

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ/CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA PULVERIZADORES DE
BARRA NA APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS**

FERNANDO DE LIMA ALVES

CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL

JANEIRO – 2016

FERNANDO DE LIMA ALVES

**PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA PULVERIZADORES DE
BARRA NA APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos Agroindustriais.

Orientador: Dr. Marcio Furlan Maggi

**CASCADEL – PARANÁ – BRASIL
JANEIRO – 2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

F474p Alves, Fernando de Lima
Protótipo de automação de baixo custo para pulverizadores de barra na aplicação de defensivos agrícolas. / Fernando de Lima Alves.— Cascavel, PR: UNIOESTE, 2016.
41 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais.
Bibliografia.

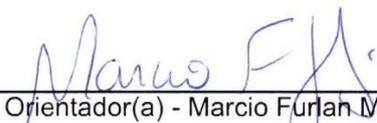
1. Agricultura de precisão. 2. Defensivos agrícolas - Pulverização. 3. Protótipo de automação. 4. Tecnologia para aplicação de agrotóxicos. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 23.ed. 632.94

FERNANDO DE LIMA ALVES

PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA PULVERIZADORES DE BARRA NA APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação stricto sensu em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas biológicos e agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, estatística espacial e agricultura de precisão, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



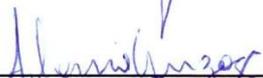
Orientador(a) - Marcio Furlan Maggi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Sidnei Osmar Jadoski

Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)



Flávio Gurgacz

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 28 de janeiro de 2016

BIOGRAFIA RESUMIDA

Fernando de Lima Alves nasceu em 15 de fevereiro de 1980, na cidade de Assis Chateaubriand no estado do Paraná. Ingressou no curso de Ciência da Computação pela Universidade Paranaense – UNIPAR no ano de 1998, tendo se graduado no ano de 2002. Em 2006 ingressou no curso de pós-graduação lato sensu em Redes de Computadores na União Educacional de Cascavel - UNIVEL, obtendo o título em 2008. No ano de 2012 foi aprovado no concurso público para a carreira de docente EBTT - regime de dedicação exclusiva no Instituto Federal do Paraná Campus Assis Chateaubriand. No ano de 2014 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, á nível de Mestrado, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, na área de Engenharia de Sistemas Biológicos Agroindustriais, na linha de pesquisa de Agricultura de Precisão.

Email: fernando.alves@ifpr.edu.br

Para se ter sucesso, é necessário amar de verdade o que se faz. Caso contrário, levando em conta apenas o lado racional, você simplesmente desiste. É o que acontece com a maioria das pessoas.

Steve Jobs

Dedico este trabalho aos meus pais Airton Ferreira Alves (*in memoriam*) e Valdeci de Lima Alves que em nenhum momento mediram esforços para a realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador MARCIO FURLAN MAGGI, pelo ensinamento, a dedicação e o auxílio prestado durante a concretização desse trabalho, MUITO OBRIGADO.

À UNIOESTE, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de crescimento profissional.

Ao professor FLAVIO GURGACZ pela ajuda e disponibilidade do laboratório LAMA e pelos ensinamentos.

Ao companheiro de IFPR Jair Fajardo Junior pelo apoio no desenvolvimento do protótipo.

A todos os meus amigos e colegas, que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa, MUITO OBRIGADO pelo apoio e colaboração.

A todos os PROFESSORES DO Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos disponibilizados nas aulas.

De forma especial a minha esposa TATHIANE, pelo amor, carinho e compreensão e por estar sempre me apoiando em todas as minhas conquistas e meus objetivos.

A minha família em especial aos meus pais AIRTON FERREIRA ALVES (em memória) e VALDECI DE LIMA ALVES pelos ensinamentos e dedicação ao longo de minha vida.

PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA PULVERIZADORES DE BARRA NA APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

RESUMO: A aplicação de defensivos agrícolas tem contribuído para o crescimento da produtividade agrícola do País, por conseguinte, controladores eletrônicos têm sido utilizados na agricultura moderna. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um protótipo de automação embarcada para a transição de bicos de pulverizadores com um dispositivo eletrônico embarcado, diminuindo os riscos à saúde do operador por não haver contato manual com os bicos. Foi desenvolvido um protótipo completo contendo três conjuntos de aplicação controlados de forma independente para cada tipo de conjuntos de bicos. As aplicações foram realizadas sobre etiquetas de papel hidrossensível, cujos bicos na pressão de trabalho estavam calibrados em 4,1 bar, para verificação da qualidade do equipamento na aplicação e o diâmetro mediano volumétrico – DMV, diâmetro mediano numérico – DMN, densidade de gotas, % de cobertura e volume das gotas. Os resultados dos testes de vazão ficaram de acordo com os dados do catálogo fornecido pelo fabricante dos bicos testados. O protótipo apresentou-se robusto e eficiente para a utilização prática, sendo possível realizar a troca de bicos de forma rápida e sem contato manual do operador com os bicos.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Automação, Aplicação de Defensivos.

LOW COST AUTOMATION PROTOTYPE FOR BAR WATER SPRAYERS ON PESTICIDE APPLICATION IN AGRICULTURE

ABSTRACT: The application of pesticides has contributed to increase agricultural yield in Brazil, consequently, electronic controllers have been used in modern agriculture. Thus, this study aimed at developing an automation embedded prototype to change to sprinklers with an embedded electronic device in order to reduce the risks to the operator's health since there is no hand contact with the nozzles. It was developed a complete prototype with three sets of application that was controlled in an independent way for each type of nozzle sets. The applications were carried out on water-sensitive paper labels, whose working pressure nozzles were calibrated at 4.1 bar to check the equipment quality on application as well as the volumetric median diameter - VMD, numeric median diameter – NMD, drop density, cover percentage and drop volume. The results from flow tests were based on catalog data provided by the tested nozzle manufacturer. The prototype was robust and efficient for practical use and it was also possible to carry out nozzles changing in a quick way and without hand-operator contact with the studied nozzles.

Key Words: Precision Agriculture, Automation, Application of Pesticides.

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 Geral.....	11
2.2 Específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Aplicação de Defensivos Agrícolas	12
3.2 Eletrônica Embarcada na Agricultura.....	13
3.3 Micro Controlador Arduino.....	15
3.4 Pontas de Pulverização	15
3.5 Tamanhos de gota.....	16
3.6 Controladores de Pulverização	18
3.7 Redução de Riscos ao Operador	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Construção do Protótipo	20
4.3 Determinação da Vazão	24
4.4 Determinação do espectro de gotas das pontas de pulverização	26
4.5 Protótipo	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6. CONCLUSÃO.....	32
7. REFERÊNCIAS	33

LISTA DE TABELA

TABELA 1 CLASSES DE TAMANHOS DE GOTAS SEGUNDO ASABE-572 E BCPC COM CARACTERÍSTICAS CORRESPONDENTES	16
TABELA 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS PONTAS DE PULVERIZAÇÃO UTILIZADAS NO PROTÓTIPO.....	24
TABELA 3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA VAZÃO INDIVIDUAL DOS BICOS CALCULADOS PELO SOFTWARE R.	28
TABELA 4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VAZÃO DOS BICOS TESTADOS NO PROTÓTIPO	29
TABELA 5 DADOS DOS PAPÉIS HIDROSSENSÍVEIS PROCESSADOS PELO SOFTWARE GOTAS.....	30
TABELA 6 CUSTO APROXIMADO DE IMPLANTAÇÃO DO PROTÓTIPO EM UM PULVERIZADOR COM BARRA DE 12 METROS.....	30

