



WELLINGTON MENDES ZANELLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
CONTROLE ELETRÔNICO PARA RACIONALIZAÇÃO
DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA
CAFEICULTURA**

LAVRAS-MG

2023

WELLINGTON MENDES ZANELLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE ELETRÔNICO
PARA RACIONALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS
FITOSSANITÁRIOS NA CAFEICULTURA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Bacharelado em Engenharia Agrícola, para obtenção de título de Bacharel.

Prof.-Dr. Aldir Carpes Marques Filho

Orientador

Prof.-Dr. Rafael de Oliveira faria

Coorientador

LAVRAS-MG

2023

WELLINGTON MENDES ZANELLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE ELETRÔNICO
PARA RACIONALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS
FITOSSANITÁRIOS NA CAFEICULTURA**

**DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CONTROL SYSTEM TO
RATIONALIZE THE APPLICATION OF PHYTOSANITARY PRODUCTS IN
COFFEE GROWING**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Bacharelado em Engenharia Agrícola, para obtenção de título de Bacharel.

APROVADA em 12 de Dezembro de 2023.

Prof. Dr. Aldir Carpes Marques Filho UFLA

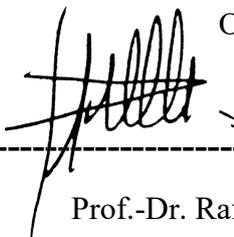
Prof. Dr. Rafael de Oliveira Faria UFLA

Prof(a.) Dr(a). Jaqueline de Oliveira Castro UFLA



Prof.-Dr. Aldir Carpes Marques Filho

Orientador



Prof.-Dr. Rafael de Oliveira Faria

Coorientador

LAVRAS – MG

2023

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos meus país, por todo apoio que me deram. À minha querida mãe Sandra Lino Mendes Zanelli, meus irmãos Kauã e Samira, e meu querido pai Nilson Luiz Zanelli, meu símbolo de profissionalismo e comprometimento, sendo e meu norte. À meus amigos que me acompanharam durante está jornada de conhecimento e realizações. E ao meu querido avô Adão Lucas, minha inspiração de perceverança e dedicação, que de onde ele esteja, guarda por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida. Agradeço a Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de aprendizado, através do ensino de qualidade e oportunidades de crescimento tanto pessoal quanto profissional.

A relação a seguir não descreve de forma hierárquica ou ordem de prioridade nos agradecimentos. Todos foram igualmente importantes.

Agradeço a meus orientadores, Prof. Dr. Aldir Carpes Marques Filho e ao Prof. Dr. Rafael de Oliveira Faria pelo apoio e suporte no desenvolvimento do projeto e pela atenção constante em todo o período de desenvolvimento da idéia.

Agradeço aos meus pais Nilson Luiz Zanelli e Sandra Lino Mendes Zanelli, por todo o apoio que me deram durante todos esses anos e pelo incentivo contínuo para que eu procegui-se com meus estudos.

Agradeço as Profa's. Dra's. Giselle Borges Moura e Jaqueline Oliveira Castro pelo apoio e amizade durante todo o ciclo da graduação, pelos conselhos e suporte que me ofereceram.

Grato aos colegas da Universidade Federal de Lavras, pela amizade e apoio durante toda a jornada que passamos juntos.

“Tudo o que temos de decidir
é o que temos de fazer com o
tempo que nos é dado.”

J.R.R. Tolkien (O Senhor dos
Anéis: A Sociedade do Anel).

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo (CONAB, 2022), no entanto, a aplicação de técnicas de agricultura de precisão na aplicação de defensivos na cafeicultura ainda carece de aprimoramentos. Dentre as modernas técnicas de manejo na agricultura de precisão, os controladores eletrônicos desempenham papel importante no controle de máquinas e implementos agrícolas (KERSBAUMER, 2016). Porém, a cafeicultura ainda carece da aplicação desses componentes no controle do manejo fitossanitário das lavouras. O objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema eletrônico de baixo custo para controle da aplicação de defensivos em lavouras cafeeiras. Especificamente, reduzindo o desperdício de calda fitossanitária na cultura e aprimorando a eficiência do processo produtivo. O desenvolvimento do sistema seguiu metodologia proposta por Rozenfeld et al. (2015). O processo de desenvolvimento foi ordenado em atividades sequenciais que foram desde pesquisa inicial de mercado, objetivando encontrar soluções disponíveis com funcionalidades semelhantes, desta forma, as necessidades de mercado foram avaliadas e através de processos formalizados, completamente atendidas. Os testes preliminares foram realizados em uma lavoura recém recepada, com idade de 13 anos e altura de 70 centímetros. Com o trator se locomovendo a uma velocidade média de 4 km h⁻¹ e o sensor alocado a uma distância de 2,5 metros de distância da seção de aplicação (barra com bicos), adaptado em um suporte frontal, se estimou por meio matemático o tempo necessário para a ativação do comando de controle do relé de atuação na válvula solenoide, desta forma o sistema foi aprovado nos testes de funcionamento preliminares, pois foi capaz de realizar a identificação das plantas no momento da passagem na lavoura. O sistema foi eficaz em reduzir o volume aplicado na mesma área, apresentando em média, 11 litros de diferença entre as aplicações, totalizando uma redução de 22% de calda entre as aplicações. O custo de desenvolvimento da tecnologia foi de até 1000% menor do que as tecnologias comerciais disponíveis e otimizou adequadamente a aplicação de produtos fitossanitários na cafeicultura. O sistema desenvolvido apresenta aplicação promissora na cafeicultura, incorrendo em redução de custos aos produtores, aumento da eficiência produtiva e redução do impacto ambiental na agricultura.

Palavras chave: Otimização; Eficiência; Aplicação; Instrumentação; Tecnologia.

ABSTRACT

Brazil is the largest coffee producer in the world (CONAB, 2022), however, the application of precision agriculture techniques in the application of pesticides in coffee farming still needs improvements. Among modern management techniques in precision agriculture, electronic controllers play an important role in controlling agricultural machines and implements (KERSBAUMER, 2016). However, coffee farming still lacks the application of these components to control the phytosanitary management of crops. The objective of this study was to develop a low-cost electronic system to control the application of pesticides in coffee crops. Specifically, reducing the waste of phytosanitary mixture in the crop and improving the efficiency of the production process. The development of the system followed the methodology proposed by Rozenfeld et al. (2015). The development process was organized into sequential activities that ranged from initial market research, aiming to find available solutions with similar functionalities, in this way, market needs were assessed and, through formalized processes, completely met. Preliminary tests were carried out on a recently received crop, aged 13 years and 70 centimeters tall. With the tractor moving at an average speed of 4 km h⁻¹ and the sensor located at a distance of 2.5 meters away from the application section (bar with nozzles), adapted to a front support, it was estimated through mathematical means the time required to activate the control command of the actuation relay on the solenoid valve, thus the system passed the preliminary functional tests, as it was capable of identifying plants as they passed through the field. The system was effective in reducing the volume applied to the same area, presenting an average of 11 liters of difference between applications, totaling a 22% reduction in spray solution between applications. The cost of developing the technology was up to 1000% lower than available commercial technologies and adequately optimized the application of phytosanitary products in coffee farming. The developed system presents promising application in coffee farming, resulting in reduced costs for producers, increased production efficiency and reduced environmental impact in agriculture.

