

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

VÍTOR ANTÔNIO MORGAN

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO NO PLANTIO DE
CULTURAS AGRÍCOLAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2022**

VÍTOR ANTÔNIO MORGAN

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO NO PLANTIO DE
CULTURAS AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientador: Prof. Cássio Luciano Baratieri

ERECHIM - RS

2022

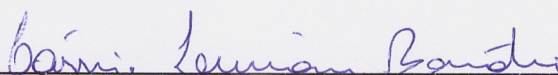
VÍTOR ANTÔNIO MORGAN

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO NO PLANTIO DE
CULTURAS AGRÍCOLAS**

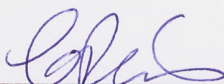
**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como requi-
sito parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica, Departamento de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.**

Erechim, 13 de dezembro de 2022.

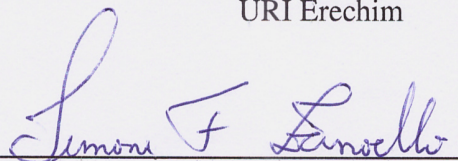
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Orientador)
URI Erechim



Prof.^a Ma. Camila Sampaio dos Reis (Examinadora)
URI Erechim



Prof.^a Dra. Simone Fátima Zanoello (Examinadora)
URI Erechim

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus por ter me permitido poder viver esse momento e ter me dado forças nas horas difíceis. Por ter mostrado a resposta quando o problema parecia não ter solução. À minha família, que sempre me incentivou a estudar, em especial à minha mãe Rosângela, por todo apoio, incentivo e atenção durante minha caminhada acadêmica. Agradeço também a meu pai Jairo, pelas sugestões e auxílio na implementação do estudo na sementeira. Ao Professor Dr. Cássio Luciano Baratieri por ter aceitado me orientar e ter me auxiliando no desenvolvimento deste estudo. Aos professores da banca, Professora Dra. Simone Zanoello e Professora Ma. Camila Reis pela disponibilidade e contribuições. Por fim, agradeço também toda comunidade acadêmica da URI-Erechim, professores, laboratoristas e colegas de curso por todo conhecimento compartilhado, por todo apoio e incentivo durante este estudo e no decorrer de toda a graduação.

*A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.*

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

Este trabalho propõe o estudo e projeto uma plataforma para monitoramento do fluxo de sementes e de adubo em uma semeadora de grãos. Tendo em vista a grande variedade de culturas cultivadas no Brasil, bem como o expressivo volume produzido anualmente, é importante desenvolver tecnologias voltadas para o ramo agrícola, buscado a expansão e otimização da produção. O embasamento e contextualização foram realizados a partir das informações dos sensores disponíveis no mercado para atender essa demanda. O estudo visa desenvolver um sistema que possibilite ao operador do trator visualizar se as sementes e o adubo estão se deslocando nos condutos em direção ao solo em tempo real durante o plantio com a semeadora. Com base na bibliografia e nos testes em bancada utilizou-se o princípio óptico para sensoriamento tanto de adubo, como de sementes. Foi confeccionado um módulo processador de sinais proveniente dos sensores utilizando o microcontrolador ATmega2560. A esse microcontrolador foi vinculado um sensor indutivo com o intuito de calcular a velocidade da semeadora com base no giro completo do pneu da mesma. Os dados são enviados através de comunicação bluetooth para um ESP32 utilizando um módulo HC-06. A placa ESP32, citada anteriormente é parte integrante de uma interface homem-máquina (IHM), instalada no trator. Nela é possível a visualização dos parâmetros de operação pelo operador do trator. Os testes em campo atestaram a funcionalidade da conexão bluetooth permitindo que não seja necessário utilizar fios entre a semeadora e o trator. Foi possível constatar que o cálculo de velocidade com base no sinal do sensor indutivo é eficiente. Quanto aos sensores de semente e adubo, estes não contabilizaram todas as sementes e todo o adubo que passaram pelos dutos. Isso leva a uma reavaliação da parte física dos sensores e da parte de *software* do módulo processador de sinais. Todavia, foi possível visualizar a funcionalidade do princípio óptico para sensoriamento. Por fim, constatou-se que é possível desenvolver um sistema mais acessível comparado aos já existentes no mercado, permitindo que essas tecnologias estejam mais próximas do agricultor de pequeno porte.