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 MÓDULO CONTROLE, MONITOR LCD 16X2 (A), BOTÕES DE ACIONAMENTO (B), FONTE DE ALIMENTAÇÃO (C), MICRO CONTROLADOR ARDUINO (D), E CONJUNTO DE RELES (E).....	20
FIGURA 2 SISTEMA MANUAL (A) E SISTEMA AUTOMÁTICO DO PROTÓTIPO (B) PARA TROCA DE BICO NO CIRCUITO.	21
FIGURA 3 VÁLVULA SOLENOIDE DE ½ POLEGADAS COM DUAS VIAS SERVO OPERADAS (DIAFRAGMA).	21
FIGURA 4 FLUXOGRAMA DA TRANSIÇÃO ENTRE OS DIFERENTES CIRCUITOS DO PROTÓTIPO.	22
FIGURA 5 RESERVATÓRIO DE ÁGUA PARA A SIMULAÇÃO DE PULVERIZAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES CIRCUITOS	22
FIGURA 6 BOMBA DE PULVERIZAÇÃO DO TIPO PISTÃO ACOPLADA A UM MOTOR TRIFÁSICO COM 2 CV, COM 4 POLOS, TENSÃO 220V, 60 HZ E 1800 RPM.....	23
FIGURA 7 SUPORTE DOS TRÊS CONJUNTOS DE BICOS ESPAÇADOS A 50 CM CADA CONJUNTO DE BICO.	23
FIGURA 8 MANÔMETRO UTILIZADO PARA AFERIÇÃO DA PRESSÃO DE TRABALHO NO MOMENTO DOS TESTES DO PROTÓTIPO.	25
FIGURA 9 PESAGEM DO VOLUME APÓS A COLETA DA VAZÃO.	25
FIGURA 10 MINI CARRO DE CONTROLE REMOTO UTILIZADO PARA A COLETA DOS PAPEIS HIDRO SENSÍVEIS.....	26
FIGURA 11 PAPÉIS HIDROSSENSÍVEIS APÓS A APLICAÇÃO DOS BICOS MODELO BD – 015 (A), MODELO AD – 03 (B) E MODELO CV-IA – 015 (C).	27
FIGURA 12 VISTA GERAL DO PROTÓTIPO COM MOTOR DE 2CV (A), BOMBA DE PULVERIZAÇÃO (B), MÓDULO DE CONTROLE (C), VÁLVULA SOLENOIDE (D), BARRAS DE PULVERIZAÇÃO (E) E RESERVATÓRIO DE 200 L (F).	27

1 INTRODUÇÃO

A política de modernização da agricultura, que subsidiou o crédito e estimulou a implantação da indústria de defensivos agrícolas no país, ignorou certas carências estruturais e institucionais, como o despreparo da mão-de-obra para os novos pacotes tecnológicos. A falta de capacitação e de treinamento dos trabalhadores rurais tornaram os mesmos um grupo particularmente vulnerável diante da expansão de uma tecnologia com expressivos riscos ambientais e à saúde dos operadores (VANELLA et al., 2011).

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos apresentaram grande desenvolvimento, permitindo o monitoramento de diversas variáveis inclusive em tempo real e com níveis de precisão elevados. Os sensores eletrônicos passaram a apresentar três características distintas, que são o maior desempenho, menor tamanho e menor custo. Os sistemas de automação são basicamente leitores automáticos para a aquisição de dados. Estes, são fornecidos pelos sensores por meio de um sinal elétrico, proporcional à variação de grandezas físicas, tais como temperatura, pressão, umidade relativa, e outros (PEETS et al., 2012).

A eletrônica embarcada na agricultura é representada pelo uso de sensores, atuadores, computadores de bordo, softwares e sistemas de informações geográficas via satélite instalados nas máquinas agrícolas. Seu objetivo é monitorar a operação das máquinas, realizar algum tipo de controle automático e registrar dados para análise posterior ou em tempo real. Os sistemas de automação permitem monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e precisa.

O controle químico é um método rápido e fácil de ser executado pelos agricultores, desde que seja conhecido o alvo a ser atingido e os recursos necessários para conseguir tal objetivo. Entretanto, o uso inadequado dos defensivos agrícolas tem provocado danos à saúde de aplicadores, consumidores e ao meio ambiente.

A crescente preocupação com os danos ambientais causados pelo uso excessivo de defensivos agrícolas exige cada vez mais uma dosagem precisa de ingredientes ativos, como forma de redução dos erros nas pulverizações.

Encontra-se no cenário da agricultura, basicamente dois métodos de aplicação de produtos fitossanitários, o aéreo e o terrestre. Tanto aviões agrícolas como pulverizadores terrestres, desde que adequadamente regulados e operados, podem ser utilizados com sucesso na aplicação de defensivos agrícolas para o controle de pragas e doenças (BUENO et al., 2013a).

A grande maioria das aplicações de produtos fitossanitários é feita por meio de pulverizações, ou seja, pela geração de partículas líquidas, sendo que a divisão do líquido

em pequenas gotas ocorre nas pontas de pulverização, podendo estas serem consideradas como os componentes mais importantes dos equipamentos de aplicação, por determinarem as características da pulverização emitida.

As aplicações de defensivos são feitas aos primeiros sinais de problemas fitossanitários, logo após a detecção obtida através de monitoramento. A partir daí, o tratamento é executado o mais rapidamente possível, visando proteger toda a área no mais curto espaço de tempo.

O manuseio incorreto dos produtos e equipamentos pelos operadores é outro agravante. A busca por alternativas que visem reduzir as perdas e os riscos de intoxicações é uma necessidade crescente. Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias embarcadas podem minimizar os riscos aos operadores e ao meio ambiente.

A proposta deste trabalho foi desenvolver um protótipo de automação embarcada para a transição de bicos de pulverizadores excluindo a ação direta do operador, visando diminuir os riscos de intoxicação e contaminação. Além disso, tal protótipo tem o intuito de permitir um maior controle do produto aplicado, aumentando a eficiência do método utilizado e do uso correto dos defensivos agrícolas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver um sistema semiautomático de baixo custo para a transição de bicos de pulverizadores sem o contato manual do operador.

2.2 Específicos

- Desenvolver um protótipo para testes em laboratório para a transição de três conjuntos diferentes de bicos.
- Avaliar a acurácia do sistema pressão e vazão.
- Avaliar os parâmetros relacionados à tecnologia da aplicação: diâmetro mediano volumétrico – DMV, densidade de gotas, % de cobertura e volume das gotas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aplicação de Defensivos Agrícolas

O custo de aplicação de defensivos agrícolas, assim como a falta de mão-de-obra qualificada, a energia despendida e também a crescente mobilização da sociedade em relação à poluição ambiental, faz com que haja um aumento na necessidade da utilização de tecnologias mais eficientes na aplicação de defensivos agrícolas. A tecnologia de aplicação consiste no uso dos conhecimentos científicos para que seja feita a colocação do produto biologicamente ativo no alvo, na quantidade necessária, de forma economicamente viável e com o mínimo possível de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990).

Os pulverizadores são classificados em função da energia utilizada para a fragmentação da calda em gotas, sendo classificados como hidráulicos, hidropneumáticos, pneumáticos, centrífugos e térmicos. À medida que as gotas se afastam do pulverizador, há diminuição da velocidade do fluxo de ar, e este vai se tornando desuniforme e espalhando-se durante sua trajetória (MEWES et al, 2013).

As indústrias de defensivos agrícolas vêm apresentando faturamento crescente no mercado interno, em 2012 o mercado mundial faturou aproximadamente 47,4 bilhões de dólares. O mercado brasileiro representou cerca de 20% deste valor, o equivalente a aproximadamente 9,7 bilhões de dólares e foi suprido principalmente por produtos de multinacionais (BAIN; COMPANY, 2014).

No Brasil o Decreto Nº 4.074, de 04 de Janeiro de 2002, que regulamenta a Lei 7.802/1989, em seu artigo 1º, inciso IV, define defensivos agrícolas como:

“produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento” (BRASIL, 2002).