Keywords: Otimization; Efficiency; Application; Instrumentation; Technology

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Fundamentos de tecnologia de aplicação	2
2.2 Fatores que afetam a aplicação de Defensivos	3
2.3 Máquinas para aplicação via líquida	3
2.4 Novas tecnologias e microcontroladores utilizados na aplicação de defensivos....	5
2.5 Tecnologia de Aplicação na cafeicultura.....	5
3 Material e Métodos.....	7
3.1 Projeto Informacional.....	8
3.2 Plataformas de Prototipagem e microcontroladores comerciais	9
3.3 Sensores e Atuadores Disponíveis para Composição do Projeto	11
3.4 Programação Lógica para Plataformas e Microcontroladores.....	12
3.5 Organograma de Seleção de Componentes e Montagem inicial do Protótipo	13
3.6 Justificativa para a Seleção dos Componentes	14
3.7 Montagem dos componentes em Bancada e testes preliminares em campo	15
3.8 Ensaio de funcionamento e validação no campo	17
3.9 Avaliação dos resultados e análises estatísticas	18
4 Resultados e Discussões	18
6 Conclusões.....	24
7 Referências	25

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo (CONAB, 2022), no entanto, a aplicação de técnicas de agricultura de precisão na aplicação de defensivos na cafeicultura ainda carece de aprimoramentos. Segundo Contiero et al. (2018), tecnologia de aplicação representa o conjunto de conhecimentos científicos e tecnológicos voltados ao processo de controle fitossanitário nas lavouras.

Os produtos fitossanitários ou defensivos agrícolas, possuem finalidades específicas, utilizados para combater ou controlar populações de pragas, doenças e plantas daninhas. Estima-se que as pragas causem prejuízos na ordem de 14,7 bilhões de dólares anuais na produção de alimentos, óleos e fibras (OLIVEIRA et al., 2014). Desta forma, a evolução nos meios de controle fitossanitário é importante para reduzir os prejuízos e incrementar a segurança alimentar mundial.

A agricultura de precisão consiste num modelo de gestão da variabilidade baseado na coleta de dados, tratamento e aplicação das informações geradas em campo com a finalidade de melhorar o processo produtivo. As técnicas de agricultura de precisão aplicadas à cafeicultura são conhecidas como cafeicultura de precisão (SILVA; ALVES, 2013).

Dentre as modernas técnicas de manejo na agricultura de precisão, os controladores eletrônicos desempenham papel importante no controle de máquinas e implementos agrícolas (KERSBAUMER, 2016). Porém, a cafeicultura ainda carece da aplicação desses componentes no controle do manejo fitossanitário das lavouras.

Atualmente a aplicação de defensivos ocorre com o controle manual de acionamento das máquinas de pulverização, isso permite que, em muitos casos, a calda fitossanitária seja aplicada em locais indesejados, como estradas, carreadores e falhas na lavoura. A adoção de controladores eletrônicos para o acionamento pode minimizar o desperdício de calda fitossanitária e reduzir o esforço manual dos aplicadores (PRADO, 2023). Pensando no que existe disposto no mercado atualmente, vemos que existem propostas para melhorar a eficiência da aplicação, contudo, possuem alto valor de aquisição, se tornando muitas vezes desinteressantes para produtores de pequeno e médio porte.

O objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema eletrônico de baixo custo para controle da aplicação de defensivos em lavouras cafeeiras. Especificamente, reduzindo o desperdício de calda fitossanitária na cultura e aprimorando a eficiência do processo produtivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil é um dos principais produtores de alimentos do mundo e o controle de pragas e doenças nas lavouras, com utilização de defensivos agrícolas é uma prática amplamente difundida no país (AZEVEDO, 2006). O clima tropical do Brasil, fornece condições climáticas ideais para o desenvolvimento de pragas e doenças.

Para DAHER et al. (2017), o Brasil utiliza em média 4,3 kg de defensivos por hectare, o que comparando em função da área, é ínfimo perante a países como Holanda, que chegam a utilizar cerca de 20,8 kg por hectare (FAO, 2017).

Anualmente, pragas e doenças agrícolas reduzem de 20% a 40% do potencial produtivo das lavouras mundiais (FAO, 2020). Seguindo o ritmo de crescimento dos patógenos, o uso de defensivos agrícolas cresceu 44,1% nos últimos dez anos em âmbito mundial.

Além de aumentar a quantidade de produtos aplicados nas lavouras, os produtores precisaram incrementar a diversidade de técnicas de aplicação. Novas máquinas com sistemas eletrônicos podem melhorar a eficiência e reduzir as perdas de calda. Atualmente, essas máquinas são utilizadas nas culturas anuais, como milho, soja, sorgo e milheto; fibras como algodão e sucroalcooleiras cana-de-açúcar (CEZAR et.al., 2012), porém o desfalque tecnológico se mostra presente em culturas como o café (MOREIRA; ALVES, 2013).

2.1 Fundamentos de tecnologia de aplicação

Tecnologia de Aplicação de Defensivos é o conjunto de técnicas, equipamentos e métodos utilizados na aplicação de defensivos agrícolas de forma eficiente e segura com mínimos efeitos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Essa tecnologia engloba a escolha adequada dos equipamentos de aplicação, a seleção correta dos produtos a serem aplicados, o conhecimento das condições ambientais e a adoção de boas práticas de manejo.

Dentre os principais objetivos da tecnologia de aplicação de defensivos estão a redução do desperdício de produtos, a maximização da eficácia dos tratamentos, a minimização da contaminação de áreas não alvo, a preservação da qualidade dos alimentos produzidos, a minimização dos riscos para o aplicador e a proteção do meio ambiente (SANTOS, 2005).

2.2 Fatores que afetam a aplicação de Defensivos

Diversos fatores podem afetar a qualidade de aplicação de defensivos, normalmente eles estão relacionados aos fatores climáticos, características da relação patógeno-hospedeiro, máquinas, solo, operador, veículo líquido, princípio ativo, entre outros.

O clima pode afetar diretamente a qualidade das aplicações de defensivos. São consideradas como condições ótimas para a aplicação, temperaturas entre 10°C e 30°C, umidade relativa do ar entre 70% e 90% e velocidade relativa do ar nos arredores do local de aplicação na faixa de 3 a 5 Km/h, são ditas como as melhores para se obter o máximo possível de eficiência (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

O fator solo pode limitar a qualidade e eficiência da aplicação de defensivos, já que a reatividade de seus componentes pode interagir com a calda e reduzir a eficiência de controle dos alvos da aplicação (CONTIERO et.al., 2018). Em solos argilosos a grande quantidade de coloides presentes inibe o princípio ativo de certos defensivos agrícolas de ação sistêmica, exigindo doses maiores.

O volume de calda afeta diretamente a cobertura de aplicação desejada. Em culturas perenes, como exemplo o café e citrus, são utilizados grandes volumes de aplicação. Entretanto, pesquisas recentes têm demonstrado eficiência de controle na cafeicultura, operando-se em volumes menores de calda. De acordo com MELO et al. (2019), com a redução dos volumes de calda aplicados durante o combate do bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*), uma das principais pragas dos cafeeiros brasileiros, notou-se uma melhor eficácia de controle.

