ha^{-1} 147 \rightarrow 109		Taxas comutadas L.ha^{-1} 184 \rightarrow 147	
		Distância (m)	Tempo (s. 10^{-2})	Distância (m)	Tempo (s. 10^{-2})
Comutação	Estática, do GPS em relação à estaca (com GPS parado)	0,00		0,00	
		1,41	72	2,56	131
		1,55	79	3,15	162
		1,88	96	3,46	178
Diferença	Leque B aberto - Estática	1,55	79	3,15	162
		0,14	07	0,59	30
Sobreposição	Leque A fechado - Primeira gota	0,47	24	0,90	46
		0,33	17	0,31	16

A metodologia de pulverizar com corante azul em papel branco mostrou-se eficiente, porém morosa de ser realizada. Pela Tabela 24 observa-se que a distância de sobreposição em campo foi de 0,33 m e 0,31 m, para o ensaio de 147 para 109 L.ha^{-1} e 184 para 147 L.ha^{-1} , respectivamente. Dos dados do ensaio de comutação de pontas para VRT, o maior valor encontrado de tempo de sobreposição foi de 16,67 centésimos de segundo, fornecendo um deslocamento de 0,32 m, mostrado que o ensaio de campo veio a confirmar os dados levantados em laboratório.

7 CONCLUSÕES

O protótipo desenvolvido se apresentou robusto e eficiente para a utilização prática, sendo possível realizar tanto o ajuste do tamanho da gota em função de variação das condições climáticas como a aplicação em taxas variáveis a partir de informações contidas em mapas de recomendação. Os sensores climáticos se mostraram adequados para uso embarcado no sistema de comutação de pontas do bico a partir de dados climáticos. Os algoritmos propostos foram eficientes e proporcionaram o ajuste da tecnologia de aplicação às condições de cada situação de trabalho.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABI-SAAB, O.J.G.A.; GENTA, W. & PICKLER, H.M.B. Indicador de Velocidade do Vento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p.168–171. 1 CD-Rom.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra**. St. Joseph: ASAE, Norma S-572, 2004.

ANTUNIASSI, U.R. **Avaliação de sistemas de injeção de defensivos para utilização em agricultura de precisão**. 1999. 83 f. Tese (livre Docência pelo Departamento de Engenharia Rural) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

ANTUNIASSI, U. R. Avanços na tecnologia de aplicação de defensivos. In: Hiromoto, D. (Org.). **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 2003. v.1, p.168-171.

ANTUNIASSI, U.R. Tecnologia de aplicação em taxas variáveis. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2004, p.158-166. 1 CD-Rom.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Vargas, L.; Roman, E. S. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. v.1, p.145-184.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIIO F. H. R.; BIZARI, I. R. Sistema de suporte a decisão para seleção de pontas de pulverização em sistemas de aplicação de defensivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: FAPEAGRO, 2005, 2p. 1 CD-Rom.

ANTUNIASSI, U.R.; CAMARGO, T.V; BONELLI, M.A.P.O., ROMAGNOLE, E.W.C. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004a. p.48-51. 1 CD-Rom.

ANTUNIASSI, U.R.; FIGUEIREDO, Z.N.; BAIO, F.H.R.; MARCONATO, E.S. Desempenho dinâmico de um sistema de pulverização com controle independentes para volume de calda e dose do defensivo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004b. p.108-111. 1 CD-Rom.

ANTUNIASSI, U.R.; NERY, M. S.; QUEIROZ, C. A. S. Aplicação de herbicidas em taxas variáveis utilizando sensores ópticos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004c. p.24-27. 1 CD-Rom.

ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; NOGUEIRA, H.C. Soil and weed survey for Spatially Variable herbicides application on railways. **Precision Agriculture: An International Journal on Advances in Precision Agriculture**, Norwell, v.5, n.1, p.27-40, 2004d.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de uso correto e seguro de produtos fitossanitários/agrotóxicos**. São Paulo: ANDEF, 2002. 28p.

BAIO, F. H. R. **Aplicação localizada de defensivos baseada na variabilidade espacial das plantas daninhas**. 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração: Máquinas Agrícolas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

BALAN, M.G.; ABI-SAAB, O.J.G.A.; SILVA, C.G. Deposição de três pontas de pulverização em diferentes horários. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p.96-99. 1 CD-Rom.

BALASTREIRE, L. A.; BAIO, F. H. R.; AMARAL, J. R.; RODRIGUES, A. A. Avaliação da acurácia cinemática de um DGPS, utilizado na agricultura de precisão. In: BALASTREIRE, L. A. **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: ed. L.A. Balastreire, 2000. p.173-181.

BALASTREIRE, L. A.; BAIO, F. H. R. Avaliação do desempenho de um GPS com algoritmo otimizado se sinal de correção para agricultura de precisão. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1998-2001**. Piracicaba: ed. L.A. Balastreire, 2002. p.285-288.

BARRIGA, M.J.; LÓPEZ, L.A.; HEWITT, L.G.F.; SALAZAR, L.C. Efecto del tamaño y cantidad de gotas de agroquímicos sobre la cobertura del follaje. **Acta Agronomica**, Palmira-CO, v.33, n.3, p.23-35, 1983.

BOHMONT, B.L. **The standard pesticide user's guide**. New Jersey: Regents/Prentice Hall, 1990. 495p.

BOLLER, W. Evolução da qualidade em equipamentos de aplicação. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2004. p.49-53. 1 CD-Rom.

BOLLER, W.; FORCELINI, C.A.; HAGEMANN, A.; TRES, I. Aplicação de fungicida para o controle de oídio em soja, com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p.17-20. 1 CD-Rom.

BONELLI, M. A. P. O. **Eficiência do flutriafol e do flutriafol + tiofanato metílico aplicados com gotas finas ou médias no controle da ferrugem asiática da soja**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração: Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2006.

CARLTON, J.B.; BOUSE, L.F.; O'NEAL, H.P.; WALLA, W.J. Mechanical factors affecting aerial spray coverage of soybeans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.2, p.1605-1607, 1983.

CARRERO, J.M. **Lucha integrada contra las plagas agrícolas y forestales**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 256p.

CHAN, C. W.; SCHUELLER, J. K.; MILLER, W. M.; WHITNEY, J. D.; CORNELL, J. A. Error sources affecting variable rate application of nitrogen fertilizer. **Precision Agriculture: An International Journal on Advances in Precision Agriculture**, Norwell, v.5, n.6, p.601-616, 2004.

CHAPPLE, A.C.; WOLF, T.M.; DOWNER, R.A.; TAYLOR, R.A.J.; HALL, F.R. Use of nozzle-included air-entrainment to reduce active ingredient requirements for pest control. **Crop Protection**, Guildford, v.16, n.4, p.323-329, 1997.

CHOW, P.N.P. Adjuvants in spray formulation in relation to foliar application of herbicides. In: MATTHEWS, G.A.; HILSOP, E.C.A. **Application Technology for Crop Protection**. Wallingford: CAB International, 1993. p.291-304.