Palavras-chave: Monitoramento. Semeadora. Semente. Adubo.

ABSTRACT

This work proposes the study and design of a platform for monitoring the flow of seeds and fertilizer in a grain seeder. Considering the great variety of crops grown in Brazil, as well as the significant volume produced annually, it is important to develop technologies for the agricultural branch, seeking the expansion and optimization of production. The background and contextualization were performed based on information from sensors available in the market to meet this demand. The study aims to develop a system that allows the tractor operator to visualize whether the seeds and fertilizer are moving in the conduits towards the soil in real time during planting with the seeder. Based on the literature and on bench tests, the optical principle was used for sensing both the fertilizer and the seeds. A module was built to process the signals from the sensors using the ATmega2560 microcontroller. An inductive sensor was attached to this microcontroller in order to calculate the speed of the seeding machine based on the complete rotation of its tire. The data is sent via bluetooth communication to an ESP32 using an HC-06 module. The ESP32 board, mentioned above, is part of a human-machine interface (HMI), installed in the tractor. It allows the tractor operator to visualize the operation parameters. The field tests confirmed the functionality of the bluetooth connection, making it unnecessary to use wires between the seeding machine and the tractor. It was possible to verify that the speed calculation based on the inductive sensor signal is efficient. As for the seed and fertilizer sensors, these did not account for all the seeds and fertilizer that passed through the ducts. This leads to a re-evaluation of the physical part of the sensors and the *software* part of the signal processor module. However, it was possible to visualize the functionality of the optical principle for sensing. Finally, it was found that it is possible to develop a more accessible system compared to those already on the market, allowing these technologies to be closer to the small farmer.