O objetivo principal da aplicação de defensivos agrícolas é o de reduzir os danos das pragas, doenças, plantas daninhas ou outros agentes prejudiciais às culturas. Quando utilizados de forma inadequada, esses produtos tornam-se um sério risco à saúde humana e ambiental, por isso é importante reduzir as perdas na aplicação, aumentando-se a eficiência das operações de pulverizações (JULIATTI et al., 2010).

O processo de aplicação de defensivos só deve ser feito de maneira correta e com a aplicação da tecnologia adequada. Em geral é dada muita importância ao produto a ser aplicado e pouca à técnica de aplicação. Como consequência, há perda de eficiência no

tratamento. Dosagens em excesso ou insuficientes, podem levar à pouca rentabilidade do cultivo e a danos ao meio ambiente e à saúde do operador (CUNHA et al., 2003).

No Brasil, aproximadamente 70% dos pulverizadores, quando inspecionados, apresentaram erros significativos na calibração e manutenção inadequada. Este fato mostra que não basta a melhor técnica, mas é necessário que seja utilizada de maneira adequada e precisa. Para tanto, é importante que operadores e técnicos sejam capacitados para efetuar a calibração e ajustes necessários nos equipamentos, procurando evitar erros que possam comprometer a qualidade e viabilidade da aplicação do defensivo. (ANTUNIASSI et al., 2011; SILVEIRA et al., 2006).

A falta de inspeções nos pulverizadores pode ocasionar, segundo Ebert (2012), aplicações de má qualidade, a falta de regulagem, calibração e manutenção desses equipamentos resultam em falhas durante a aplicação dos defensivos. Os fatores mais importantes que afetam as perdas por evaporação na aplicação de defensivos agrícolas são a capacidade de evaporação da atmosfera, o tamanho das gotas, o tempo que as gotas levam para chegar ao alvo e a distância em relação ao alvo (VILLALBA e HETZ, 2010).

As condições meteorológicas consideradas favoráveis para a realização das pulverizações são amplamente citadas na literatura, sendo caracterizadas por temperaturas entre 15 a 30 °C, umidade relativa do ar maior que 55% e velocidade do vento variando de 2 a 10 km h⁻¹, (ALVARENGA, 2014; Balan et al., 2004).

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, as horas iniciais da manhã e as finais da tarde, correspondem aos períodos em que a umidade relativa está maior e, portanto, mais favorável à pulverização. Contudo em várias situações estes requisitos, não são atendidos, em virtude da necessidade da pulverização em condições desfavoráveis.

3.2 Eletrônica Embarcada na Agricultura

O desenvolvimento e a aplicação de tecnologia no setor agropecuário tornou-se um dos elementos fundamentais para inserção ou manutenção da competitividade comercial no mercado globalizado de países com vocação para o agronegócio. Nesse sentido, o baixo nível de aplicação de tecnologia conduz à baixa eficiência e à baixa produtividade dos

processos de produção vegetal e animal e pode colocar o país em uma posição de inferioridade nas relações comerciais internacionais, principalmente no caso do Brasil que tem ainda um grande potencial para desenvolvimento do agronegócio (FAO, 2009).

Sendo assim, a adoção de novos métodos e técnicas de produção passam a ser fundamentais para o sucesso de qualquer atividade agrícola, surgindo dentro deste contexto a agricultura de precisão (AP), (OLIVEIRA et al., 2007; SILVA et al., 2008; CARVALHO et al., 2009), que é um conjunto de tecnologias capaz auxiliar o produtor rural no aumento da eficiência, monitoramento, produtividade e rentabilidade, tornando o agronegócio mais competitivo.

Entre as tecnologias que podem ser consideradas como o estado da arte para automação de máquinas e implementos agrícolas destacam-se: sensores que permitem aferir variáveis agrônomicas em campo através de sensoriamento local ou remoto; sistemas de aplicação de insumos em taxa variável e sistemas que realizam sensoriamento, processamento (tomada de decisão) e atuação durante o movimento da máquina (PEETS et al., 2012).

O conjunto de sistemas eletrônicos que possuem processadores (hardware) e programas dedicados (software ou firmware) para aquisição, processamento, armazenamento e comunicação de dados, é chamado de eletrônica embarcada. O incremento acentuado de tais sistemas eletrônicos através do desenvolvimento de monitores e controladores para máquinas e implementos agrícolas demandou a padronização dessa eletrônica embarcada, que hoje é viabilizada através da implantação da norma ISO 11783, conhecida no mercado também como ISOBUS (AGRICULTURAL INDUSTRY ELECTRONICS FOUNDATION, 2014).

Instituições de pesquisa, empresas e associações de normas concentram esforços significativos para padronização da eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas através da implantação da norma ISO11783. A norma tem como objetivo viabilizar a interconexão padronizada de sistemas eletrônicos embarcáveis através de um barramento de rede e permitir a comunicação de dados entre estes dispositivos sensores, atuadores e controladores nas máquinas e implementos agrícolas de diferentes fabricantes.

Importantes pesquisas em tecnologias para agropecuária têm sido desenvolvidas com a utilização de sistemas inteligentes que tornam viável a utilização de Robôs Agrícolas Móveis. Nos últimos anos, trabalhos de pesquisa como, os apresentados por Bakker et al. (2011), Cheein et al. (2011), Dong et al. (2011) e Griepentrog et al. (2013) desenvolveram soluções viáveis para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de automação e de sistemas robóticos que possibilitam operações mais precisas para reduzir custos, aumentar a produtividade e minimizar o impacto ambiental em tarefas agrícolas.

3.3 Micro Controlador Arduino

O micro-controlador Arduino é uma pequena placa de micro-controlador, contendo um plugue de conexão USB (Universal Serial Bus) que permite a ligação com um computador e também a energização de sua placa. Além disso, contém diversos pinos, uns chamados de entradas e outros chamados de saídas. As entradas podem ser digitais, ou seja, ver se algo está ligado ou desligado, ou podem ser analógicas, ou seja, ler o valor de tensão no pino de entrada (ARDUINO, 2015).

O Arduino pode ser programado pelo computador e, em seguida, ser desconectado, permitindo assim que trabalhe independentemente do computador, mas a placa necessita de energia elétrica que pode ser fornecida por uma bateria ou fonte de 9V DC. O Arduino é uma plataforma de hardware de código fonte aberta, de baixo custo, software livre e de fácil operação (ARDUINO, 2015).

Esta plataforma utiliza microcontroladores da Atmel de 10 bits e componentes complementares que facilitam a programação e a interligação com outros circuitos. O Arduino está disponível comercialmente em diferentes modelos, os quais possuem de 14 a 54 pinos digitais de entrada e saída de dados, que podem ser utilizadas para aquisição de dados ou controlar dispositivos, como bomba peristáltica, válvulas e bombas solenoide (KAMOGAWA e MIRANDA 2013).

3.4 Pontas de Pulverização

As pontas de pulverização são consideradas os principais componentes da pulverização (SIDAHMED, 1998), pois promovem características que melhoram a segurança e efetividade no controle de pragas, doenças e plantas daninhas. O sucesso na aplicação de defensivos agrícolas ocorre quando se dispõe de pontas de pulverização que propiciem distribuição transversal uniforme, espectro de gotas semelhante e de tamanho adequado.

Existem vários tipos de pontas hidráulicas disponíveis no mercado, com usos definidos para diferentes condições. Entre as mais utilizadas, destacam-se as de jato cônico vazio e as de jato plano, as quais, dependendo da pressão e do ângulo de abertura, podem potencializar muita deriva. Para contornar esse problema, alguns fabricantes oferecem pontas com potencial antideriva (CONSTANTIN et al. 2012).