COMBELLACK, J.H.; WESTERN, N.M.; RICHARDSON, R.G. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. **Crop Protection**, Guildford, v.15, n.2, p.147-152, 1996.

COUTINHO, P.; CORDEIRO, C.M. A ponta é fundamental. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n.14, p.26-28, 2002.

CUNHA, J.P.R.; TEIXEIRA, M.M. Escolha a dedo. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n.18, p.8-11, 2003.

CUNHA, J.P.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F. e FERNANDES, H.C. Avaliação do espectro de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica de difração do raio laser. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p.60-63. 1 CD-Rom.

DURIGAN, J.C. **Efeitos de adjuvantes na aplicação e eficácia dos herbicidas**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 42p.

ELLIS, M.C.B.; TUCK, C.R. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. **Crop Protection**, Guildford, v.18, n.1, p.101-109, 1999.

FAROOQ, M.; BALACHANDAR, D.W.; WOLF, T.M. Agricultural sprays in cross-flow and drift. **Journal of Agriculture Engineering Research**, London, v.78, n.4, p.347-358, 2001.

FIGUEIREDO, Z.N.; ANTUNIASSI, U.R.; GADANHA JÚNIOR, C.D. Desempenho de sistemas de controle de pulverização em condições de campo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.2, p.139-146, 2000.

FIGUEIREDO, Z.N.; ANTUNIASSI, U.R.; MARCONATO, E.S. Equacionamento do tempo de resposta de um sistema de injeção para aplicação localizada de defensivos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p.156-159. 1 CD-Rom.

FOY, C. L. (ed) **Adjuvante for agrochemicals**. Florida: CRC Press, 1992, p.503-512.

FRANZ, E.; BOUSE, L.F.; CARLTON, J.B.; KIRK, I.W.; LATHEEF, M.A. Aerial spray deposit relations with plant canopy and weather parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.41, n.4, p.959-966, 1998.

FRASER, R.P. The fluid kinetics of application of pesticidal chemicals. In: METCALF, R.L. **Advances in pest control research**. New York: Interscience, 1958. v.2, p.1-106.

GADANHA JÚNIOR, C. D. **Avaliação do tempo de resposta de controladores eletrônicos em pulverizadores agrícolas**. 2000. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2000.

HADAR, E. Development criteria for an air-assisted ground crop sprayer. In: Brighton Crop Protecion Conference, 9., 1991, Farnhan. **Proceedings...** Farnhan: BCPC, 1991. p.23-26.

HAN, S.; HENDRICKSON, L.L; ZHANG, B.N.Q. Modification and testing of a commercial sprayer with PWM solenoids for precision spraying. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.17, n.5, p.591-594, 2001.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS theory and practice**. Berlin: Springer, 1997. 389p.

HURN, J., **Differential GPS explained** (Revision 4/96). Sunnyvale: Trimble Navigation, 1993. 55 p.

JOHNSON, M.P.; SWETNAM, L.D. **Sprayer nozzles: selection and calibration**. 1996. Disponível em: <<http://www.uky.edu/Ag/PAT/pat3/pat3.pdf#search=%22%22sprayer%20nozzles%22%22>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

KORNIS, N.D.Q. Gotas de ótimo efeito biológico - influência do vôo noturno no tamanho de partículas. In: TECNOLOGIA E SEGURANÇA NA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 1., 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SASM, 1998. p.79-85.

KRISHNAN, P.; GAL, I.; KEMBLE, L.J.; GOTTFRIED, S.L. Effect of sprayer bounce and wind condition on spray pattern displacement of TJ60-8004 fan nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.36, n.4, p.997-1000, 1993.

LAMASTUS-STANFORD, F. E.; SHAW, D. R. Evaluation of site-specific weed management implementing the herbicide application decision support system (HADSS). **Precision Agriculture: An International Journal on Advances in Precision Agriculture**, Norwell, v.5, n.4, p.411-426, 2004.

LOWENBERG-DEBOER, J.; SWINTON, S.M. **Economics of site-specific management in agronomic crops**. W. Lafayette: Purdue University, 1995. 29p. (Staff, Paper, 95-14).

MÁRQUEZ, L. Tecnologia para la aplicaciòn de defensivos agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 1997. 1 CD-Rom.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. 3.ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 432p.

MATTHEWS, G.A. Electrostatic spraying of pesticides: a review. **Crop Protection**, Guildford, v.8, n.1, p.3-15, 1989.

MATUO, T. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS AGRÔNOMOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Uso adequado de defensivos agrícolas e receituário agrônômico**. Jaboticabal: AEASP, 1980. p.43-75.

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

MATUO, T.; NAKAMURA, S.H.; ALMEIDA, A. Efeitos de alguns adjuvantes da pulverização nas propriedades físicas do líquido. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v.15, n.1, p.164-173, 1989.

MILLER, P.C.H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G.A.; HILSOP, E.C.A. **Application technology for crop protection**. Wallingford: CAB International, 1993. p.101-122.

MILLER, P.C.H.; SMITH, R.W. The effect of forward speed on the drift from boom sprayers. In: Brighton Crop Protection Conference, 15., 1997, Farnham. **Proceedings...** Farnham: BCPC, 1997. p.399-406.

MILLER, P.C.H.; STOUGHTON, T.E. Response of spray drift from aerial application at a forest edge to atmospheric stability. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.100, n.1, p.49-58, 2000.

MILLER, P.C.H., PAICE, M.E.R., GANDERTON, A.D. Methods of controlling sprayer output for spatially variable herbicide application. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE, 15., 1997, Farnham. **Proceedings..** Farnham: BCPC, 1997. p.641-644.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.2, p.97-107, 1997.

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.17, n.3, p.121-132, 1998.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: FEALQ, 2001. 83p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp. 2000. 287p.

NERY, M. S. **Desenvolvimento de sistema para aplicação de herbicidas em doses variáveis com sensor óptico para detecção de plantas daninhas**. 2003. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2003.

NERY, M.S.; ANTUNIASSI, U.R. Desenvolvimento de metodologias para avaliação de sensores ópticos utilizados em sistemas de aplicação localizada de herbicidas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p.116-119. 1 CD-Rom.

NORDMEYER, H.; HAUSLER, A.; NIEMANN, P. Patchy weed control as an approach in precision farming. In: **Precision agriculture, 1997: Technology, IT and management**. Bios Scientific Publishers, SCI, Warwick. v.1, p.307-314. 1997.

OZKAN, H.E. Herbicide formulations, adjuvants, and spray drift management. In: SMITH, A.E. **Handbook of weed management systems**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.217-244.

OZKAN, H.E.; MIRALLES, A.; SINFORD, C.; ZHU, H.; FOX, R.D. Shields to reduce spray drift. **Journal of Agriculture Engineering Research**, London, v.67, n.4, p.311-322, 1997.