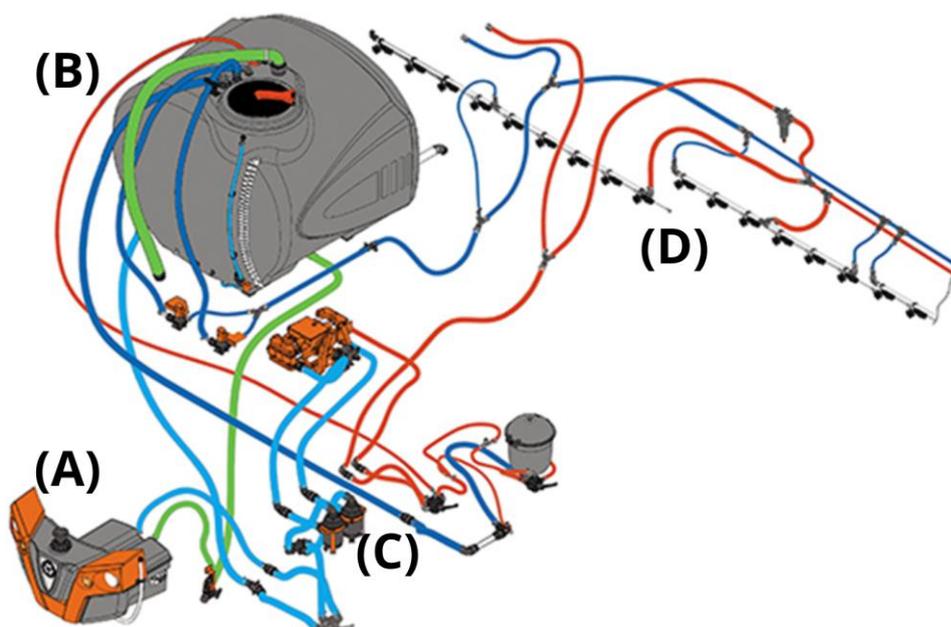
2.3 Máquinas para aplicação via líquida

As máquinas são agentes importantes no processo de tecnologia de aplicação, estas devem ser selecionadas em função das demandas de cada unidade produtiva,

levando em consideração fatores como tamanho e topografia da área, além da capacidade de investimento do produtor.

Comumente um pulverizador é formado por uma bomba hidráulica podendo ser de rotor aberto ou pistões, tanque reservatório de calda, tanque reservatório de água limpa, válvula de distribuição e retorno, ramais de distribuição e bicos de aplicação. Podendo ser autopropelidos ou tracionados por um trator agrícola com tomada de potência (TDP), serem de arrasto ou montados, possuindo diferentes níveis de sofisticação a fim de atender diferentes demandas (Figura 1).

Figura 1. Representação esquemática de um tanque de aplicação.



Fonte: Jacto (2013).

De forma simplificada, um pulverizador é caracterizado pela presença dos componentes listados na figura 1, mais especificamente se tratando de um pulverizador de barras, porém, possuindo os componentes vitais de todo pulverizador, sendo eles: (A) Bomba hidráulica; (B) Tanque reservatório de calda; (C) Sistema de filtragem; (D) Barras e bicos de aplicação.

Na aplicação de líquidos sob a forma de pulverização, a deposição e distribuição de produtos fitossanitários na parte aérea da planta depende de diversos fatores como: Tamanho da planta, densidade de copa, deriva, tamanho de gota, volume de calda, forma e volume da planta, velocidade de deslocamento do equipamento, vento, tipo de

equipamento utilizado, combinação de bicos no pulverizador em relação a planta, volume de saída de ar do pulverizador, velocidade do ar e distância do pulverizador até o alvo (RAETANO, 1996). Com todos os pontos listados sendo levantados previamente, se terá uma escolha adequada do equipamento que irá atender de forma satisfatória as demandas exigidas, melhorando a eficiência e diminuindo perdas.

2.4 Novas tecnologias e microcontroladores utilizados na aplicação de defensivos

Com a chegada da agricultura de precisão, a integração de sistemas embarcados com eletrônica no meio rural se tornou algo rotineiro em diversas propriedades no mundo todo, visto que estes componentes vêm sendo empregados na melhoria e aumento da eficiência dos trabalhos de campo, se mostrando um tremendo diferencial para contornar problemas cotidianos e empecilhos na realização de tarefas (SILVA; ALVES, 2013).

Kerschauer (2016) define os microcontroladores como sendo computadores de um único chip. De tal modo, estes componentes eletrônicos podem ser um grande auxílio em diversas atividades em inúmeros setores, tais como a agricultura.

Na cafeicultura de precisão, a eletrônica embarcada pode trazer benefícios, quando aplicada na detecção de processos e controle através de sensores (SILVA; ALVES, 2013). Atualmente as máquinas modernas contam com diversos sistemas eletrônicos como sensores, controladores e atuadores. Utilizados na melhoria do processo de manejo com a lavoura, trazem benefícios de ponta a ponta em uma propriedade rural, reduzindo custos desnecessários, melhorando a eficiência e controle do tempo disponível e otimizando processos.

2.5 Tecnologia de Aplicação na cafeicultura

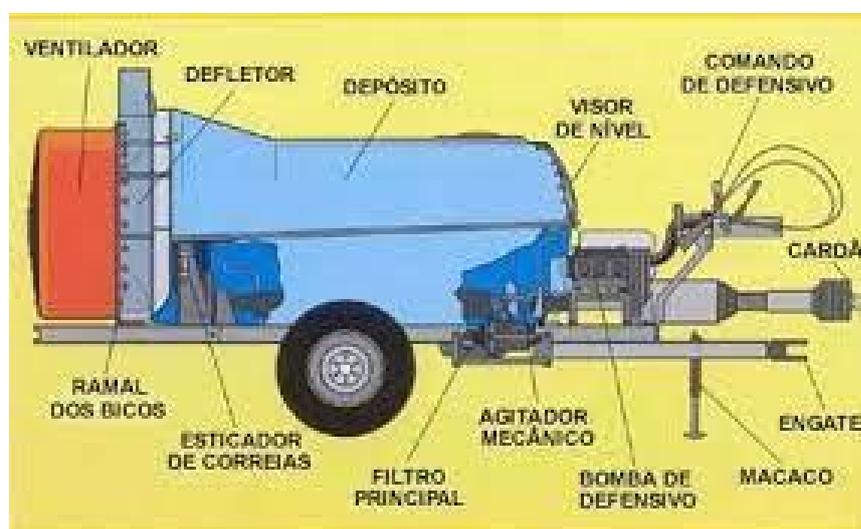
A aplicação de defensivos agrícolas no café inicia com a avaliação presencial das lavouras, levando em consideração a topografia local, tamanho das plantas e alvos a serem atingidos. Com tais informações, pode-se escolher o melhor tipo de equipamento a ser utilizado, o correto defensivo e sua dose. Por fim, são realizadas as regulagens e calibrações necessárias nos equipamentos (SENAR, 2020).

Na cafeicultura, a ocorrência de plantas de grande porte, com alto índice de enfolhamento e grandes volumes de copa, apresenta desafios à tecnologia de aplicação, visto que os grandes volumes foliares encontrados na cultura do café criam um

microclima propício ao desenvolvimento de pragas e doenças, além de tornarem-se barreiras físicas contra a ação direta dos defensivos aplicados (MISTRO, 2013).

Diferentemente das culturas anuais, o modo de aplicação de defensivos nas lavouras de café, na maioria das aplicações é realizada na posição vertical. Assim, foram desenvolvidos os turbo-atomizadores, ou pulverizadores com assistência de ar, que facilitam a penetração de gotas no dossel e direcionamento lateral de gotas. De acordo com Antuniassi e Boller (2019), estes equipamentos, possuem uma turbina acoplada ao sistema de transmissão da bomba e causam também a fragmentação das gotas em tamanhos menores do que $50\mu\text{m}$ na maioria das aplicações (Figura 2).

Figura 2. Representação esquemática de um turbo-atomizador.



Fonte: ANTUNIASSI; BOLLER (2019).

Em cafezais em produção, as atividades de manejo são feitas conforme a época do ano e as necessidades (alvos) apresentados em cada fase da cultura (MESQUITA, 2016). Nos meses de setembro a abril são normalmente realizadas as atividades de manutenção e tratamentos culturais da lavoura, os quais podem compreender amostragens e análises de solo, aplicações de calcário e gesso, adubações (sólidos e líquidos), podas, recepas, descompactação do solo nas entrelinhas, controle de ervas daninhas e aplicação de defensivos.

No período compreendido entre junho e agosto, normalmente se realizam as atividades referentes a colheita dos frutos do cafeeiro, sendo este o único intervalo

recorrente nas aplicações de defensivos agrícolas, por motivos de biossegurança do produto final.