A determinação do espectro de gotas produzidas pelas pontas de pulverização é imprescindível para a aplicação do defensivo agrícola. A partir dessa informação, efetua-se

a escolha da ponta de acordo com o potencial de deriva, as características do defensivo e os riscos de volatilização e escorrimento de calda nas folhas das plantas daninhas. Os fatores que influenciam o espectro de gotas produzidas por determinada ponta de pulverização são: vazão nominal, ângulo de descarga, pressão de operação, propriedades da calda e tipo de ponta de pulverização (VIANA et al., 2010).

Quando se seleciona pontas de pulverização para uma determinada aplicação, o tamanho de gotas é muito importante. Porém, a maioria dos agricultores não dá a devida importância a este fator, realizando aplicações com baixa eficiência e com alto potencial de deriva (CHECHETTO et al., 2013).

3.5 Tamanhos de gota

Para que a aplicação de defensivos agrícolas seja adequada, deve-se escolher o tamanho das gotas conforme as condições climáticas e o tipo de alvo. Caso a aplicação seja feita em locais de baixa umidade e temperaturas altas, devem-se utilizar gotas maiores, que correm menor risco de evaporar; quando é necessária maior penetração das gotas nos alvos, devem-se usar gotas menores. Pode-se afirmar que gotas com diâmetros muito baixos produzem deriva e aquelas com diâmetros elevados provocam escorrimento da calda aplicada (BAESSO et al., 2014).

Tabela 1 Classes de tamanhos de gotas segundo ASABE-572 e BCPC com características correspondentes

Classe de Pulverização	Símbolo	Cor	DMV aproximado (Norma ASABE)	DMV (Norma BCPC)	PRD (Norma BCPC)
Muito Fina	MF	Vermelho	< 100 µm	< 199 µm	> 57%
Fina	F	Laranja	100 – 175 µm	119 – 216 µm	20 – 57 %
Média	M	Amarelo	175 – 250 µm	217 – 352 µm	5,7 – 20 %
Grossa	G	Azul	250 – 375 µm	354 – 464 µm	2,5 – 5,7 %

Muito Grossa	MG	Verde	375 – 400 µm	> 464 µm	< 2,9 %
Extremamente grossa	EG	Branco	> 450 µm	-	-

Fonte: EMBRAPA 2007.

Uma correta aplicação de produtos fitossanitários somente é possível quando se dispõe de pontas de pulverização que proporcionem distribuição transversal homogênea e espectro de gotas adequado. Mas nem sempre o tamanho das gotas produzidas segue uma distribuição uniforme, podendo ser produzidas gotas muito finas, finas, médias, e grossas por uma única ponta (NUYTTENS et al., 2007; CUNHA e SILVA; 2010).

Existem vários tipos de pulverizadores hidráulicos, que vão desde os mais simples, como os do tipo costal manual, até equipamentos mais sofisticados, como os autopropelidos equipados com controladores eletrônicos. Em todos estes equipamentos, os bicos de pulverização representam um grupo fundamental entre os principais componentes, pois influenciam diretamente na qualidade, eficiência e na segurança da aplicação (FERNANDES et al., 2007).

As gotas quando produzidas não apresentam um tamanho único, mais sim um espectro de gotas. Deste modo, mesmo utilizando qualquer modelo de ponta, há uma porcentagem do volume que é pulverizado através de gotas finas. Para analisar o espectro de gotas pulverizado são utilizados alguns parâmetros em conjunto, que são diâmetro mediano volumétrico (DMV) e a amplitude relativa. O DMV é o diâmetro da gota que divide o volume das gotas pulverizadas em duas partes, de forma que a soma dos volumes das gotas de diâmetro menor seja igual à soma do volume das gotas de diâmetro maior (ANTUNIASSI e BAILO, 2008). A amplitude relativa determina a homogeneidade do espectro de gotas. Quanto maior o valor da amplitude relativa menor é a homogeneidade do espectro de gotas pulverizado (CUNHA et al., 2004).

Segundo Antuniassi e Baio (2008) outro parâmetro utilizado para classificação do espectro de gotas é o diâmetro mediano numérico (DMN), caracterizado pelo diâmetro que separa o número de gotas pulverizado em duas partes iguais, sendo que 50% do espectro pulverizado são as gotas menores e 50% são as gotas maiores. Analisando a relação entre o DMV e o DMN é possível obter um parâmetro sobre a homogeneidade do espectro de gotas.

O volume de calda é um dos parâmetros fundamentais para o sucesso da aplicação. A definição do volume de calda depende do tipo de alvo a ser atingido, do tamanho das gotas, da cobertura necessária, da forma de ação do defensivo e da técnica de

aplicação. O volume de calda influencia também a eficiência operacional da aplicação, pois o tempo gasto nas atividades de reabastecimento altera significativamente a capacidade operacional dos pulverizadores (ANTUNIASSI, 2005).

Outro parâmetro importante para o resultado de uma pulverização é a densidade de gotas, que está relacionada ao volume de calda e ao diâmetro de gotas, geralmente expressa em gotas/cm² (STEFANELO, 2014).

3.6 Controladores de Pulverização

O uso de componentes eletrônicos, como as válvulas solenoides, válvulas rotatórias e bombas solenóide em sistemas de análises em fluxo, permitiu que as soluções pudessem ser gerenciadas de forma eficiente, controlando o tempo de acionamento, velocidade e fluxo. O acionamento das válvulas ou bombas solenóide em sistemas de análises em fluxo pode ser feita por uma interface eletrônica que alimenta os dispositivos (KAMOGAWA e MIRANDA 2013).

Umezu e Cappelli (2006) preconizam que sistemas de controle têm sido cada vez mais utilizados em máquinas e equipamentos agrícolas. É comum se encontrar tratores e colhedoras agrícolas equipadas com diversos sistemas automáticos para controle de tarefas que, tradicionalmente, eram realizadas pelo próprio operador da máquina.

As características e o controle da pulverização são os principais parâmetros para uma melhor qualidade na aplicação de defensivos. Eles têm o objetivo de garantir a eficiência dos tratamentos, diminuindo as perdas de produtos, sem causar danos para o meio ambiente, para as culturas vizinhas e para o homem. Assim, quanto menor a quantidade de defensivos aplicada, mais técnica e segura será a aplicação, tendo como resultado uma importante economia (SILVEIRA et al., 2006).

Entretanto, de acordo com SCHULLER (1991), o tempo de resposta desses equipamentos é um dos fatores-chave para o desempenho das máquinas de aplicação dotadas de controle eletrônico, principalmente em sistemas de aplicação localizada de defensivos químicos.

3.7 Redução de Riscos ao Operador

A condição de trabalho é composta pelo meio ambiente onde o trabalhador se encontra e pelos componentes materiais utilizados para realizar a sua atividade. As medidas de segurança podem ser agrupadas em preventivas e de proteção, que, por sua vez, podem ser agrupadas em individuais e coletivas. São dispositivos o sistema ou meio de

abrangência coletiva destinado a preservar a integridade física e a saúde dos trabalhadores.

Nas aplicações de herbicidas com o pulverizador de barra acoplado ao trator, como em qualquer outra aplicação de agrotóxico, os tratoristas ficam expostos a riscos de intoxicação. A segurança dessas condições de trabalho deve ser avaliada, e se necessário, medidas de segurança devem ser implementadas. De maneira geral, observa-se que a primeira medida de segurança recomendada para os trabalhadores expostos aos defensivos agrícolas é o uso de EPIs - Equipamentos de Proteção Individual. Os EPIs são vestimentas individuais que têm eficiência protetora, ou seja, a capacidade de proteger o trabalhador contra o efeito de um fator de processo perigoso e daninho. O objetivo do EPI é evitar a exposição do trabalhador ao produto, reduzindo os riscos de intoxicações decorrentes da contaminação. (ANDEF, 2005).