PAICE, M.E.R.; MILLER, P.C.H.; DAY, W. Control requirements for spatially selective herbicide sprayers. **Computers and electronics in agriculture**, v.14, p.163-177, 1996.

PEREIRA, F. J. S. **Construção de uma bancada de ensaio e avaliação de um sistema de mensuração da produtividade de grãos**. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração: Máquinas Agrícolas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

QUANTICK, H.R. Meteorology and micro climate. In: QUANTICK, H.R. **Aviation in crop protection, pollution and insect control**. London: Collins, 1985. p.120-139.

RAMOS, H.H. No lugar certo. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n.6, p.16-19, 2001.

RAMOS, H.H.; PIO, L.C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M.Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa: ANDEF, 2003. p.133-201.

RIETZ, S.; PÁLYL, B.; GANZELMEIER, H.; LÁSZLO, A. Performance of electronic controls for field sprayers. **Journal of Agriculture Engineering Research**, London, v.68, p.399-407, 1997.

RILEY, C.M.; WIESNER, C.J. On-target and off-target deposition. In: ECOBICHON, D.J. **Occupational hazards of pesticide exposure**. Philadelphia: Taylor & Francis, 1999. p.9-50.

ROBINSON, T.H. The methodology of application. In: HANCE, R.J.; HOLLY, K. **Weed control handbook: principles**. Oxford: Blackwell Scientific, 1990. p.153-181.

RUEDELL, J. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Plantio Direto**, Brasília, v.19, n.6, p.9-11, 2002.

SANAEI, A.; YULE, I.J. **Yield measurement reliability on combine harvesters**. St. Joseph: ASAE, 1996. 14p. (Paper, 96-1020).

SANTOS, J.M.F. dos **Aviação agrícola**, 1992. 99p.

SCHUELLER, J.K. A review and integrating analysis of Spatially-Variable Control of crop production. **Fertilizer Research**, The Hague, v.33, p.1-34, 1992.

SCUDELER, F.; FUGIKAWA, L.H.; RAETANO, C.G. Influência do tipo de ponta de pulverização e do volume de aplicação na deposição do traçador cobre na cultura da batata. (*Solanum Tuberosum* L.). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p. 179-182. 1 CD-Rom.

SEARCY, S.W. Agricultura de precisão: um desafio para a extensão e educação continuada. In: Balastreire, L.A. (ed). **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. p.17-24.

SIQUEIRA, J.A.C. **Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural**. 2005. 189 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2005.

SKUTERUD, R.; BJUGSTAD, N.; TYLDUM, A.; TORRESEN, K.S. Effect of herbicide applied at different times of the day. **Crop Protection**, Guildford, v.17, n.1, p.41-46, 1998.

SMITH, D.B.; HARRIS, F.D.; GOERING, C.E. Variables affecting drift from ground boom sprayers. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.25, n.1, p.1499-1503, 1982.

SOUTHCOMBE, E.S.E.; SEAMAN, D. The principles of formulation and application. In: HANCE, R.J.; HOLLY, K. **Weed control handbook: principles**. Oxford: Blackwell Scientific, 1990. p.127-152.

STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Spatially variable treatment of weed patches. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996. Minneapolis, **Proceedings...** Minneapolis, 1996. p.465-474.

TEEJET Spraying Systems: guia do comprador 201 – BR/P. Wheaton, 2001. 29 p.

THOMPSON, N.; LEY, A.J. Estimating spray drift using random-walk model of evaporating drops. **Journal of Agriculture Engineering Research**, London, v.28, p.419-435, 1983.

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

VELLOSO, J.A.R.O.; SOUZA, R.O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizador de barra. In: GUEDES, J.C. et al. **Tecnologia e segurança na aplicação de produtos fitossanitários**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Defesa Fitossanitária, Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1996. p.31-60.

APÊNDICES

Apêndice 1

Descrição das configurações do Controlador

Na Tabela 25 são apresentados todos os fatores existentes na Tela Principal, assim como no módulo Configuração de Aplicação, encontrados no monitor de pulverização ao término dos ensaios.

Tabela 25. Fatores existentes da Tela Principal e do módulo Configuração de Aplicação do monitor de pulverização, apresentando os valores durante os ensaios.

Tela Principal		Configuração de Aplicação	
Fatores	Valores	Fatores	Valores
Taxa de aplicação	100 L.ha ⁻¹	Taxa desejada	100 L.ha ⁻¹
Velocidade de deslocamento	1,94 m.s ⁻¹	Tipo de ponta	vermelha=200 kPa → 1,29 L.min ⁻¹
Qual memória esta utilizando	Mem 1	Alteração da taxa	10%
Área pulverizada	6,9 ha	Volume do tanque	1000 L
Pressão do sistema	+200 kPa	Acionar alarme de fim do tanque	5%
Litros gastos	Xx L	Densidade da calda	1,0 kg.L ⁻¹
Quantidade de produto no Tanque	Xx L		

Já a Tabela 26 apresenta todos os fatores existentes nos módulos Selecionar Memória e Configuração Avançada, encontrados no monitor de pulverização ao término dos ensaios.

Tabela 26. Fatores existentes do módulo Selecionar Memória e módulo Configuração Avançada do monitor de pulverização, apresentando os valores durante os ensaios.

Selecionar Memória			Configuração Avançada	
Fatores		Valores	Fatores	Valores
Mem 1	Mem 1	6,9 há	Tipo de sensor	Fluxo
	Tempo	1 h 50m	Pulsos por litro do fluxômetro	580
	Volume	1521 L	Pressão mínima de trabalho	0,5 bar
		3,7 ha.h ⁻¹	Pressão máxima de trabalho	8,0 bar
Performance				
Mem 2		0	Espaçamento entre bicos	75 cm
Mem 3		0	Seção 1	5 bicos
Mem 4		0	Seção 2	3 bicos
Mem 5		0	Seção 3	5 bicos
Mem total	Mem total	6,9 há	Seção 4	0 bicos
	Tempo	1 h 50m	Seção 5	0 bicos
	Volume	1521 L	Válvula de seção	= sem retorno com retorno
		3,7 ha.h ⁻¹	Pos. Reguladora	= Retorno Pressão
Performance				
Zerar Memórias?		Sim ou Não	Sensor de velocidade	= ajustar Calibrar
			Ajustar valor	100m = 216 pulsos
			Simulador de Velocidade	7 km.h ⁻¹
			Tempo da válvula	ajuste grosso = 15
			Tempo da válvula	ajuste fino = 10
			Comunicação	= nenhuma Serial

Apêndice 2

Planejamento de missão para levantamento com GPS

Gráficos do planejamento de missão do GPS para o dia 07 de setembro de 2005.