Keywords: Monitoring. Seeder. Seed. Fertilizer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Trator do século XVII e atual	14
Figura 2 – Semeadora, plantadora e transplantadora.....	15
Figura 3 – Semeadora de Cook e mecanismo dosador de sementes de Garret	15
Figura 4 – Funções cumpridas pelas máquinas de semeadura.....	17
Figura 5 – Caixa de sementes e adubo em uma semeadora.....	17
Figura 6 – Componentes de uma linha de plantio.....	18
Figura 7 – Dosador de sementes montado e em vista explodida.....	18
Figura 8 – Placa ESP32 e microcontrolador ATmega2560.....	19
Figura 9 – Display LCD 20×4 I2C.....	20
Figura 10 – Módulo Bluetooth HC-06.....	21
Figura 11 – Bateria Lipo 1300mAh 7.4V.....	21
Figura 12 – Sensor Indutivo.....	22
Figura 13 – Sensores ópticos da PrecisionTec e SafraMax.....	22
Figura 14 – Instalando um sensor óptico em uma semeadora.....	23
Figura 15 – Sensor capacitivo WaveVision.....	24
Figura 16 – Monitores de plantio	25
Figura 17 – Monitor Gen 4 com aplicação Seedstar 2.....	26
Figura 18 – IMASA MPS 1000.....	28
Figura 19 – Circuito óptico em <i>protoboard</i>	29
Figura 20 – Peça de sensoriamento óptico com placas de fenolite ilhadas.....	30
Figura 21 – Projeto do sensor de semente	30
Figura 22 – Projeto do sensor de adubo.....	31
Figura 23 – Partes dos sensores de semente e adubo.....	31
Figura 24 – Sementes com grafite.....	32
Figura 25 – IDE Arduino.....	33
Figura 26 – Placa do módulo de processamento de sinais e placa da interface IHM.....	33
Figura 27 – Vista das placa do módulo de processamento de sinais e da interface IHM finalizadas.....	34
Figura 28 – Ponto onde foi instalado o módulo processador de sinais.....	34
Figura 29 – Sensores instalados.....	35
Figura 30 – Ponto de instalação da interface IHM.....	36
Figura 31 – Semente cortando o feixe luminoso.....	37
Figura 32 – Circuito utilizando 1 diodo emissor e 2 fototransistores.....	38
Figura 33 – Testes com fluxo de adubo.....	38
Figura 34 – Tabela de distribuição de semente IMASA MPS 1000.....	39
Figura 35 – Testes com fluxo de adubo.....	40
Figura 36 – Sinal de saída do sensor com diodo e fototransistor 3mm.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo com materiais para confecção de um sensor.....	42
Tabela 2 – Custo com materiais para confecção do módulo processador de sinais.....	43
Tabela 3 – Custo com materiais para confecção da interface IHM.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Evolução agrícola e mecanização	13
2.2 Máquinas agrícolas de plantio	14
2.2.1 História das máquinas de plantio	14
2.2.2 Princípio de funcionamento de uma semeadora de grãos	16
2.3 Sistemas embarcados	18
2.3.1 Microcontroladores	18
2.3.2 Display LCD 20×4 I2C	19
2.3.3 Módulo Bluetooth HC-06	20
2.3.4 Bateria Lipo	20
2.3.5 Sensor Indutivo	21
2.4 Sistemas embarcados aplicados às semeadoras	21
2.4.1 Sensores de contagem	22
2.4.2 Sensores de adubo	23
2.4.3 Interface de monitoramento	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Definição da cultura	27
3.2 Definição da semeadora	28
3.3 Sensores e tecnologias	28
3.3.1 Sensor de princípio óptico	28
3.3.2 Plataforma de projeto dos sensores	31
3.4 Programação do sistema microcontrolado	32
3.5 Confeção das placas de circuito	32
3.6 Instalação na semeadora	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Desempenho do sensores em bancada	37
4.2 Desempenho dos sensores em campo	39
4.3 Análises em laboratório pós teste em campo	40
4.4 Melhorias e aprimoramentos	41
4.5 Considerações finais	42

5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O Brasil produz diversas culturas de grãos e isso favorece o desenvolvimento de várias cadeias produtivas, como a da proteína animal e de biocombustíveis. Na safra 2020/2021 foram plantados 67,74 milhões de hectares, refletindo em um potencial de produção de 276,32 milhões de toneladas. Os números vem crescendo ano após ano, sendo visível nos dados o aumento da produtividade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2022).

O aumento da utilização da tecnologia, bem como a implantação de conceitos da agricultura de precisão, tem proporcionado uma nova maneira de gerir a propriedade. Isso se reflete na posse de informações mais precisas através do monitoramento de dados. Com o aumento da demanda do mercado por grãos é necessária uma boa eficiência nas lavouras (VELOSO, 2018).

Segundo Mantovani e Gomide (2000 apud VELOSO, 2018) todos os centros de pesquisa das áreas de engenharia agrícola e agricultura tem trabalhado com desenvolvimento de técnicas de agricultura de precisão. Paralelamente a isso, as empresas fabricantes de maquinário agrícola para colheita, aplicação de insumos e defensivos, bem como semeadura também obtiveram consideráveis avanços nessa questão.

A semeadura e adubação é uma atividade desempenhada por semeadoras. Elas são máquinas de precisão que distribuem sementes com uma regularidade ajustada pelo agricultor. Estas máquinas, em alguns casos, são equipadas com um sistema supervisor, cujo elemento principal são sensores de monitoramento. Esses sensores são responsáveis por verificar o fluxo de sementes e de adubo em direção ao solo (KREUZ, 2018).