O uso dos EPIs causa grande desconforto aos trabalhadores, e as recomendações em alguns casos, estão sendo feitas erroneamente com base apenas na classe toxicológica dos defensivos agrícolas. Dessa forma, a recomendação de uso dos EPIs está incorreta e inadequada, pois os EPIs controlam as exposições dérmicas e respiratórias e não a toxicidade dos defensivos agrícolas, representada pelas classes toxicológicas (CRISTOFORO, 2007).

Na NR-6 (Norma Regulamentadora), aprovada na Portaria no 3.214, de 08-06-1978 (BRASIL, 1978), e na NRR-4 (Norma Regulamentadora Rural), aprovada na Portaria no 3.067, de 12 de abril de 1988 (MTE, 1978), em que se determina que os EPIs devem ser recomendados de maneira adequada ao risco.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho constituiu-se no desenvolvimento de um protótipo de um sistema de seleção de três circuitos de tipos de bicos diferentes sem a intervenção manual do operador. O protótipo foi montado no Laboratório de Máquinas Agrícolas - LAMA situado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE campus Cascavel – Pr.

4.1 Construção do Protótipo

O módulo de controle é responsável pela escolha, através de botões de acionamento, de qual das três seções de bicos estará em operação. Ele foi montado sobre uma bancada de ferro de 2,00 x 0,90 m² e altura de 0,90 m. O controle desse sistema é realizado com o micro controlador Arduino (Figura 1).

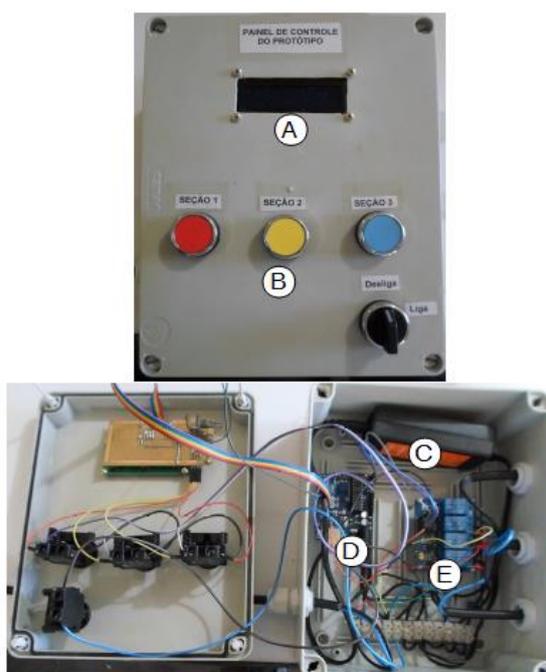


Figura 1 Módulo Controle, Monitor LCD 16x2 (A), botões de acionamento (B), Fonte de alimentação (C), micro controlador Arduino (D), e conjunto de reles (E)

Para a operação do sistema, foi desenvolvido um painel de controle e operação que disponibiliza aos usuários informações, monitoramento e permite a interação com o sistema, através de um display de LCD de 16 colunas por 2 linhas, mostrando se o sistema está ligado e qual seção está em operação.

O painel de controle e operação possui três botões de direcionamento para o sistema desejado (Figura 2) pelo operador, com indicação no painel é de fácil uso, necessitando apenas de um simples treinamento para o operador sobre como utilizar todo o sistema. O treinamento consiste em informar a função de cada botão do módulo de controle.

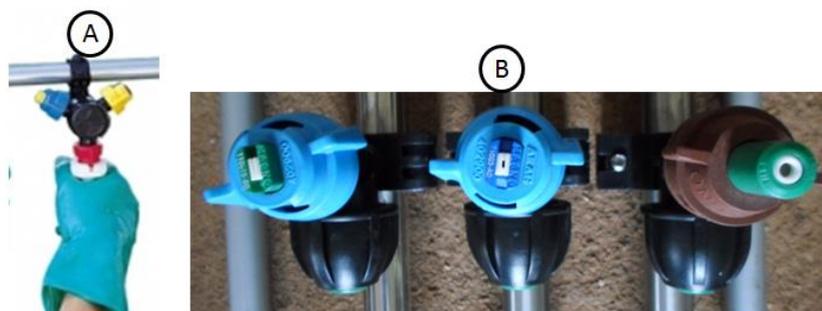


Figura 2 Sistema Manual (A) e Sistema Automático do Protótipo (B) para troca de bico no circuito.

O controle de qual seção será ativada é feito por três válvulas solenoides de $\frac{1}{2}$ polegadas, em aço inox, com duas vias servo operadas (diafragma), com posição inicial normalmente fechada, alimentação de 12V, pressão mínima de 0,01 bar e máxima de 20 bar (Figura 3).



Figura 3 Válvula solenoide de $\frac{1}{2}$ polegadas com duas vias servo operadas (diafragma).

A alimentação das válvulas é feita utilizando uma fonte chaveada com entrada de 127/220V e saída de 12V. No acionamento e nas alterações de seção foi estabelecido um intervalo de 4 segundos para a estabilização do sistema (Figura 4), esse tempo teve como

objetivo reduzir a possibilidade de erro, por parte do operador, permitindo a correta escolha da seção.



Figura 4 Fluxograma da transição entre os diferentes circuitos do protótipo.

O programa de controle e acionamento das válvulas solenoides foi escrito com o software Arduino 1.6.1 e gravado no micro controlador, que é responsável pelo envio do pulso elétrico para o acionamento da seção escolhida pelo operador. A programação do micro controlador Arduino está no Apêndice A.

Como o principal diluente de defensivos agrícolas é a água, o sistema possui um reservatório de água de 200 litros (Figura 5), para o funcionamento e acionamento de todo o sistema.



Figura 5 Reservatório de água para a simulação de pulverização entre os diferentes circuitos

O bombeamento da calda é realizado por uma bomba de pulverização do tipo pistão acoplada a um motor trifásico com 2 CV, com 4 polos, tensão 220v, 60 Hz e 1800 RPM. A bomba de pulverização possui uma vazão máxima de 18 litros por minuto a uma rotação de 800 RPM e pressão máxima de 40 bar (Figura 6).



Figura 6 Bomba de pulverização do tipo pistão acoplada a um motor trifásico com 2 CV, com 4 polos, tensão 220v, 60 Hz e 1800 RPM

O módulo de pulverização foi montado sobre uma estrutura metálica de 2,45m de comprimento por 0,23m de largura e possui três seções de barras B1, B2 e B3 de 2,65m cada uma, com cinco conjuntos de bicos com distância de 0,50 m (Figura 7). Com estes parâmetros houve a sobreposição do jato de um bico com os adjacentes conseguindo uma distribuição uniforme do líquido pulverizado.