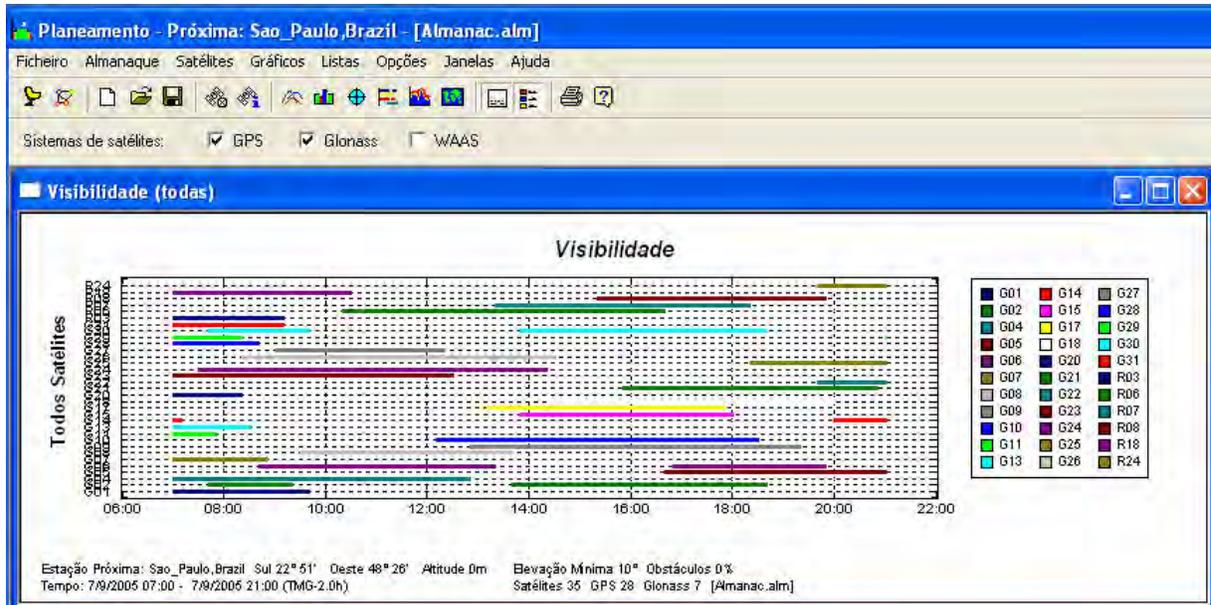


Figura 33. Horário de disponibilidade de todos os satélites durante o dia.

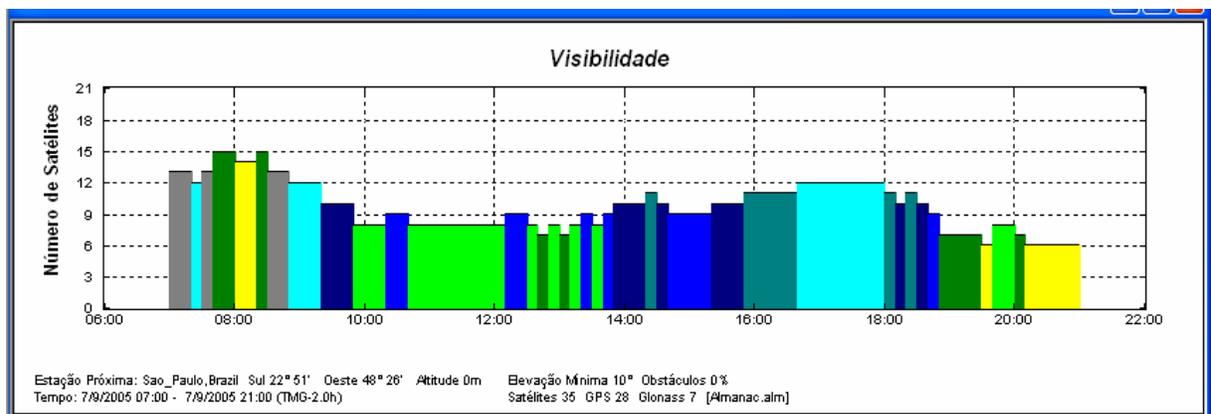


Figura 34. Número de satélites disponíveis em cada horário do dia.

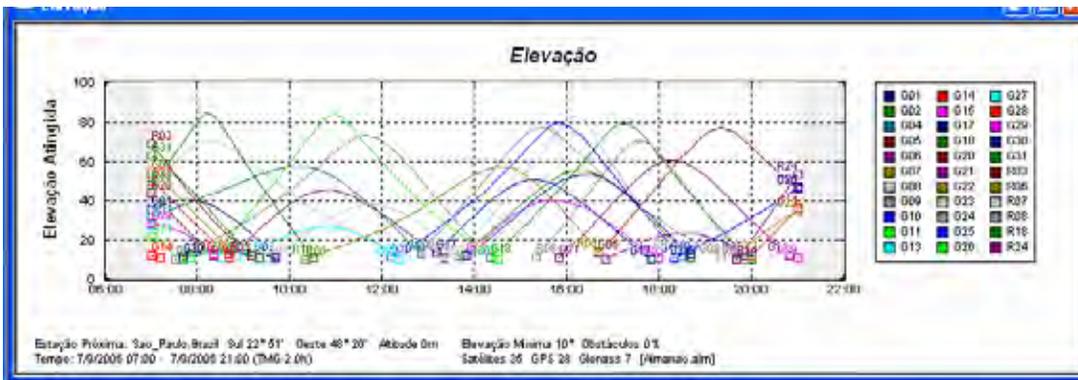


Figura 35. Número de elevação disponível em cada horário do dia.

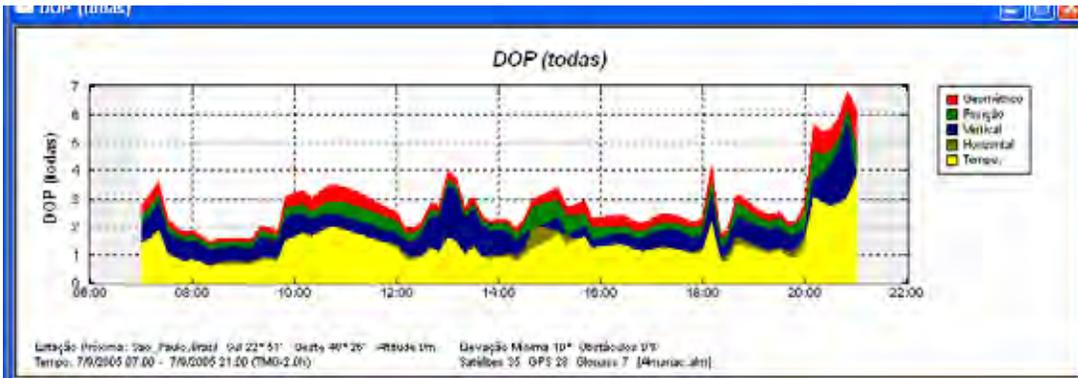


Figura 36. PDOP disponível em cada horário do dia.

Apêndice 3

Dados levantados de vazão e número de pulsos do ensaio de fluxômetro, assim com alguns valores da análise estatística.