Nas lavouras cafeeiras, principalmente em cultivos antigos, é comum encontrar falhas na linha de plantio, ocasionando espaços vazios na lavoura, os quais não são contabilizados no momento da aplicação, incorrendo assim em considerável desperdício de calda fitossanitária. A adoção de tecnologias de Agricultura de Precisão pode mitigar esses fatores negativos (SILVA; ALVES, 2013).

A tecnologia de aplicação na cafeicultura não alcançou avanços significativos nos últimos anos, visto que, atualmente cabe ao operador estar atento aos fatores e controle de aplicação de defensivos durante a aplicação, fato que torna menos eficiente o processo, sobrecarregando o operador.

3 Material e Métodos

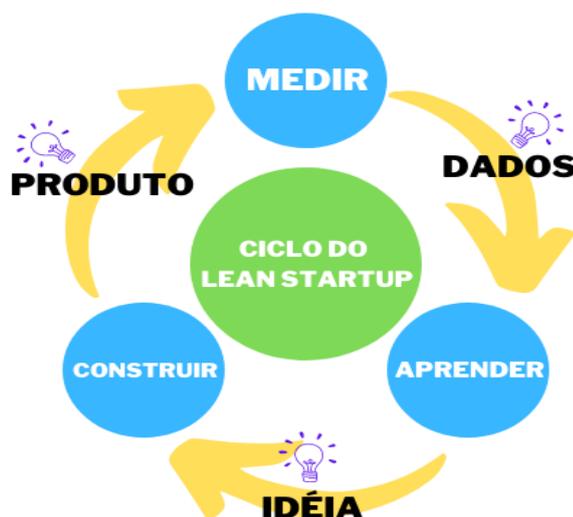
O estudo foi realizado na Universidade Federal de Lavras, campus Lavras-MG e os testes do protótipo foram realizados em uma unidade comercial de produção de café no município de Serra do Salitre-MG sob as coordenadas -19,2649693 de latitude e -46,7334684 longitude, com altitude total de 941. A cultivar de café da área de testes era a Mundo Novo Vermelho e o tipo de solo foi classificado como Argissolo vermelho Santos et al.(2018). Em relação as condições climáticas, o desenvolver dos testes se deu durante o mês de outubro, onde é marcado por um clima quente e umido, variando a temperatura entre 25°C e 32°C, com umidade relativa do ar (UR) estando entre 60%UR e 90%UR, com ventos de até 10km/h.

O desenvolvimento do sistema seguiu metodologia proposta por Rozenfeld et al. (2015). O processo de desenvolvimento foi ordenado em atividades sequenciais que se iniciaram na pesquisa de mercado, objetivando encontrar soluções disponíveis com funcionalidades semelhantes, desta forma, as necessidades de mercado foram avaliadas e através de processos formalizados, completamente atendidas.

Objetivou-se durante o desenvolvimento inicial, pesquisar produtos ou sistemas de controle da pulverização em culturas comerciais como grãos e fibras. Sendo uma metodologia de desenvolvimento de produtos mais antiga no mercado, tratando de forma sistematizada o desenvolvimento de projetos.

Complementarmente à metodologia de Rozenfeld et al. (2015) foram desenvolvidas estratégias de: Planejamento do produto; Projeto do produto e Planejamento do Processo através dos passos construir, medir e aprender, propostos por Ries (2012) em “The Lean Startup” (Figura 3).

Figura 3. Ciclo do produto proposto em “The Lean Startup”.



Fonte: Autor (2023).

O desenvolvimento de um mínimo produto viável (MVP) após a pesquisa de componentes disponíveis no mercado, com relação custo-benefício favorável foi adotada e pesquisas de componentes eletrônicos passíveis de utilização no projeto foram elencados. Assim sendo, os passos da pesquisa foram direcionados para a escolha do melhor microcontrolador para o projeto, os sensores com potencial de uso e as características de montagem e estrutura geral do protótipo.

3.1 Projeto Informacional

No projeto informacional, a necessidade do sistema foi elaborada em função da necessidade dos clientes de reduzir o desperdício de calda fitossanitária em locais da lavoura onde não existe a necessidade de aplicação, como no caso das falhas de plantas, estradas, áreas de manobra e carreadores.

Portanto, o equipamento desenvolvido deve ser responsável por racionalizar a aplicação de calda fitossanitária através de um controle automatizado de abertura e fechamento da barra de aplicação. Especificamente o dispositivo deverá: Identificar as

falhas; reconhecer o momento correto de fechar a seção de aplicação; identificar as plantas após a falha; abrir a sessão novamente para aplicação da calda.

O modelo conceitual do equipamento foi composto por sensores para identificação, um microcontrolador para processar as informações e gerar respostas, um atuador para responder ao comando do microcontrolador e uma válvula para corte de seção durante a aplicação. Nas próximas seções serão abordadas as características dos principais componentes citados com potencial para atender cada uma das etapas da operação de aplicação de defensivos controlada automaticamente.

3.2 Plataformas de Prototipagem e microcontroladores comerciais

Durante a pesquisa por sistemas de controle e plataformas de prototipagem para atender a funcionalidade do projeto de controle da aplicação de defensivos na cafeicultura, verificou-se três opções disponíveis com potencial de adoção no projeto.

O primeiro sistema encontrado com potencial foi o ADK (Accessory Development Kit), baseada na placa de hardware livre Arduino, desenvolvido e patentado pela Google. Esta plataforma tem por objetivo principal criar acessórios para complementar dispositivos Android, entregando diversas funcionalidades do sistema operacional móvel em uma placa exclusiva (Figura 4).

Figura 4. Placa microcontroladora Google ADK.



Fonte: Google (2021).

Outra possibilidade de aplicação no projeto foi a plataforma Raspberry pi, equipada com um processador de alta velocidade e com possibilidade de acoplamento em

diversos dispositivos externos, além de possibilitar o funcionamento de um sistema operacional Linux. Esta plataforma funciona como um “mini-computador” a placa tem uma capacidade de processamento elevada, sendo mais indicada para o processamento de imagens e arquivos de vídeo (Figura 5).

Figura 5. Plataforma Raspberry pi.

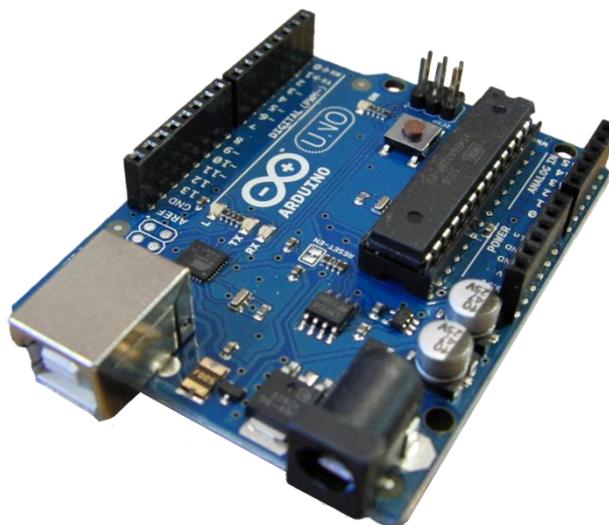


Fonte: raspberry.com (2020).

A terceira opção encontrada para atender a funcionalidade foi a plataforma Arduino, desenvolvida no ano de 2005, em Ivrea na Itália, esta plataforma de baixo custo pode ser aplicável em diversos projetos, através de acesso livre, aberto e de fácil acesso.

Desde sua criação comunidades de desenvolvedores do mundo todo a adotaram o Arduino como dispositivo padrão para criação de protótipos ou produtos para o mercado, se tratando de uma placa que utiliza de uma linguagem padrão de comunicação e possuindo afinidade com uma gama vasta de outros tipos de hardware (Figura 6).

Figura 6. Microcontrolador Arduino Uno.



Fonte: Arduino (2019).