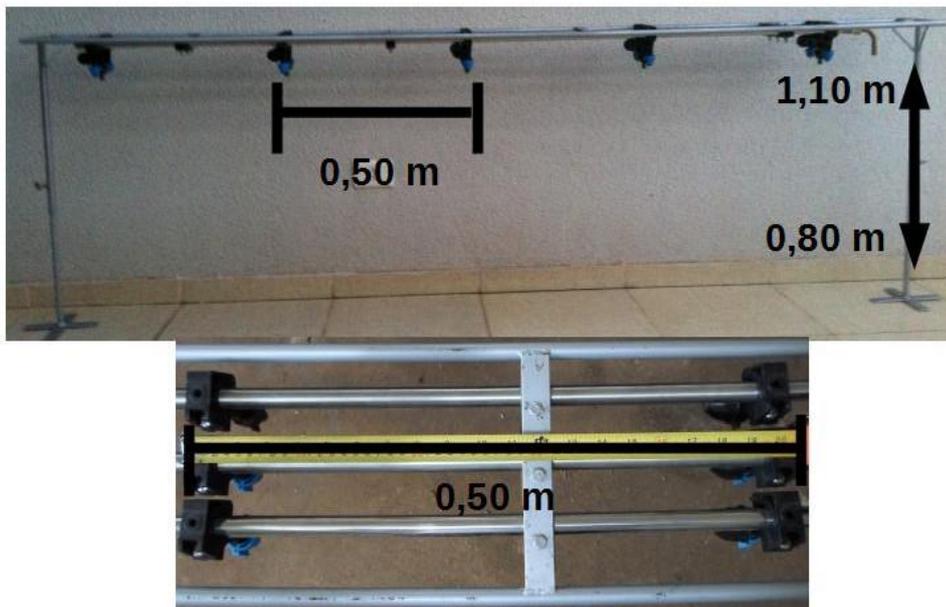


Figura 7 Suporte dos três conjuntos de bicos espaçados a 50 cm cada conjunto de bico.

As barras de seções estão acopladas em um suporte com regulagem de altura entre 0,80 e 1,10 metros. Cada seção possui cinco pontas de pulverização sendo duas do tipo jato plano com leque (modelos BD – 015, AD – 03 e CV-IA – 015 , fabricante Magnojet) e uma do tipo cone (modelo CV-IA – 015, fabricante Magnojet). As informações sobre os bicos estão na Tabela 2.

Tabela 2 Características técnicas das pontas de pulverização utilizadas no protótipo.

Parâmetro	BD - 015	AD - 03	CV-IA - 015
Amplitude de pressão (Bar)	1 – 4,1	2 – 4,1	3,1 – 10,4
Altura recomendada (cm)	50 – 60	50 -60	50 – 60
Espaçamento recomendado (cm)	50	50	50
Fabricante	Magnojet	Magnojet	Magnojet
Vazão ($L\ m^{-1}$)	0,36 – 0,70	1,00 – 1,43	0,62 – 1,10

4.3 Determinação da Vazão

Foi realizada em laboratório a verificação da vazão das pontas de pulverização visando à definição da taxa de aplicação da ponta de acordo com o catálogo do fabricante. Todos os testes foram feitos utilizando a pressão de trabalho de 4.1 bar conforme manômetro imerso em glicerina (Figura 8). De acordo com o catálogo do fabricante para o bico BD-015 a vazão nesta pressão de trabalho é de 700ml/min, para o bico AD-03 de 1.430ml/min e para o bico CV-IA-015 de 700ml/min.



Figura 8 Manômetro utilizado para aferição da pressão de trabalho no momento dos testes do protótipo.

A verificação da vazão foi realizada utilizando o método gravimétrico, coletando-se o volume do líquido pulverizado em sessenta segundos e posteriormente submetendo o volume coletado com embalagem plástica de 5 L. A pesagem foi feita por meio de balança de precisão com erro nominal de 0,002 kg (Figura 9). Foram realizadas dez repetições de cada ponta de pulverização.



Figura 9 Pesagem do volume após a coleta da vazão.

A transformação dos valores de massa para volume foi efetuado levando em consideração o valor da massa específica da água (1 kg. L^{-1}). Os dados de volume foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Após a coleta dos dados de vazão e com a finalidade de identificar e avaliar a homogeneidade e normalidade por meio da estatística descritiva, com o auxílio do software R, foram calculadas: as médias de posição: média e mediana; as medias de dispersão:

desvio padrão e coeficiente de variação (CV); e medidas de forma e distribuição: coeficientes de assimetria e curtose e normalidade.

O CV foi classificado de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), sendo considerado baixo (homocedasticidade) quando $CV < 10\%$, médio quando $10\% < CV < 20\%$, alto quando $20\% < CV < 30\%$, e muito alto (heterocedasticidade) quando $CV > 30\%$.

4.4 Determinação do espectro de gotas das pontas de pulverização

Para a obtenção do espectro de gotas produzido pelos tratamentos aplicados, utilizaram-se etiquetas de papel hidrossensível, com dimensões de 76 x 26 mm, da marca Hypro®, desenvolvidas pela Syngenta Crop Protection. Como o protótipo é estático foi adquirido um mini-carro de controle remoto (Figura 10), com um suporte de acrílico com 1,10 m de comprimento por 0,10 m de largura para colocação dos papéis hidrossensíveis (Figura 11).



Figura 10 Mini carro de controle remoto utilizado para a coleta dos papéis hidro sensíveis.

A velocidade média do mini-carro de controle remoto foi de de 7 km h^{-1} . A velocidade foi calculada utilizando a Equação 1 (KRUEGUER *et al.* 2002), com quatro repetições e quatro papéis hidrossensíveis para cada uma das seções.

Eq. (1)

$$V = \frac{D \times 3,6}{T}$$

Onde: V é a velocidade (Km h^{-1})

D é a distância (Metros)

T é o tempo (Segundos)

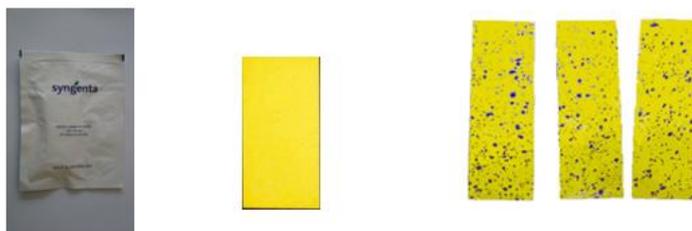


Figura 11 Papéis hidrossensíveis após a aplicação dos bicos modelo BD – 015 (A), modelo AD – 03 (B) e modelo CV-IA – 015 (C).

Os dados de porcentagem de cobertura dos papéis foram obtidos pela digitalização de cada cartão de papel hidrossensível em um scanner de mesa com 600dpi de resolução sendo as imagens processadas através do programa Gotas Versão 2.2 (Embrapa), sistema de análise de deposição de defensivos agrícolas desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente e Embrapa Informática Agropecuária. Para determinação do diâmetro mediano volumétrico – DMV, densidade de gotas, % cobertura e volume das gotas.

4.5 Protótipo

O protótipo de automação de baixo custo para pulverizadores de barra na aplicação de defensivos agrícolas é ilustrado na (Figura 1).