Tabela 27. Dados levantados em laboratório de vazão e número de pulsos para as quatro concentrações estudadas do fluxômetro de turbina.

Tratamento	0 % sal		2 % sal		3 % sal		5 % sal	
	Vazão (L.min ⁻¹)	nº pulsos						
1	5,372	54,417	5,704	59,300			5,305	54,483
1	5,359	54,267	5,806	60,250			5,390	55,200
1	5,748	59,333	5,645	59,417			5,505	57,383
1	5,794	59,500	5,667	59,833			5,672	58,150
2	10,604	113,483	11,279	120,467	10,582	113,350	10,413	112,100
2	10,897	114,267	11,287	120,667	10,632	114,000	10,581	114,750
2	10,824	114,417	11,176	120,367	10,775	115,617	10,766	114,750
2	10,864	114,433	12,214	120,667			10,999	114,917
3	20,183	211,817	19,852	212,917	20,219	213,267	19,463	206,417
3	20,279	212,150	19,822	213,617	19,940	213,300	19,757	207,233
3	20,301	212,350	20,066	214,300	19,812	212,700	19,563	209,917
3	20,111	212,450	20,089	214,133			19,675	210,017
4	30,207	322,800	31,533	326,200			29,493	319,217
4	30,441	323,350	30,911	326,767			29,357	321,867
4	30,636	323,117	30,867	326,833			29,715	317,500
4	30,447	322,767	30,950	326,867			30,180	324,833
5	38,461	408,417	38,911	414,933	38,146	410,567	36,936	397,967
5	38,626	408,350	38,396	413,533	38,342	410,867	36,948	401,100
5	38,321	406,300	38,996	414,767	37,717	411,133	38,594	409,833
5	38,206	403,200	39,460	413,733			38,177	408,400
6	50,387	536,000	51,077	518,967			47,346	511,600
6	50,063	535,133	50,970	528,567			47,390	506,733
6	49,828	537,683	50,143	527,967			48,841	516,800
6	49,990	534,900	49,979	528,867			46,755	502,000

Tabela 28. Dados levantados em laboratório de vazão e número de pulsos para as quatro concentrações estudadas do fluxômetro eletromagnético.

Tratamento	0 % sal		2 % sal		3 % sal		5 % sal	
	Vazão (L.min ⁻¹)	n° pulsos						
1	5,376	95,935	5,842	85,822			5,825	71,026
1	5,335	73,971	5,539	85,351			5,594	83,146
1	5,359	89,368	5,462	94,362			5,611	58,690
1	5,243	57,875	5,586	73,743			5,685	75,486
2	10,551	122,567	10,727	126,283	11,353	129,900	11,417	128,450
2	10,508	121,933	10,729	127,467	11,229	129,950	11,410	128,983
2	10,565	122,867	10,922	127,333	11,051	128,733	11,051	128,817
2	10,541	122,967	10,789	126,183			11,265	130,250
3	19,811	187,600	20,418	193,500	20,062	191,467	20,285	191,533
3	19,742	187,317	20,044	191,400	19,830	188,133	20,068	191,167
3	19,610	187,400	20,111	190,867	19,670	190,667	19,978	190,667
3	19,817	186,383	19,887	191,483			20,157	190,883
4	30,045	255,932	30,675	262,700			29,810	259,667
4	29,299	254,700	31,423	262,967			30,063	260,617
4	30,002	257,350	30,606	262,633			29,936	261,000
4	29,669	257,100	30,563	262,367			30,019	260,933
5	38,434	312,967	39,217	325,267	38,822	323,900	38,904	319,933
5	37,301	308,400	39,858	324,700	39,740	324,900	38,594	321,100
5	39,122	309,100	39,122	324,233	39,485	326,067	37,303	315,333
5	37,306	308,067	39,270	326,933			39,111	321,133
6	50,316	394,600	49,801	403,133			47,792	389,200
6	49,405	394,000	51,041	398,333			49,634	396,367
6	49,040	390,067	50,849	402,967			47,722	384,967
6	49,434	391,400	50,440	402,733			48,660	390,900

Tabela 29. Análise estatísticos referentes a vazão e número de pulsos para as quatro concentrações estudadas do fluxômetro de turbina.

Concentração		0% sal		2% sal		3% sal		5% sal		todos densidades	
Caracteres estatísticos	Tratamento	Vazão (L.min ⁻¹)	n° pulsos								
média	1	5,568	56,879	5,706	59,700			5,468	56,304	5,581	57,628
desv. Padrão	1	0,235	2,931	0,071	0,432			0,159	1,742	0,183	2,372
Coefficiente Variação	1	4,217	5,154	1,251	0,724			2,901	3,094	3,286	4,116
interv. Conf. (99%)	1	0,302	3,775	0,092	0,557			0,204	2,244	0,136	1,764
média	2	10,797	114,150	11,489	120,542	10,663	114,322	10,690	114,129	10,926	115,883
desv. Padrão	2	0,132	0,451	0,486	0,150	0,100	1,167	0,251	1,355	0,442	3,016
Coefficiente Variação	2	1,226	0,395	4,226	0,124	0,937	1,021	2,352	1,187	4,045	2,603
interv. Conf. (99%)	2	0,170	0,580	0,625	0,193	0,149	1,736	0,324	1,745	0,294	2,006
média	3	20,219	212,192	19,957	213,742	19,990	213,089	19,614	208,396	19,942	211,772
desv. Padrão	3	0,088	0,279	0,140	0,622	0,208	0,337	0,129	1,845	0,262	2,373
Coefficiente Variação	3	0,435	0,132	0,701	0,291	1,041	0,158	0,655	0,885	1,314	1,121
interv. Conf. (99%)	3	0,113	0,360	0,180	0,801	0,309	0,501	0,166	2,376	0,174	1,578
média	4	30,433	323,008	31,065	326,667			29,686	320,854	30,395	323,510
desv. Padrão	4	0,176	0,277	0,314	0,314			0,361	3,204	0,646	3,021
Coefficiente Variação	4	0,577	0,086	1,011	0,096			1,215	0,998	2,125	0,934
interv. Conf. (99%)	4	0,226	0,357	0,404	0,404			0,465	4,126	0,480	2,246
média	5	38,403	406,567	38,941	414,242	38,069	410,856	37,664	404,325	38,283	408,873
desv. Padrão	5	0,182	2,450	0,436	0,710	0,320	0,283	0,851	5,709	0,682	4,990
Coefficiente Variação	5	0,473	0,603	1,119	0,172	0,840	0,069	2,259	1,412	1,780	1,220
interv. Conf. (99%)	5	0,234	3,155	0,561	0,915	0,475	0,422	1,096	7,353	0,453	3,319
média	6	50,067	535,929	50,542	526,092			47,583	509,283	49,397	523,768
desv. Padrão	6	0,235	1,262	0,561	4,765			0,887	6,362	1,467	12,235
Coefficiente Variação	6	0,470	0,235	1,110	0,906			1,865	1,249	2,970	2,336
interv. Conf. (99%)	6	0,303	1,625	0,723	6,137			1,143	8,193	1,091	9,098

Tabela 30. Análise estatísticos referentes a vazão e número de pulsos para as quatro concentrações estudadas do fluxômetro eletromagnético.