3.3 Sensores e Atuadores Disponíveis para Composição do Projeto

Para fim de medição e controle das variáveis envolvidas no processo de aplicação de defensivos, foram avaliadas soluções de controle e atuação para automação do processo de acionamento e desligamento do circuito de pulverização.

Para detecção das plantas e locais exatos de aplicação de calda, o projeto demandou um modelo de sensor capaz de identificar as plantas e pontos da lavoura passíveis de aplicação de calda. As tecnologias disponíveis variaram desde sensores ópticos, detecção via laser e por fim, tecnologias de detecção ultrassônica.

Para abertura e fechamento da seção de pulverização, as opções mais adaptáveis à necessidade do projeto consistiam na aplicação de eletroválvulas de controle de fluxo. As válvulas do tipo solenoide, alimentada com 12 volts em corrente contínua, são adaptáveis para qualquer tipo de microcontrolador. Estas atuam como um registro de abre e fecha para controlar a passagem da calda de aplicação no decorrer da operação.

Inicialmente para atender aos requisitos do projeto, foi realizado um sistema comparativo entre os componentes e equipamentos existentes atualmente no mercado, que podem atender às solicitações do projeto de forma satisfatória. A Figura 7 descreve os principais componentes passíveis de utilização no projeto.

Figura 7. Comparativo de componentes.

FUNÇÃO	1ª ALTERNATIVA	2ª ALTERNATIVA	3ª ALTERNATIVA
Controle dos componentes	Arduíno Uno 	Raspberry pi 	Google ADK 
Características:	Baixo Custo; Facilmente adaptável;	Alto Custo; Poder de processamento alto;	Alto Custo; Uso específico;
Identificar falhas na lavoura	Sensor de Dist. Reflexivo Infravermelho PNP 	Sensor de Obstáculos Infravermelho LM393 	Sensor de Dist. Ultrassônico HC-SR04 
Características:	Alto custo; Alcance de até 80 cm;	Baixo Custo; Alcance de até 20 cm;	Baixo Custo; Alcance de até 45 cm; Ângulo de varredura amplo;
Acionamento da válvula solenoide	Módulo relé 	Relé 5V 	Módulo relé 2 Canais 
Características:	Baixo Custo; Pronto para uso;	Baixo Custo; Necessita de um circuito pré disposto;	Baixo Custo; Maior número de entradas;
Interrupção da seção	Válvula solenoide sem bobina 	Válvula solenoide 12V 	Válvula solenoide 
Características:	Alto Custo; Suporta até 20 BAR; Oxidável;	Baixo Custo; Suporta até 8 BAR;	Alto Custo; Suporta até 20 BAR; Maior perda de carga localizada;

Fonte: Do autor (2023).

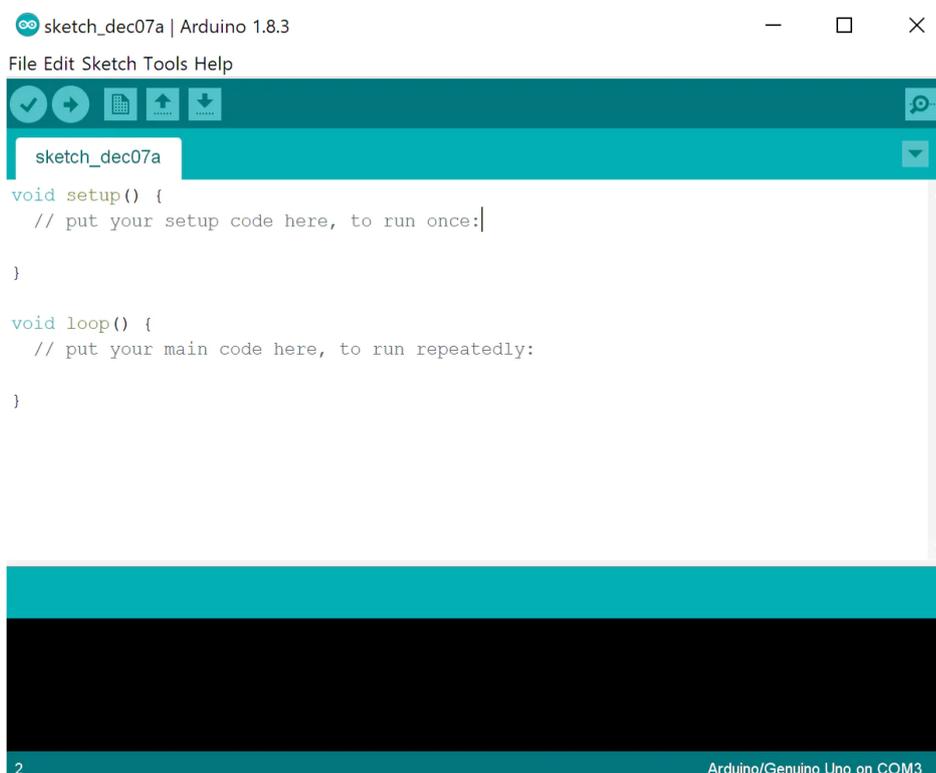
3.4 Programação Lógica para Plataformas e Microcontroladores

Um programa, ou software, nada mais é do que um conjunto de regras e definições escritas de uma forma sequencial e lógica, com fins de instruir a um microcontrolador a realização autônoma de uma tarefa ou função específica (CHAVIER, 2017).

Para programar um sistema, é necessário que códigos sejam escritos em um ambiente específico de compilação. Compilar se entende pelo ato de converter o

programa escrito em linguagem de máquina, a qual é entendida pelos componentes lógicos do sistema, isso é realizado, no caso do Arduino, por uma interface de desenvolvimento IDE (Figura 8).

Figura 8. Interface de Programação IDE Arduino.



Fonte: Arduino IDE (2023).

3.5 Organograma de Seleção de Componentes e Montagem inicial do Protótipo

A seleção dos componentes para o sistema ocorreu em função da viabilidade econômica e funcional de cada dispositivo, considerando-se um produto comercial minimamente viável ao final do processo de desenvolvimento (Figura 9).

Figura 9. Organograma de seleção dos componentes para o projeto

FUNÇÃO	1ª ALTERNATIVA	2ª ALTERNATIVA	3ª ALTERNATIVA
Controle dos componentes	Arduino Uno 	Raspberrypi 	Google ADK 
Características:	Baixo Custo; Facilmente adaptável; Desempenho considerável	Alto Custo; Poder de processamento alto	Alto Custo; Uso específico
Identificar falhas na lavoura	Sensor de Dist. Reflexivo Infravermelho PNP 	Sensor de Ondas Infravermelhas LMB93 	Sensor de Dist. Ultrassônico HC-SR04 
Características:	Alto custo; Boa precisão; Alcance de até 80 cm	Baixo Custo; Alcance de até 20 cm; Precisão considerável	Baixo Custo; Alcance de até 4,5 cm; Ângulo de varredura amplo
Acionamento da válvula solenoide	Módulo relé 	Relé 5V 	Módulo relé 2 Canais 
Características:	Baixo Custo; Boa performance; Pronto para uso	Baixo Custo; Necessita de um circuito pré disposto	Baixo Custo; Maior número de entradas
Interrupção da seção	Válvula solenoide sem bobina 	Válvula solenoide 12V 	Válvula solenoide 
Características:	Alto Custo; Suporta até 20 BAR; Oxidável	Baixo Custo; Suporta até 8 BAR	Alto Custo; Suporta até 20 BAR; Maior perda de carga localizada

Fonte: Do autor (2023).