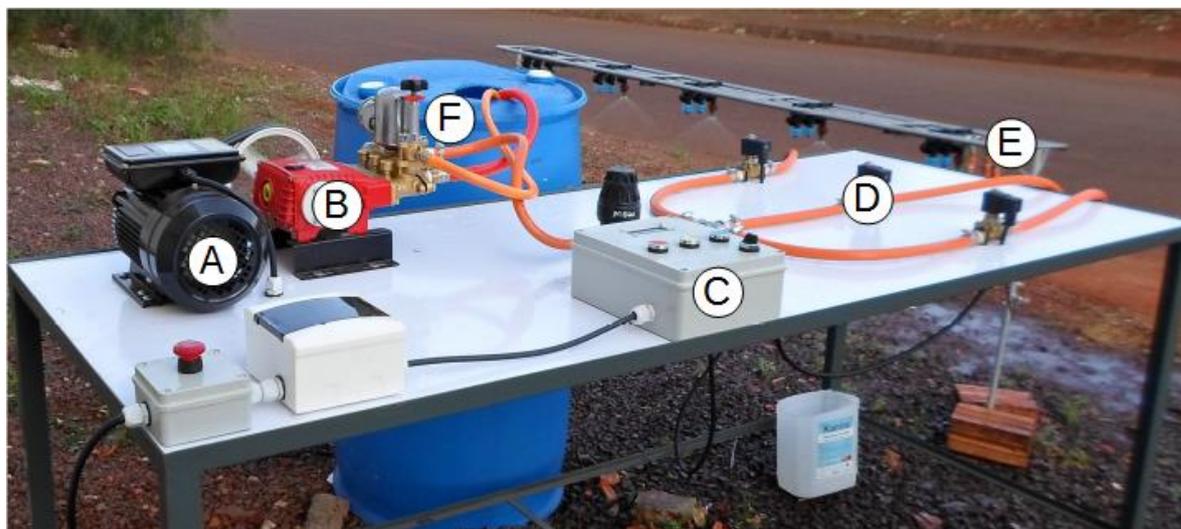


Figura 12 Vista geral do protótipo com motor de 2CV (A), bomba de pulverização (B), módulo de controle (C), válvula solenoide (D), barras de pulverização (E) e reservatório de 200 L (F).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3 encontram-se as análises da estatística descritivas da vazão dos bicos modelo BD-015, AD-03 e CV-IA-015. Observa-se que os resultados obtidos com os testes de vazão indicaram valores próximos à vazão recomendada. Observa-se ainda que os valores se encontram dentro dos padrões de utilização em relação àqueles indicados pelo fabricante, embora todos estejam aplicando volumes além do indicado. Isso indica que a vida útil das pontas será diminuída, pois a recomendação é que sejam substituídas quando a vazão for 10% acima do recomendado pelo fabricante.

Tabela 3 Estatística Descritiva da vazão individual dos bicos calculados pelo software R.

Bico BD-015					
Estatística	Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5
Descritiva					
Média	696,2	706,3	706,6	704,6	726,5
Desvio Padrão	31,70	27,95	27,90	20,98	36,07
Coeficiente de Variação	4,55%	3,96%	3,95%	2,98%	4,96%
Bico AD-03					
Estatística	Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5
Descritiva					
Média	1386	1450	1438	1443	1450
Desvio Padrão	111,77	69,33	94,84	82,73	119,01
Coeficiente de Variação	8,06%	4,78%	6,59%	5,73%	8,20%
Bico CV-IA-015					
Estatística	Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5

Descritiva					
Média	702,3	707,6	709,4	710,3	713,5
Desvio Padrão	10,57	18,13	16,12	8,76	6,24
Coeficiente de Variação	1,50%	2,56%	2,27%	1,23%	0,88%

Na Tabela 4 encontram-se os resultados da análise de variância - ANOVA realizadas ao nível de 5% de significância. Observa-se que todas as médias de vazão dos bicos testados foram iguais ao nível de 5% de significância.

Tabela 4 Análise de variância da vazão dos bicos testados no protótipo

Bico BD-015					
FONTE DE VARIÇÃO	g.l.	SQ	QM	Fcal	P-valor
Bicos	4	4979	1244,73	1,4452	0,2348
Resíduo	45	38757	861,27		
Total	49				
Bico AD-03					
FONTE DE VARIÇÃO	g.l.	SQ	QM	Fcal	P-valor
Bicos	4	29070	7267,5	0,7682	0,5516
Resíduo	45	425727	9460,6		
Total	49				
Bico CV-IA-015					
FONTE DE VARIÇÃO	g.l.	SQ	QM	Fcal	

					P-valor
Bicos	4	682,3	170,57	1,0447	0,3949
Resíduo	45	7347,5	163,28		
Total	49				

A análise do diâmetro mediano volumétrico (DMV) encontra-se na Tabela 5. Para a comparação dos resultados foram utilizadas como referência informações do catálogo do fabricante que indica para gotas finas o diâmetro de 150 a 250 microns, para gota média 250 a 350 microns e para gotas extremamente grossas > 550 microns. As pontas de pulverização testadas com a utilização do protótipo estão de acordo com o catálogo.

Tabela 5 Dados dos papéis hidrossensíveis processados pelo software Gotas.

Bico	Densidade de Gotas	% de Cobertura	Volume de Calda	DMV (μm)
BD015	228,36	8,98	20,87	221,63
AD-03	125,28	5,49	52,99	346,23
CV-IA	68,79	3,93	20,85	561,29

Na tabela 6 encontram-se os custos aproximados do protótipo proposto para implantação em um pulverizador terrestre de barra com 12 m de largura e 24 bicos com espaçamento de 50 cm.

Tabela 6 Custo aproximado de implantação do protótipo em um pulverizador com barra de 12 metros

Materiais	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Barra (metros)	24	R\$ 28,00	R\$ 672,00
Suportes Para Barra	10	R\$ 20,00	R\$ 200,00
Porta Bicos	48	R\$ 18,00	R\$ 864,00
Bicos	48	R\$ 10,00	R\$ 480,00

Mangueira (Metros)	20	R\$ 4,50	R\$ 90,00
Válvula Solenoide	3	R\$ 260,00	R\$ 780,00
Módulo de Controle	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Valor Total			R\$ 3.336,00

6. CONCLUSÕES

O protótipo apresentou-se eficiente para a utilização prática, sendo possível realizar a troca de bicos de forma rápida e sem contado manual do operador com os bicos.

Em todos os testes a transição entre os três circuitos com diferentes bicos ocorreu de forma satisfatória.

Os resultados dos testes de vazão na pressão de 4,1 bar ficaram de acordo com os dados do catálogo do fabricante dos bicos testados.

Os dados de DMV, densidade de gotas, % de cobertura e volume das gotas ficaram dentro dos parâmetros previstos nos testes.

7. REFERÊNCIAS

ANDEF-Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Línea Creativa, 2005.

ARDUINO. Disponível em: <http://www.arduino.cc>. Acesso em 29 de novembro de 2015.

AGRICULTURAL INDUSTRY ELETRONICS FOUNDATION. 2014. Disponível em: <<http://www.aef-online.org/>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em Tecnologia de Aplicação de Defensivos**. V Congresso Brasileiro de Algodão. Botucatu, 2005.

ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A.; SIQUEIRA, J.L. **Inspeção de pulverizadores de barras**. Tecnologia de aplicação para cultura anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2011. P. 83-112.

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

ALVARENGA, Cleyton Batista de. **Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 30 n. 1, jan/fev 2014.

BAESSO, Murilo Mesquita et al . **Tecnologias de aplicação de agrotóxicos**. Rev. Ceres, Viçosa , v. 61, supl. Dec. 2014 .

BAIN E COMPANY. **Potencial de diversificação da indústria química Brasileira – Relatório 3 – Defensivos Agrícolas**. Rio de Janeiro, 2014. 47p.

BAKKER, T.; ASSELT, K. VAN; BONTSEMA, J.; MULLER, J.; STRATEN, G. van. **Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field**. *Biosystems Engineering*, London, v. 109, n. 4, p. 357-368, Aug. 2011.

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.

BRASIL. Decreto 4.074, de 4 de Janeiro de 2002. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de Julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e

rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Legislação Federal de Agrotóxicos, Brasília, **Diário Oficial da União** de 08/01/2002, Seção 1, Página 1.

BUENO, Mariana R.; CUNHA, João P. A. R. da; ROMAN, Rodrigo A. A.. **Droplet size of spray nozzles in different operational conditions using laser diffraction technique**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 33, n. 5, out. 2013a.

BUENO, Mariana R.; CUNHA, João Paulo A. R. da; ALVES, Guilherme S. **Deposição de calda na aplicação aérea e terrestre de fitossanitário na cultura da batata**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 33, n. 6, Dec. 2013b.

CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; BARTHOLO, G.F.; PEREIRA, A.A.; NOGUEIRA, Â.M.; CARVALHO, A.M. de. **Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.33, n.1, p.47-52, jan./fev. 2009.

CHECHETTO, RODOLFO GLAUBER ; ANTUNIASSI, ULISSES ROCHA ; MOTA, ALISSON AUGUSTO B ; CARVALHO, FERNANDO KASSIS ; SILVA, ANNE CAROLINE A E ; VILELA, CAROLINE MICHELS . **Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento**. Semina. Ciências Agrárias (Online), v. 34, p. 37-46, 2013.