Concentração		0% sal		2% sal		3% sal		5% sal		todos densidades	
Caracteres estatísticos	Tratamento	Vazão (L.min ⁻¹)	n° pulsos								
média	2	10,541	122,583	10,792	126,817	11,211	129,528	11,286	129,125	10,940	126,846
desv. Padrão	2	0,024	0,465	0,092	0,677	0,152	0,688	0,172	0,782	0,336	2,926
Coefficiente Variação	2	0,231	0,380	0,851	0,534	1,353	0,532	1,520	0,606	3,075	2,307
interv. Conf. (99%)	2	0,031	0,599	0,118	0,872	0,226	1,024	0,221	1,008	0,224	1,946
média	3	19,745	187,175	20,115	191,813	19,854	190,089	20,122	191,063	19,966	190,031
desv. Padrão	3	0,096	0,541	0,223	1,158	0,197	1,740	0,131	0,375	0,228	2,087
Coefficiente Variação	3	0,487	0,289	1,107	0,604	0,991	0,915	0,652	0,196	1,140	1,098
interv. Conf. (99%)	3	0,124	0,697	0,287	1,491	0,293	2,588	0,169	0,483	0,151	1,388
média	4	29,754	256,271	30,817	262,667			29,957	260,554	30,176	259,830
desv. Padrão	4	0,347	1,216	0,407	0,246			0,111	0,615	0,559	2,872
Coefficiente Variação	4	1,165	0,474	1,320	0,094			0,372	0,236	1,853	1,105
interv. Conf. (99%)	4	0,447	1,566	0,524	0,317			0,143	0,792	0,416	2,135
média	5	38,040	309,633	39,367	325,283	39,349	324,956	38,478	319,375	38,773	319,469
desv. Padrão	5	0,896	2,264	0,333	1,178	0,474	1,084	0,812	2,752	0,848	6,851
Coefficiente Variação	5	2,356	0,731	0,846	0,362	1,204	0,334	2,110	0,862	2,187	2,145
interv. Conf. (99%)	5	1,154	2,915	0,429	1,518	0,705	1,613	1,046	3,544	0,564	4,557
média	6	49,549	392,517	50,533	401,792			48,452	390,358	49,511	394,889
desv. Padrão	6	0,542	2,144	0,548	2,311			0,896	4,719	1,081	5,968
Coefficiente Variação	6	1,094	0,546	1,085	0,575			1,850	1,209	2,184	1,511
interv. Conf. (99%)	6	0,698	2,761	0,706	2,977			1,154	6,078	0,804	4,438

Apêndice 4

Valores levantados e calculados dos ensaios de tempo de resposta de comutação das pontas para o sistema baseado em condições climáticas.

Tabela 31. Valores de tempo de resposta dos componentes levantados, do bico central da barra de pulverização, no ensaio de comutação das pontas para o sistema baseado em condições climáticas.

Bico	Comutação Bico	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
CTR 1R	1-2	0	20,00	23,33	33,33	40,00	56,67	6,67	56,67
	2-3	0	20,00	20,00	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
	3-1	0	20,00	16,67	30,00	40,00	50,00	10,00	50,00
	1-3	0	20,00	13,33	26,67	36,67	50,00	10,00	50,00
	3-2	0	20,00	23,33	36,67	36,67	46,67	0,00	46,67
	2-1	0	20,00	20,00	33,33	33,33	43,33	0,00	43,33
CTR 2R	1-2	0	20,00	23,33	33,33	33,33	40,00	0,00	40,00
	2-3	0	20,00	20,00	30,00	33,33	40,00	3,33	40,00
	3-1	0	20,00	20,00	30,00	36,67	46,67	6,67	46,67
	1-3	0	23,33	20,00	30,00	36,67	43,33	6,67	43,33
	3-2	0	20,00	23,33	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
	2-1	0	20,00	20,00	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
CTR 3R	1-2	0	20,00	33,33	40,00	36,67	40,00	-3,33	40,00
	2-3	0	20,00	20,00	30,00	33,33	40,00	3,33	40,00
	3-1	0	23,33	20,00	30,00	33,33	46,67	3,33	46,67
	1-3	0	20,00	16,67	30,00	30,00	33,33	0,00	33,33
	3-2	0	20,00	40,00	53,33	36,67	43,33	-16,67	43,33
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	33,33	36,67	3,33	36,67

CTR –bico central da barra de pulverização; 1R – primeira repetição; 2R – segunda repetição; 3R – terceira repetição.

Tabela 32. Valores de tempo de resposta dos componentes levantados, dos bicos 6, 4 e 2 do lado direito da barra de pulverização, no ensaio de comutação das pontas para o sistema baseado em condições climáticas.