Todavia o custo desses sistemas é relativamente elevado, sendo algo distante para alguns produtores de pequeno porte. Assim, baseado nos estudos de Veloso (2018) e Kreuz (2018) visualiza-se uma oportunidade de mercado tornar essa tecnologia mais acessível e mais presente para esses agricultores.

Diante desta oportunidade de desenvolvimento, este trabalho propõe o estudo e o projeto de um sistema de monitoramento de plantio. Ele terá como função identificar falhas na distribuição de sementes e de adubo em uma semeadora. Falhas causadas por algum problema mecânico na semeadora ou condição externa que impossibilite que a semente e o adubo sejam inseridos no solo para que então tenham condição de desenvolvimento.

1.1 Objetivos

Para atender essa demanda tecnológica este estudo possui como objetivo geral desenvolver um sistema supervisorio para monitoramento do plantio de culturas agrícolas.

No sentido de atender ao objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Definir um modelo de semeadora e de cultura para aplicar o estudo.
- Investigar equipamentos ou soluções existentes no mercado no que se refere ao monitoramento do plantio (contagem de sementes e no monitoramento de adubo).
- Projetar um sensor supervisorio para sementes e para adubo.
- Projetar um sistema embarcado microcontrolado para leitura e processamento dos sinais gerados pelos sensores.
- Implementar uma interface homem máquina para visualização dos parâmetros de operação do sistema.
- Instalar o sistema na semeadora selecionada.
- Avaliar o desempenho do sistema em funcionamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre as máquinas de plantio, com um enfoque na semeadora. Serão também apresentadas algumas tecnologias de sensoriamento de sementes e adubo.

2.1 Evolução agrícola e mecanização

O arado, ferramenta utilizada para revolver o solo, para afotá-lo, é considerado o início da mecanização junto a evolução agrícola. Segundo vestígios e gravuras da civilização do antigo Egito, por volta de 6000 A.C. Nessa época o equipamento era confeccionado de madeira e era movido por força humana. Isso evidencia que a evolução agrícola foi lenta inicialmente, onde as ferramentas eram feitas de pedras ou de madeira (SILVA, 2014).

Segundo Silva (2014) gradualmente com o passar do tempo, a tração humana foi sendo substituída pela tração animal. Isso incentivou o interesse na criação de animais, que poderiam auxiliar nas tarefas agrícolas. Por volta de 300 A.C. na região da Mesopotâmia há registros da utilização da tração animal como força motriz. E essa foi a forma de propulsão de equipamentos até a metade do século XIX, onde foram inventados os motores de combustão interna.

A necessidade de aumentar a produção forçou uma melhora das ferramentas agrícolas, no sentido de desempenho e durabilidade. A produção deixa de ser de subsistência e iniciam-se as trocas comerciais. A melhora da estrutura de transportes e de comunicação da época, permite a troca de materiais e conhecimento, impulsionando a produção de máquinas agrícolas.

Mais tarde, em 1834, nos Estados Unidos foi registrada a patente para colher culturas, também a tração animal. Isso proporcionou uma melhora significativa nos métodos de colheita, pois separar os grãos ou cereais do restante da planta era uma atividade exaustiva e com perdas que puderam ser minimizadas com essa mecanização. Paralelamente a isso começaram a surgir semeadoras, distribuidores de fertilizantes, ceifadoras e debulhadoras (SILVA, 2014).

Nos dizeres de Silva (2014), inicialmente os primeiros motores eram a vapor. Na sequência, em 1866 ocorre a invenção do motor de combustão interna de ciclo Otto, movido a gasolina, e em 1892, é desenvolvido o motor de combustão interna ciclo Diesel. Isso permitiu o desenvolvimento dos tratores. Como os animais, inicialmente eles tinham a simples função de tracionar equipamentos. Nessa fase, suas rodas ainda eram de ferro (figura 1 - I), bem diferente de uma máquina atual conforme (figura 1 - II).