3.6 Justificativa para a Seleção dos Componentes

Comparando-se os preços atuais de mercado das soluções disponíveis, uma placa Google ADK chega a custar US\$ 48,68 sendo que ela é utilizada para fins específicos, não permitindo maleabilidade nas finalidades que se pode empregar a mesma. Da mesma forma, placas raspberry pi chegam a custar US\$ 138,95, possuem uma vasta gama de utilidades, porém seu preço se torna desfavorável ao se pensar em desenvolver um

protótipo que sofrerá mudanças ao decorrer do processo até se fixar num modelo padrão, sendo assim desinteressante pelo custo inicial de aquisição.

Em relação às placas modelo Arduino uno, o preço de mercado gira em torno dos US\$ 11,36, o que a torna interessante em função da característica de baixo custo. Outro fator positivo é a vasta gama de conteúdos e comunidades de desenvolvimento pelo mundo todo, possibilitando uma diversidade de fontes de consulta para solução de problemas no decorrer do projeto, assim como a vasta gama de componentes e sensores compatíveis.

O sensor de detecção utilizado, foi escolhido um sensor ultrassônico modelo HC-SR04, de baixo custo de aquisição, boa precisão e possuindo uma vasta gama de bibliotecas para sua utilização com Arduino. A seleção do sensor de obstáculos de ultrassônico, que tem por princípio a medição de um sinal por meio de um emissor de ultrassom (TRIGGER), e a recepção do sinal pelo receptor de eco (ECHO) é possível identificar a distância percorrida pelo sinal e converter em detecção de objetos físicos.

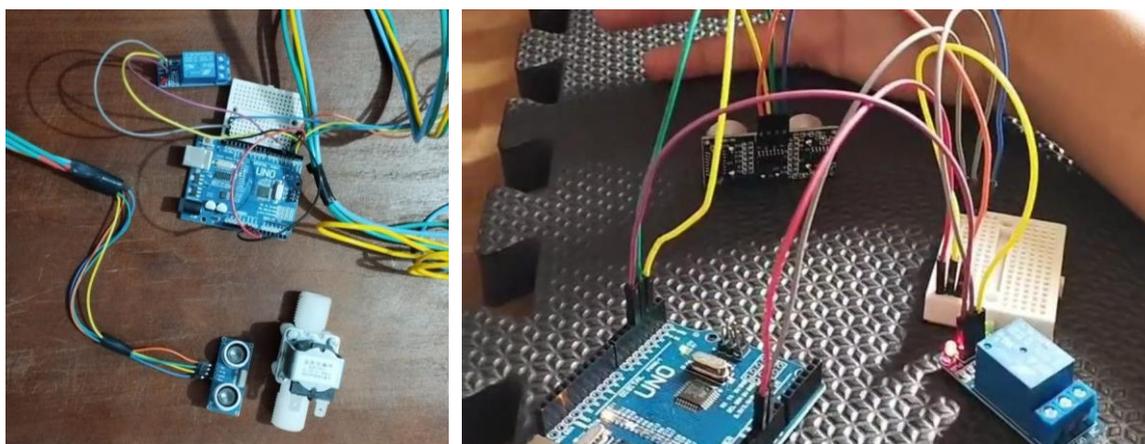
Para o controle da seção foi utilizado uma válvula tipo solenoide para interromper ou dar continuidade no fluxo de fluido que passa pelo sistema. Em relação à válvula solenóide, foi utilizada uma de 12 volts, 10 amperes de modelo normalmente fechado (NF), as características que se encaixam perfeitamente para um protótipo de baixo custo e boa performance.

Em função das altas correntes elétricas para acionar as válvulas de controle, foi utilizado um módulo relé para a intermediação da atuação, de 1 canal, 5 volts e 10 amperes adaptado com leds indicadores. Por meio deste, a tensão de alimentação para a válvula foi controlada, mantendo a válvula fechada enquanto não houvesse passagem de corrente e se abrindo assim que o relé permitisse a passagem de corrente.

3.7 Montagem dos componentes em Bancada e testes preliminares em campo

Após a seleção dos componentes, para proceder testes preliminares de programação, montou-se em bancada a primeira versão do sistema eletrônico (Figura 10). Ao realizar os testes, foi possível coletar dados para avaliar a eficácia do sistema. Começando pelo teste em bancada, utilizou-se ramos de plantas de café para acionar o funcionamento da válvula solenoide, simulando o funcionamento no campo. Ao utilizar ramos da planta, observou-se o funcionamento de detecção do sensor HC-SR04 e acionamento da válvula de controle de emissão de calda.

Figura 10. Testes Preliminares do Sistema em Bancada.



Fonte: Do autor (2023).

Após os testes de funcionamento em bancada e desenvolvimento do algoritmo de programação e funcionamento, o sistema foi montado em situação real de campo, em um conjunto trator - turbo atomizador cafeeiro da marca Jacto modelo arbus 2000 (Figura 11).

Figura 11. Conjunto Trator-Turbo atomizador arbus 2000 com sistema instalado.



Fonte: Do autor (2023).

Os testes preliminares foram realizados em uma lavoura recém recepada, com idade de 13 anos e altura de 70 centímetros. Com o trator se locomovendo a uma velocidade média de 4 km h^{-1} e o sensor alocado a uma distância de 2,5 metros de distância da seção de aplicação (barra com bicos), adaptado em um suporte frontal, se estimou por meio matemático o tempo necessário para a ativação do comando de controle do relé de atuação na válvula solenoide, desta forma o sistema foi aprovado nos testes de

funcionamento preliminares, pois foi capaz de realizar a identificação das plantas no momento da passagem na lavoura.

3.8 Ensaio de funcionamento e validação no campo

Para os testes oficiais de campo para validação do sistema, foram realizadas aplicações de defensivos em situação de lavoura cafeeira estabelecida em duas formas de aplicação (tratamentos), a primeira com o turbo atomizador sem o sistema de automação instalado (acionamento manual) e outro com o sistema de controle eletrônico operante (automático).

O conjunto utilizado para os testes era composto por um trator agrícola com tração dianteira auxiliar (TDA) acoplado a um turbo-pulverizador da marca Jacto, modelo Arbus 400 (Figura 12). Calibrou-se o sistema para aplicação de um volume de 200 L/ha de água pura. As faixas de trabalho foram determinadas em delineamento completamente casualizado, sendo compostas por 4 linhas de café com 50 metros de comprimento cada uma. A área total de testes correspondeu a 3,5 hectares.

Figura 12. Sistema de automação montado no conjunto Trator e turbo-pulverizador Arbus 400.



Fonte: Autor (2023).

Ao início de cada percurso de aplicação o turbo atomizador foi preenchido com água e, ao final da aplicação o volume utilizado foi novamente reposto ao tanque. A diferença entre o volume inicial e o volume final do tanque foi considerado como o volume de aplicação total em cada faixa e cada tratamento contou com 4 repetições. As

passagens do conjunto com e sem o sistema foram realizadas em mesma área e faixas, de forma a tratar a quantidade de plantas e carregadores como covariável experimental.