Bico	Comutação Bico	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
6D 1R	1-2	0	23,33	26,67	40,00	40,00	56,67	0,00	56,67
	2-3	0	23,33	23,33	40,00	43,33	56,67	3,33	56,67
	3-1	0	23,33	23,33	33,33	36,67	60,00	3,33	60,00
	1-3	0	20,00	20,00	30,00	36,67	60,00	6,67	60,00
	3-2	0	20,00	23,33	40,00	40,00	53,33	0,00	53,33
	2-1	0	23,33	23,33	33,33	40,00	60,00	6,67	60,00
6D 2R	1-2	0	20,00	23,33	36,67	33,33	53,33	-3,33	53,33
	2-3	0	20,00	23,33	36,67	40,00	56,67	3,33	56,67
	3-1	0	20,00	20,00	33,33	43,33	63,33	10,00	63,33
	1-3	0	20,00	23,33	33,33	33,33	46,67	0,00	46,67
	3-2	0	20,00	26,67	40,00	43,33	56,67	3,33	56,67
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	40,00	56,67	10,00	56,67
6D 3R	1-2	0	20,00	26,67	36,67	36,67	46,67	0,00	46,67
	2-3	0	23,33	26,67	36,67	40,00	56,67	3,33	56,67
	3-1	0	20,00	20,00	30,00	43,33	53,33	13,33	53,33
	1-3	0	20,00	23,33	30,00	33,33	43,33	3,33	43,33
	3-2	0	20,00	26,67	36,67	43,33	50,00	6,67	50,00
	2-1	0	16,67	16,67	26,67	33,33	53,33	6,67	53,33
4D 1R	1-2	0	23,33	23,33	33,33	36,67	53,33	3,33	53,33
	2-3	0	20,00	20,00	33,33	36,67	56,67	3,33	56,67
	3-1	0	20,00	16,67	33,33	40,00	66,67	6,67	66,67
	1-3	0	20,00	16,67	30,00	33,33	50,00	3,33	50,00
	3-2	0	20,00	23,33	40,00	40,00	53,33	0,00	53,33
	2-1	0	20,00	16,67	30,00	36,67	53,33	6,67	53,33
4D 2R	1-2	0	20,00	23,33	33,33	36,67	53,33	3,33	53,33
	2-3	0	20,00	16,67	30,00	36,67	53,33	6,67	53,33
	3-1	0	20,00	20,00	30,00	40,00	43,33	10,00	43,33
	1-3	0	20,00	16,67	30,00	33,33	46,67	3,33	46,67
	3-2	0	20,00	26,67	36,67	43,33	53,33	6,67	53,33
	2-1	0	20,00	20,00	33,33	36,67	53,33	3,33	53,33
4D 3R	1-2	0	20,00	23,33	30,00	36,67	50,00	6,67	50,00
	2-3	0	20,00	16,67	30,00	36,67	50,00	6,67	50,00
	3-1	0	16,67	16,67	26,67	40,00	53,33	13,33	53,33
	1-3	0	20,00	16,67	26,67	33,33	46,67	6,67	46,67
	3-2	0	20,00	23,33	36,67	40,00	46,67	3,33	46,67
	2-1	0	20,00	16,67	26,67	33,33	43,33	6,67	43,33
2D 1R	1-2	0	20,00	20,00	36,67	40,00	66,67	3,33	66,67
	2-3	0	20,00	20,00	36,67	36,67	53,33	0,00	53,33
	3-1	0	20,00	16,67	30,00	36,67	56,67	6,67	56,67
	1-3	0	20,00	16,67	33,33	36,67	46,67	3,33	46,67
	3-2	0	20,00	20,00	36,67	40,00	46,67	3,33	46,67
	2-1	0	20,00	16,67	30,00	36,67	50,00	6,67	50,00
2D 2R	1-2	0	20,00	23,33	33,33	40,00	56,67	6,67	56,67
	2-3	0	23,33	20,00	33,33	36,67	46,67	3,33	46,67
	3-1	0	20,00	16,67	26,67	40,00	50,00	13,33	50,00
	1-3	0	23,33	16,67	30,00	36,67	50,00	6,67	50,00
	3-2	0	20,00	20,00	33,33	40,00	43,33	6,67	43,33
	2-1	0	20,00	13,33	23,33	33,33	43,33	10,00	43,33
2D 3R	1-2	0	20,00	20,00	33,33	40,00	50,00	6,67	50,00
	2-3	0	20,00	20,00	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
	3-1	0	20,00	13,33	23,33	40,00	46,67	16,67	46,67
	1-3	0	23,33	16,67	30,00	36,67	46,67	6,67	46,67
	3-2	0	20,00	20,00	30,00	40,00	46,67	10,00	46,67
	2-1	0	16,67	13,33	23,33	33,33	40,00	10,00	40,00

6 D – sexto bico da barra de pulverização do lado direito; 4 D – quarto bico da barra de pulverização do lado direito; 2 D – segundo bico da barra de pulverização do lado direito; 1R – primeira repetição; 2R – segunda repetição; 3R – terceira repetição.

Tabela 33. Valores de tempo de resposta dos componentes levantados, dos bicos 6, 4 e 2 do lado esquerdo da barra de pulverização, no ensaio de comutação das pontas para o sistema baseado em condições climáticas.

Bico – repetiç.	Comutação Bico	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
2E 1R	1-2	0	20,00	23,33	36,67	36,67	46,67	0,00	46,67
	2-3	0	20,00	20,00	33,33	40,00	46,67	6,67	46,67
	3-1	0	20,00	20,00	33,33	43,33	50,00	10,00	50,00
	1-3	0	23,33	20,00	33,33	40,00	46,67	6,67	46,67
	3-2	0	23,33	26,67	36,67	40,00	43,33	3,33	43,33
	2-1	0	20,00	20,00	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
2E 2R	1-2	0	20,00	26,67	36,67	40,00	46,67	3,33	46,67
	2-3	0	20,00	20,00	33,33	40,00	46,67	6,67	46,67
	3-1	0	23,33	26,67	36,67	40,00	46,67	3,33	46,67
	1-3	0	20,00	20,00	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
	3-2	0	20,00	26,67	36,67	40,00	43,33	3,33	43,33
	2-1	0	20,00	23,33	30,00	36,67	43,33	6,67	43,33
2E 3R	1-2	0	20,00	53,33	63,33	43,33	46,67	-20,00	46,67
	2-3	0	20,00	20,00	30,00	36,67	43,33	6,67	43,33
	3-1	0	23,33	20,00	30,00	40,00	46,67	10,00	46,67
	1-3	0	20,00	20,00	33,33	36,67	43,33	3,33	43,33
	3-2	0	20,00	53,33	66,67	43,33	46,67	-23,33	46,67
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	36,67	43,33	6,67	43,33
4E 1R	1-2	0	23,33	23,33	33,33	40,00	50,00	6,67	50,00
	2-3	0	20,00	16,67	30,00	40,00	50,00	10,00	50,00
	3-1	0	20,00	16,67	26,67	36,67	46,67	10,00	46,67
	1-3	0	20,00	10,00	26,67	36,67	50,00	10,00	50,00
	3-2	0	20,00	20,00	30,00	40,00	43,33	10,00	43,33
	2-1	0	20,00	16,67	30,00	36,67	46,67	6,67	46,67
4E 2R	1-2	0	23,33	23,33	36,67	40,00	50,00	3,33	50,00
	2-3	0	20,00	20,00	33,33	43,33	53,33	10,00	53,33
	3-1	0	20,00	16,67	30,00	40,00	50,00	10,00	50,00
	1-3	0	20,00	16,67	33,33	40,00	50,00	6,67	50,00
	3-2	0	20,00	23,33	36,67	40,00	43,33	3,33	43,33
	2-1	0	20,00	16,67	26,67	36,67	46,67	10,00	46,67
4E 3R	1-2	0	20,00	23,33	30,00	40,00	46,67	10,00	46,67
	2-3	0	20,00	16,67	30,00	40,00	43,33	10,00	43,33
	3-1	0	20,00	16,67	26,67	36,67	43,33	10,00	43,33
	1-3	0	23,33	20,00	30,00	40,00	46,67	10,00	46,67
	3-2	0	20,00	23,33	30,00	40,00	43,33	10,00	43,33
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	40,00	43,33	10,00	43,33
6E 1R	1-2	0	20,00	23,33	36,67	40,00	56,67	3,33	56,67
	2-3	0	20,00	23,33	33,33	40,00	53,33	6,67	53,33
	3-1	0	20,00	20,00	33,33	40,00	60,00	6,67	60,00
	1-3	0	20,00	20,00	33,33	40,00	53,33	6,67	53,33
	3-2	0	20,00	23,33	33,33	43,33	56,67	10,00	56,67
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	43,33	56,67	13,33	56,67
6E 2R	1-2	0	23,33	26,67	40,00	43,33	56,67	3,33	56,67
	2-3	0	20,00	23,33	40,00	43,33	56,67	3,33	56,67
	3-1	0	20,00	20,00	33,33	43,33	56,67	10,00	56,67
	1-3	0	20,00	23,33	36,67	40,00	53,33	3,33	53,33
	3-2	0	20,00	23,33	36,67	46,67	56,67	10,00	56,67
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	36,67	53,33	6,67	53,33
6E 3R	1-2	0	23,33	26,67	36,67	43,33	53,33	6,67	53,33
	2-3	0	23,33	26,67	40,00	43,33	53,33	3,33	53,33
	3-1	0	20,00	20,00	30,00	40,00	53,33	10,00	53,33
	1-3	0	20,00	23,33	36,67	40,00	50,00	3,33	50,00
	3-2	0	20,00	26,67	36,67	43,33	53,33	6,67	53,33
	2-1	0	20,00	20,00	30,00	40,00	50,00	10,00	50,00