Figura 1 – Trator do século XVII e atual



(I)



(II)

Fonte: (I) (SILVA, 2014), (II) (JOHN DEERE, 2010)

2.2 Máquinas agrícolas de plantio

A ideia de introduzir sementes no solo utilizando máquinas ocorre desde a antiguidade. Os primeiros registros da utilização de máquinas nessa atividade estão associados aos povos chineses e pelos povos assírios (1300 antes de Cristo a 612 antes de Cristo). Os povos persas e hindus também possuíam seus equipamentos de plantio. Contudo, na Europa o plantio era efetuado lançando sementes manualmente até o final do século XVII, sendo o único método desenvolvido até então (MIALHE, 2012).

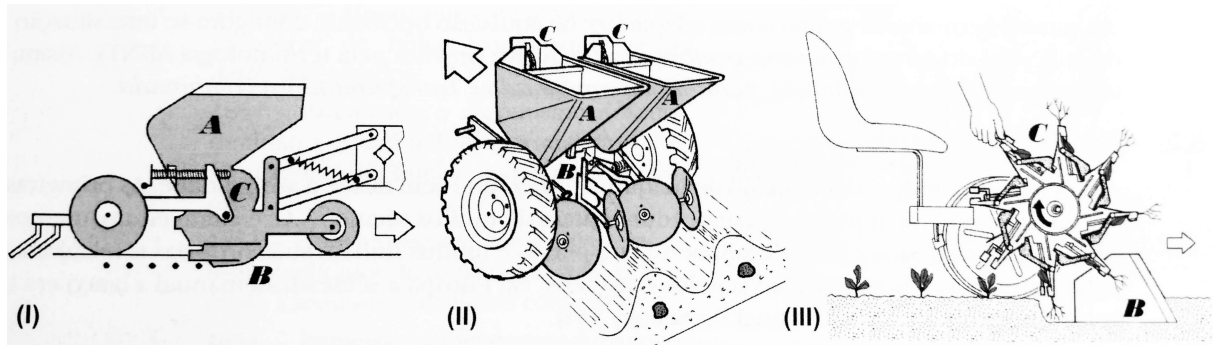
Conforme Mialhe (2012), as máquinas utilizadas no plantio podem ser classificadas de acordo com o elemento que se pretende inserir no solo, sendo assim denominadas:

- Semeadoras. São máquinas de plantio de sementes, desenvolvendo a operação de semeadura (figura 2 - I);
- Plantadoras. São máquinas de plantio órgãos de reprodução de vegetais (tais como raízes e tubérculos por exemplo). Máquinas que desenvolvem a operação de plantio propriamente dito (figura 2 - II);
- Transplantadoras. São máquinas de plantio de mudas, desenvolvendo a operação de transplante (figura 2 - III).

2.2.1 História das máquinas de plantio

Para Portella (1997) apesar de sua notória utilidade, o desenvolvimento das semeadoras ocorreu de forma lenta. Na época, utilizar as primeiras máquinas não representava economia de

Figura 2 – Semeadora, plantadora e transplantadora



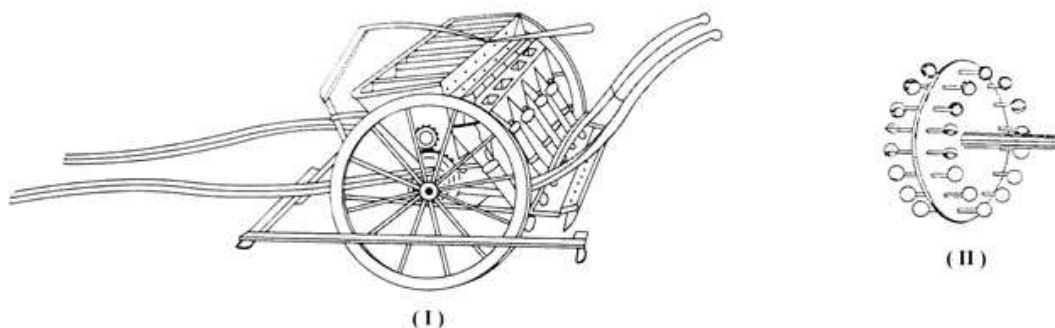
Fonte: (MIALHE, 2012)

mão de obra, pois era utilizada tanta mão-de-obra como na semeadura manual. A semeadura com essas máquinas começou a ser vista como vantajosa a partir da economia de semente e da regularidade de distribuição dos grãos.