CHEEIN, A. F; STEINER, G; PAINA, G. P.; CARELLI, R. **Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on systems detection**. Computers and Electronics in Agriculture, New York, v. 78, n. 2, p. 195-207, Sept. 2011.

CONSTANTIN, Jamil; SALES, José G. C.; MACIEL, Cleber D. de G.. **Característica da deposição e distribuição da calda de pulverização na cultura da soja em estágio fenológico V6**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 32, n. 3, jun. 2012.

CUNHA, J.P.A.R.; SILVA, R.A.M. **Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2010.

CUNHA, J.P.A.R. et al. **Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas**. Planta Daninha, v.21, n.2, p.325-332, 2003.

CRISTOFORO, Adriano B.; MACHADO NETO, Joaquim G.. **Segurança das condições de trabalho de tratorista em aplicações de herbicidas em soja e amendoim e eficiência de equipamentos de proteção individual**. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 27, n. spe, Jan. 2007.

DONG, F.; HEINEMANN, W.; KASPER, R. **Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting**. Computers and Electronics in Agriculture, New York, v. 79, n. 2, p. 216-225, Nov. 2011.

EBERT, L. C.; SILVA FERRER, P. G.; SCHLOSSER, J. F. Definição de prioridades na gestão da tecnologia de aplicação. **Centro de Ciências Rurais**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FAO. **How to feed the world in 2050**. Rome, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfsbackground-documents/issues-briefs/en/>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

FERNANDES, Ana P. et al . **Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização**. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 27, n. 3, Dec. 2007

GRIEPENTROG, H. W.; DÜHRING, J. C. L.; PARAFOROS, D. S. **Robots for field operations with comprehensive multilayer control**. KI - Künstliche Intelligenz, Heidelberg, v. 27, n. 4, p. 325-333, June, 2013.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO11783: tractors and machinery for agriculture and forestry - serial control and communications data network**. Disponível em: <<http://www.iso.org/>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

JULIATTI, Fernando Cezar; NASCIMENTO, Cleyton and REZENDE, Anakely Alves. **Avaliação de diferentes pontas e volumes de pulverização na aplicação de fungicida na cultura do milho**. Summa phytopathol. [online]. 2010, vol.36, n.3 [cited 2015-01-13], pp. 216-221.

KAMOGAWA, Marcos Y.; MIRANDA, Jeová Correia. **Uso de hardware de código fonte aberto "Arduino" para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo**. Quím. Nova, São Paulo , v. 36, n. 8, 2013

KRUEGUER, R.; SANHUEZA, R. M. V.; KOVALESKI, A., **Circular Técnica**. Embrapa. Bento Gonçalves, v. 35. Jun. 2002.

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

MEWES, Walter Luis Castro et al . **Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando pulverizador pneumático**. Rev. Árvore, Viçosa , v. 37, n. 2, Apr. 2013

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria 3214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora nº 6 (NR-6). Equipamento de proteção individual**. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/default.asp

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. **Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics**. Biosystems Engineering, Silsoe, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; GUIMARÃES, R.J; SOUZA, Z.M. **Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.31, n.6, p.1.826-1.830, 2007.

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.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Volume 11. Piracicaba: FEALQ, 202. 309 p.

PEETS, S; MOUAZEN, A. M.; BLACKBURN, K.; KUANG, B.; WIEBENSOHN, J. **Methods and procedures for automatic collection and management of data acquired from on-the-go sensors with application to on-the-go soil sensors**. Computers and Electronics in Agriculture, New York, v. 81, n. 1, p. 104-112, Feb. 2012

SCHULLER, J.K. **Design for dynamic response of sprayer-applicators**. Journal of Fertilizer Issues, Manchester, v.8, n.3, p.69-73, 1991.

SIDAHMED, M. M. **Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles**. Transactions of the ASAE, v. 41, n. 3, p. 531-536, 1998.

SILVEIRA, J. C. M.; FILHO, A. G.; PEREIRA, J. O.; SILVA S. L.; MODOLO, A. J. **Avaliação qualitativa de pulverizadores da região de Cascavel, Estado do Paraná**. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v28, n. 4, p. 569-573, dez. 2006.

STEFANELO, Maurício S. et al . **Caracterização da pulverização de fungicida na cultura do trigo com pontas hidráulicas e atomizadores rotativos de discos**. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 34, n. 5, Oct. 2014 .

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. **Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, 2008.

VIANA, R.G. et al . **Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva.** Planta daninha, Viçosa , v. 28, n. 2, June 2010. Available from<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01003582010000200024&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Jan. 2015.<http://dx.doi.org/10.1590/S01003582010000200024>.

VILLALBA, J; HETZ, E. **Deriva de produtos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales.** ITecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicacones del INTA Alto Valle, 2010. 196p. Cap. 3.

UMEZU, Claudio K.; CAPPELLI, Nelson L.. **Desenvolvimento e avaliação de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos.** Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 10, n. 1, Mar. 2006 .

VANELLA, G.; SALYANI, M.; BALSARI, P. Effect of the nozzle adaptador of sprayer calibrator on flw rate measurements. **Crop Protection**, Oxford, v30, n. 8, p 1043-1047, 2011.

Apêndice A

```
//Programa : Mestrado Engenharia Agrícola - PGEAGRI

//Autor : Fernando de Lima Alves

//Carrega as bibliotecas

#include <LiquidCrystal.h>

int rele1 = 0;

int rele2 = 1;

int rele3 = 2;

int botao1 = 3;

int botao2 = 4;

int botao3 = 5;

LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);

void setup()

{

    pinMode(rele1, OUTPUT);

    pinMode(rele2, OUTPUT);

    pinMode(rele3, OUTPUT);

    pinMode(botao1, INPUT);

    pinMode(botao2, INPUT);

    pinMode(botao3, INPUT);
```

```
lcd.begin(16, 2);

lcd.clear();

Serial.begin(9600);

//Informacoes iniciais display

lcd.setCursor(4,0);

lcd.print("UNIOESTE");

lcd.setCursor(4,1);

lcd.print("PEGEAGRI");

//Desliga os Reles

digitalWrite(rele1, HIGH);

digitalWrite(rele2, HIGH);

digitalWrite(rele3, HIGH);

}

void loop()

{

    //Leitura e teste dos botões e acionamento dos reles

    if ((digitalRead(botao1) == HIGH)){

        digitalWrite(rele1,HIGH );

        digitalWrite(rele2, HIGH);

        digitalWrite(rele3, HIGH);

        delay(4000);

        digitalWrite(rele1, LOW);
```

```
    lcd.setCursor(4,1);  
    lcd.print("SECÃO 1 - ATIVA");  
}  
  
if ((digitalRead(botao2) == HIGH)){  
    digitalWrite(rele1, HIGH);  
    digitalWrite(rele2, HIGH);  
    digitalWrite(rele3, HIGH);  
    delay(4000);  
    digitalWrite(rele2, LOW);  
    lcd.setCursor(4,1);  
    lcd.print("SECÃO 2 - ATIVA");  
}  
  
if ((digitalRead(botao3) == HIGH)){  
    digitalWrite(rele1, HIGH);  
    digitalWrite(rele2, HIGH);  
    digitalWrite(rele3, HIGH);  
    delay(4000);  
    digitalWrite(rele3, LOW);  
    lcd.setCursor(4,1);  
    lcd.print("SECÃO 3 - ATIVA");  
}
```

```
//Modelo mostrar Temperatura e Umidade  
  
Serial.print(" Potencia : ");  
  
lcd.setCursor(10,1);  
  
lcd.print("      ");  
  
}
```