2 E – segundo bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 4 E – quarto bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 6 E – sexto bico da barra de pulverização do lado esquerdo; 1R – primeira repetição; 2R – segunda repetição; 3R – terceira repetição.

Apêndice 5

Tabela 34. Valores de tempo de resposta dos componentes levantados no ensaio de comutação das pontas para o sistema baseado em VRT.

Bico - repetição	Comutação Bico	1	2	3	4	5	6	7	8
		Instante do comando (luz do painel) (s.10 ⁻²)	Tempo de sobreposição do algoritmo (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final abertura Leque B (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta início fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de resposta final fechamento Leque A (s.10 ⁻²)	Tempo de Sobreposição do leque de pulverização (s.10 ⁻²)	Tempo de Resposta do Sistema (s.10 ⁻²)
6D 1R	1-2	0,00	23,33	30,00	43,33	36,67	40,00	-6,67	40,00
	2-3	0,00	20,00	26,67	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
	3-1	0,00	20,00	23,33	36,67	43,33	43,33	6,67	43,33
	1-3	0,00	20,00	23,33	36,67	33,33	36,67	-3,33	36,67
	3-2	0,00	23,33	33,33	43,33	43,33	43,33	0,00	43,33
	2-1	0,00	20,00	23,33	36,67	36,67	40,00	0,00	40,00
6D 2R	1-2	0,00	20,00	26,67	40,00	33,33	36,67	-6,67	36,67
	2-3	0,00	10,00	6,67	16,67	16,67	20,00	0,00	20,00
	3-1	0,00	20,00	23,33	36,67	40,00	40,00	3,33	40,00
	1-3	0,00	23,33	26,67	36,67	33,33	36,67	-3,33	36,67
	3-2	0,00	23,33	33,33	43,33	43,33	43,33	0,00	43,33
	2-1	0,00	20,00	23,33	33,33	36,67	36,67	3,33	36,67
6D 3R	1-2	0,00	20,00	26,67	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
	2-3	0,00	20,00	23,33	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
	3-1	0,00	23,33	26,67	40,00	43,33	43,33	3,33	43,33
	1-3	0,00	20,00	23,33	36,67	33,33	36,67	-3,33	36,67
	3-2	0,00	20,00	30,00	40,00	40,00	40,00	0,00	40,00
	2-1	0,00	20,00	23,33	33,33	36,67	36,67	3,33	36,67
4D 1R	1-2	0,00	20,00	26,67	40,00	33,33	33,33	-6,67	33,33
	2-3	0,00	23,33	20,00	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
	3-1	0,00	20,00	23,33	36,67	43,33	43,33	6,67	43,33
	1-3	0,00	20,00	20,00	33,33	36,67	36,67	3,33	36,67
	3-2	0,00	20,00	30,00	43,33	43,33	43,33	0,00	43,33
	2-1	0,00	20,00	23,33	36,67	33,33	33,33	-3,33	33,33
4D 2R	1-2	0,00	20,00	26,67	40,00	33,33	33,33	-6,67	33,33
	2-3	0,00	20,00	20,00	30,00	33,33	33,33	3,33	33,33
	3-1	0,00	20,00	23,33	36,67	40,00	40,00	3,33	40,00
	1-3	0,00	20,00	20,00	30,00	33,33	33,33	3,33	33,33
	3-2	0,00	23,33	30,00	43,33	43,33	43,33	0,00	43,33
	2-1	0,00	20,00	26,67	33,33	36,67	36,67	3,33	36,67
4D 3R	1-2	0,00	23,33	30,00	40,00	36,67	36,67	-3,33	36,67
	2-3	0,00	23,33	20,00	30,00	36,67	36,67	6,67	36,67
	3-1	0,00	20,00	23,33	36,67	40,00	43,33	3,33	43,33
	1-3	0,00	20,00	20,00	30,00	33,33	33,33	3,33	33,33
	3-2	0,00	20,00	30,00	43,33	43,33	43,33	0,00	43,33
	2-1	0,00	23,33	26,67	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
2D 1R	1-2	0,00	23,33	26,67	33,33	36,67	36,67	3,33	36,67
	2-3	0,00	0,00	0,00	10,00	13,33	13,33	3,33	13,33
	3-1	0,00	16,67	16,67	26,67	40,00	40,00	13,33	40,00
	1-3	0,00	20,00	20,00	30,00	36,67	36,67	6,67	36,67
	3-2	0,00	23,33	26,67	40,00	43,33	43,33	3,33	43,33
	2-1	0,00	20,00	16,67	30,00	33,33	33,33	3,33	33,33
2D 2R	1-2	0,00	20,00	23,33	33,33	36,67	36,67	3,33	36,67
	2-3	0,00	23,33	23,33	33,33	33,33	36,67	0,00	36,67
	3-1	0,00	20,00	16,67	26,67	40,00	43,33	13,33	43,33
	1-3	0,00	23,33	20,00	30,00	36,67	36,67	6,67	36,67
	3-2	0,00	20,00	26,67	36,67	43,33	43,33	6,67	43,33
	2-1	0,00	23,33	20,00	30,00	36,67	36,67	6,67	36,67
2D 3R	1-2	0,00	23,33	26,67	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
	2-3	0,00	20,00	20,00	33,33	33,33	33,33	0,00	33,33
	3-1	0,00	20,00	16,67	26,67	43,33	43,33	16,67	43,33
	1-3	0,00	23,33	23,33	36,67	36,67	36,67	0,00	36,67
	3-2	0,00	20,00	23,33	36,67	40,00	40,00	3,33	40,00
	2-1	0,00	23,33	20,00	30,00	36,67	36,67	6,67	36,67

6 D – sexto bico da barra de pulverização do lado direito; 4 D – quarto bico da barra de pulverização do lado direito; 2 D – segundo bico da barra de pulverização do lado direito; 1R – primeira repetição; 2R – segunda repetição; 3R – terceira repetição.