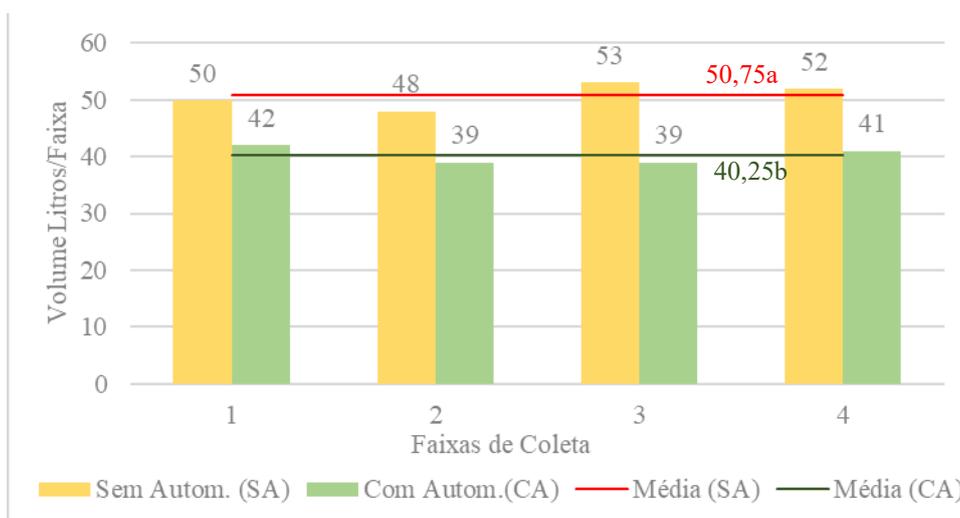
3.9 Avaliação dos resultados e análises estatísticas

Os resultados de desenvolvimento deste estudo foram avaliados através de análise financeira de Payback e Taxa Interna de Retorno (TIR) em função do custo de montagem do protótipo e possíveis retornos financeiros. Para as análises financeiras utilizou-se compilador em linguagem Python. As médias de volume de calda aplicados nos tratamentos de campo com e sem o protótipo passaram por testes de normalidade Shapiro Wilk, análise de variância e teste de médias modelo t-Student à 5% de probabilidade. Todos os testes estatísticos foram elaborados através de compilador Python em pacote estatístico *scipy stats* e *numpy*.

4 Resultados e Discussões

O sistema desenvolvido apresentou redução significativa no volume de calda aplicado durante os testes de funcionamento. A operação manual do turbo-pulverizador apresentou um volume de calda médio de 50,75 litros por parcela, já o sistema de aplicação equipado com o sensor de detecção de plantas ultrassônico e a válvula solenoide apresentou uma média de 40,25 litros de calda (Figura 13).

Figura 13. Análise comparativa entre o volume de calda utilizado em cada parcela experimental com e sem a utilização do sistema de automação de aplicação.



Fonte: Do autor (2023).

A Figura 13 permite inferir que o sistema foi eficaz em reduzir o volume aplicado na mesma área, apresentando em média, 11 litros de diferença entre as aplicações, totalizando uma redução de 22% de calda entre as aplicações. Duarte (2021), em sua dissertação, aborda o quanto significativo é para produtores rurais utilizar de tecnologias semelhantes as desenvolvidas durante o trabalho, com a diferença de estar utilizando um pulverizador de barras e os componentes eletrônicos que foram utilizados foram pensados para se utilizar diretamente com uma placa de circuito impresso, onde, por meio de seu sistema, conseguiu atingir uma eficiência de 11% de melhoria no tempo de aplicação de defensivos. Ressaltando que as culturas abordadas foram diferentes, tratamos aqui em relação a cafeicultura, já Duarte (2021) trata da cultura da soja, pode-se notar que o equipamento aqui desenvolvido foi capaz de gerar uma economia superior em relação ao da dissertação.

Se aplicarmos a redução percentual ao valor atual de um insumo amplamente utilizado em lavouras cafeeiras, o “*Ethrel 720*”, um maturador de frutos que auxilia na homogeneização da lavoura para a colheita, verifica-se que, 500 ml deste produto no mercado custa em média U\$S 48,99 e, utiliza-se em média cerca de 800 ml/ha. Portanto, em apenas uma aplicação, com a redução de 22% no uso deste insumo, produtor alcança economia de U\$S 34,49 por tanque aplicado, considerando um tanque de 2000 litros com volume de 500l/ha.

Realizando um levantamento complementar, supondo a economia de Ethrel em toda propriedade, seriam necessários dez tanques de aplicação, a um custo total de U\$S 1.567,68, com o custo de aquisição do sistema de racionalização sendo de U\$S 51,05 (tabela 3), podemos então realizar o cálculo do *payback* (tempo de retorno do investimento). Comparativamente, utilizando como base a dissertação de Terra (2020), o mesmo partindo da disposição de reduzir o custo de aquisição de tecnologias voltadas para a aplicação de defensivos, desenvolveu em seu trabalho um sistema de automação para pulverizadores de barra, tendo um custo de produção de seu prototipo de U\$S 337,75, mostrando mais uma vez as vantagens econômicas do sistema que foi desenvolvido durante o trabalho aqui descrito.

Tabela 3: Valores coletados em campo do volume gasto em testes.

Componente	Quantidade (unidades)	Preço (US\$)
Arduino Uno	1	13,50
HC-SR04	1	3,75
Módulo Relé	1	12,43
Válvula Solenoide	1	21,37

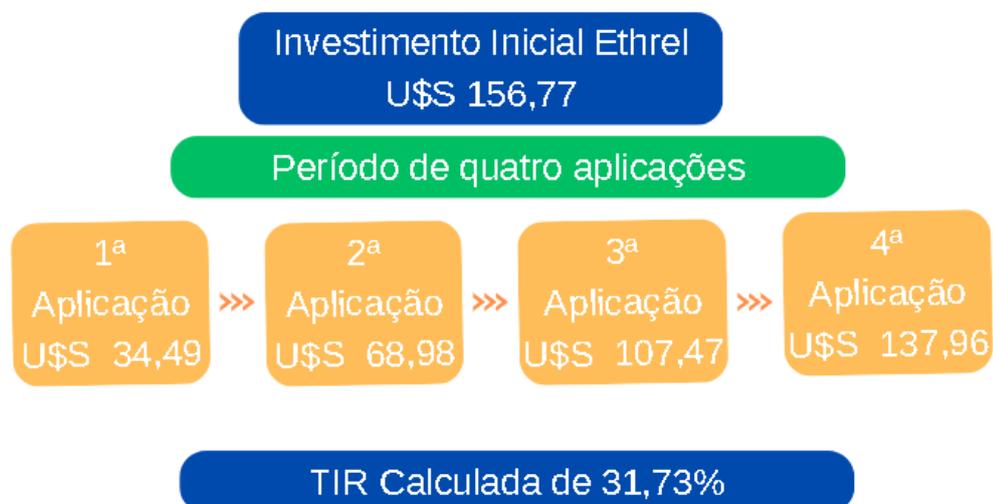
Fonte: Autor (2023).

Vemos assim, que o tempo para retorno do investimento aplicado na aquisição do sistema de racionalização desenvolvido durante o trabalho é menor do que um mês, isso indica que a construção do protótipo pode ser amortizada em apenas uma aplicação do produto comercial. Outros benefícios poderiam ser valorados para justificativa da tecnologia, como a menor contaminação ambiental em função da aplicação localizada de calda. Seguindo o mesmo raciocínio proposto por Machado (2016), o uso de tecnologias de menor preço, que atendam de forma satisfatória o propósito disposto, são um grande diferencial na agricultura moderna, mostrando que a necessidade de inovação é constante.

A análise financeira da taxa interna de retorno (TIR), baseada na atratividade de se realizar investimentos com base na economia de calda evidenciou que a aquisição de equipamentos para racionalização de calda, com base na economia do produto anteriormente descrito. Levando em consideração que o produtor aplica um tanque de calda fitossanitária ao custo de US\$ 156,77, com um retorno proporcionado pelo uso do sistema de US\$ 34,49 por aplicação feita, extrapolando para um período de quatro aplicações temos o valor da TIR.

Verifica-se que a TIR (figura 14), é representativa, já que seu valor é maior que a TMA (taxa mínima de atratividade), valor que diz respeito ao retorno mínimo que um investimento deve obter para a atividade realizada ser financeiramente interessante. Goes et al. (2018), estabeleceram em seu estudo, realizado na região da alta mogiana, que para a aplicação de insumos agrícolas no geral a TMA se estabeleceu em torno de 11,15%, evidenciando assim que a atratividade do sistema é válida, uma vez que a TIR obtida foi de 31,73%.

Figura 14. Organograma de valores utilizados para o cálculo da TIR.



Fonte: Autor(2023).

O custo de desenvolvimento do equipamento (Protótipo) foi comparado com outras soluções disponíveis no mercado levando-se em consideração os preços de mercado cotados no ano de 2023 comparando o preço total do sistema montado com equipamentos existentes no mercado.

Tabela 5: Valores coletados em campo do volume gasto em testes.

Equipamento	Função	Preço
Sistema Próprio	Identificar falhas na lavoura e racionalizar a aplicação	U\$S 51,05
Topcon – CM 40	Aplicação em taxa variável e controle de vazão	U\$S 7.142,86
Trimble - WeedSecker	Identificação de plantas	U\$S 3.061,23
Jacto – Condor 800 AM 18	Aplicação em taxa variável e controle de vazão	U\$S 10.204,08

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 3, evidenciou que os equipamentos disponíveis em escala comercial, possuem alto custo. Lembrando que alguns destes equipamentos são o conjunto formado

entre antena de GPS, monitor, módulo controlador, válvulas de comando entre outros. Tais resultados comparativos e de análise econômica permite inferir que o produto desenvolvido apresenta alta viabilidade comercial e custo inferior em no mínimo 1000% em relação às tecnologias disponíveis no mercado, ressaltando que está avaliado aqui apenas os valores dos componentes de mercado, deixando de lado demais custo como liberações, uso de sinal pago e demais custos relacionados à comercialização destas tecnologias.

O produto desenvolvido, dispensa também a utilização de sistemas GNSS, já que monitora a lavoura em tempo real e atua sobre o controle da barra de pulverização. Esse fator incrementa a economia e eficiência econômica do sistema desenvolvido.

5. Considerações Finais e sugestões para trabalhos futuros

Apesar do excelente desempenho que o sistema apresentou nos testes preliminares de bancada e testes de campo, é importante ressaltar que o sistema necessita de aprimoramentos. Existem percalços que precisam ser superados para que a tecnologia aqui desenvolvida torne-se mais robusta e eficiente.

Alguns pontos foram elencados para aprimoramentos futuros:

- durante os testes em campo, o equipamento apresentou algumas falhas, sendo elas: Ao transitar com o equipamento na lavoura, o mesmo apresentou desligamento, possivelmente causados pela trepidação do trator. Problema relacionado às conexões eletrônicas na plataforma de prototipagem, protoboard e sensores – Possível solução = Elaboração e impressão de uma placa impressa única com conectores robustos.
- As falhas do sistema encontradas durante o teste de campo podem mser superadas com a adoção de sistemas industriais robustos. Serão cotados os preços dos componentes industriais necessários para realizar o desenvolvimento de um produto mais resistente.
- O suporte utilizado para o sensor ultrassônico precisa ser aprimorado. Para futuras melhorias o desenvolvimento de um suporte ajustável, feito a partir de PLA (ácido poliláctico) será desenvolvido.

6 Conclusões

As plataformas eletrônicas disponíveis e os sensores de atuadores de baixo custo, permitiram o controle e redução do desperdício de produtos fitossanitários na lavoura cafeeira.

O sistema desenvolvido permite economia de até 22% na aplicação de caldas fitossanitárias e a análise econômica de payback e Taxa Interna de Retorno (TIR), indicaram viabilidade de investimento para construção e aplicação do sistema.

O custo de desenvolvimento da tecnologia foi de até 1000% menor do que as tecnologias comerciais disponíveis e otimizou adequadamente a aplicação de produtos fitossanitários na cafeicultura.

O sistema desenvolvido apresenta aplicação promissora na cafeicultura, incorrendo em redução de custos aos produtores, aumento da eficiência produtiva e redução do impacto ambiental na agricultura.

7 Referências

ANDEF – Associação Nacional de defesa vegetal . **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. 1ª edição, Campinas: Linea Creativa, 2004. 50 p.

AZEVEDO, F.R; FREIRE, F.C.O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza - CE, 2006. 98p.

CARVALHO R; PERES F. **Neoliberalismo, el Uso de Pesticidas y la Crisis de Soberanía Alimentaria en el Brasil**. In: Breilh J, organizador. Informe Alternativo Sobre La Salud en America Latina. Quito: CEAS; 2005. p. 223-224.

CHAVIER, L.F. **Programação para Arduino - Primeiros Passos**. professor.luzerna.ifc.edu.br, 2017.

CONTIERO, R.L.; BIFFE, D.F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. In: BRANDÃO, F.; J.U.T.,FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0.

DAHER, E. **Brasil faz pouco uso dessa tecnologia**. *AgroANALYSIS*, v. 31, n. 08, p. 43-43, 2011.

DUARTE, G.A. **Modelagem dinâmica híbrida aplicada a pulverizadores agrícolas em barras com tecnologia de aplicação liga/desliga**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande-RS, Dissertação de Mestrado, 2021.

GOES, T.B.; CHINELATO, G.A. **Viabilidade econômico-financeira da cultura do café arábica na região da Alta Mogiana**. *Revista IPecege*, v. 4, n. 4, p. 31-39, 2018.

GONSALVES, P. E. **Maus hábitos alimentares**. São Paulo:Agora, 2001.

KERSCHBAUMER, R. **Microcontroladores**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Luzerna, SC, 2016.

LIMA, J.P. **Uso das técnicas da agricultura de precisão em pequenas propriedades rurais**. 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, 2023.

MACHADO, R.V.O. **Sistema de aquisição de dados utilizando microcontrolador Arduino para a tecnologia de aplicação de agroquímicos**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2016.

MELO, T. L.; RAETANO, C. G.; NERY, M. S.; CARDOSO, A. D.; MOREIRA, A. A.; LEITE, S. A.; CASTELLANI, M. A. (2019). **Management of coffee leaf miner: Spray volume, efficacy of cartap hydrochloride and impact on parasitism**.

MESQUITA, C.M. et al. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72 p. il.

MIRANDA, E.E. **Mercado de defensivos agrícolas no Brasil**. Terra Viva.
Mistro J.C. **A Cultura do café**. Instituto Agrônômico (IAC/APTA), São Paulo, SP, 2012.

NETO, J.G. **TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA CAFEICULTURA**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2015.

OLIVEIRA, C. M. et al. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 1-2, p. 1-15, 2013.

PRADO, E.V. **UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA E APLICAÇÃO À TAXA VARIÁVEL DE INSUMOS NA AGRICULTURA**. Revista Gestão em Foco – Edição, nº 15, 2023.

RIES, E. **A startup enxuta: como os empreendedores atuais utilizam a inovação contínua para criar empresas extremamente bem-sucedidas** / Eric Ries; [tradução Texto Editores]. – São Paulo : Lua de Papel, 2012.

RODRIGUES, A.A.F.; ALMEIDA, G.R.R.; DUARTE, T.R. **Tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas na cultura do cafeeiro**. Revista Agroveterinária do Sul de Minas-ISSN: 2674-9661, v. 1, n. 1, p. 77-90, 2019.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de Produtos**. Uma referência para melhoria do processo. São Paulo. Ed. Saraiva, 2015. 542p.

SANTOS, J. M. F. **Aspectos críticos na aplicação de defensivos agrícolas**. In: Anais...XIII Reunião Itinerantes de Fitossanidade do Instituto Biológico. p.108 -128, 2005.

SCHMIDT, M. A. H. **Deposição da calda de pulverização na cultura da soja em função do tipo de ponta e do volume aplicado**. 2006. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2006.

SILVA, F.M.; ALVES, M.C. **Cafeicultura de Precisão**. Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras - MG, 2013.

TERRA, F.P. **Desenvolvimento de um Prototipo de Baixo Custo para Automação de Pulverizadores Agrícolas**. Universidade Federal do Rio Grande-RS, Rio Grande, Dissertação de Mestrado, 2020.

WENDING, M. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá - SP, 2010.