Segundo Bernacki et al (1972 apud PORTELA, 1997, p. 7), a primeira máquina para plantio europeia foi construída por Joseph Locatelli, de Corinto, em 1636. A referida invenção denominada "semeadore" era um equipamento que possuía um depósito cilíndrico feito de madeira que continha um eixo rotativo com conchas, que por sua vez jogavam as sementes em tubos que conduziam a semente até perto do solo.

Conforme Mialhe (2012), anos depois, o inglês Jehyto Tull aprimorou a máquina utilizando elementos para conduzir e introduzir a semente no solo. Outras personalidades que contribuíram para as primeiras evoluções desses equipamentos na Europa até meados do século XIX são James Cook na Inglaterra, Ducket na Alemanha, Alban na Áustria e Garret também na Inglaterra (figura 3).

Figura 3 – Semeadora de Cook e mecanismo dosador de sementes de Garret



Fonte: (MIALHE, 2012)

Para Balastreire (1987 apud PORTELA, 1997, p. 8), somente em 1840 surgiu a primeira fábrica de semeadoras, localizada no estado da Pennsylvania (Estados Unidos da América). No

ano de 1879, 39 anos depois, 53 por cento da semeadura da cultura do trigo desse país era realizada com semeadoras.

Segundo Portella (1997), a partir de então, a finalidade da maioria das semeadoras, tanto as de grãos miúdos (como por exemplo, trigo, cevada, arroz, aveia), como as de grãos graúdos (soja, milho, feijão, entre outros), é semear em fluxo contínuo de sementes ou em grão a grão (semeadura de precisão). Esse ato de semear é efetuado em linhas de semeadura com espaçamentos ajustados na semeadora.

2.2.2 Princípio de funcionamento de uma semeadora de grãos

Para Portella (1997) apesar das variadas opções de máquinas no mercado, a grande maioria tem a tecnologia baseada nas seguintes etapas:

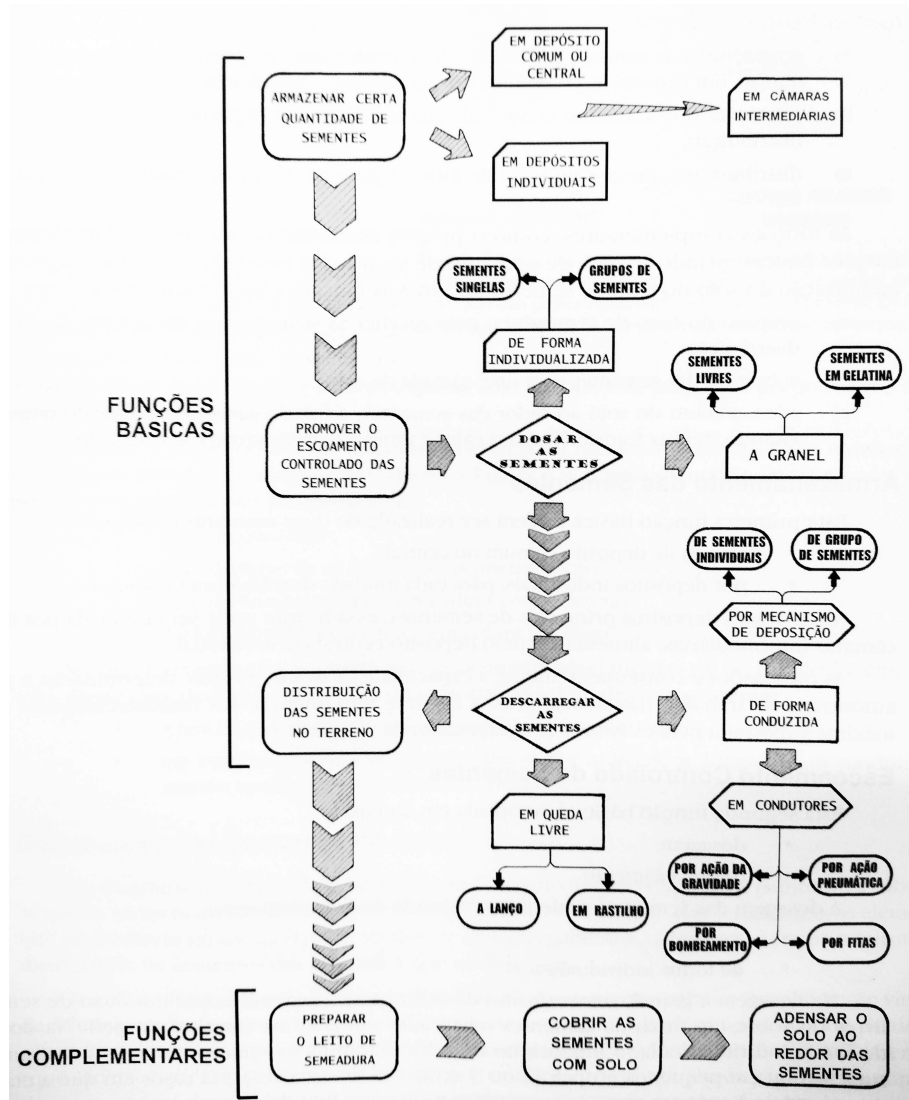
- Realizar a abertura de sulco em solo;
- Dosar de forma apropriada as sementes;
- Inserir sementes no solo em espaçamento uniforme e profundidade adequada;
- Cobrir as sementes com solo;
- Promover uma certa compactação do solo sobre a semente, de forma a facilitar a absorção de umidade pela semente.

Segundo Mialhe (2012), as máquinas para semeadura deverão possuir as funções mostradas no fluxograma ilustrado na figura 4.

Em particular, a semeadora MPS 1000, fabricada pela IMASA tem a capacidade de armazenar uma certa quantidade de sementes em um depósito central (figura 5 - I), onde é possível individualizá-lo internamente. Ela dosa as sementes de forma individualizada, que pela classificação de Mialhe (2012), trata-se de um dosador alveolar rotativo (figura 7) e descarrega as sementes de forma conduzida em condutores (figura 6 - V) por ação da gravidade até as sementes chegam ao solo (IMASA , 2015).

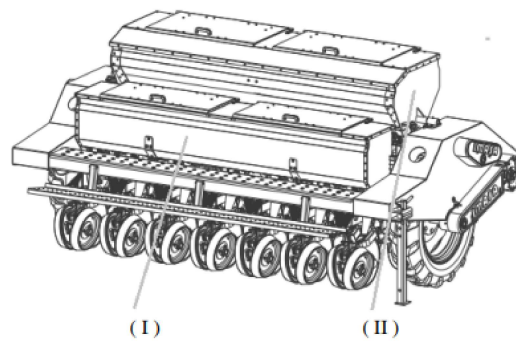
Segundo IMASA (2015) ela também possui funções complementares como a possibilidade de preparar o leito de semeadura cortando a palhada da lavoura anterior através do disco de corte (figura 6 - I). Após inserção da semente em solo pelo disco desencontrado (figura 6 - III) a MPS 1000 pode cobrir as sementes, adensar a o solo ao redor das sementes e controlar a profundidade de deposição da semente através dos reguladores de profundidade (figura 6 - IV).

Figura 4 – Funções cumpridas pelas máquinas de semeadura



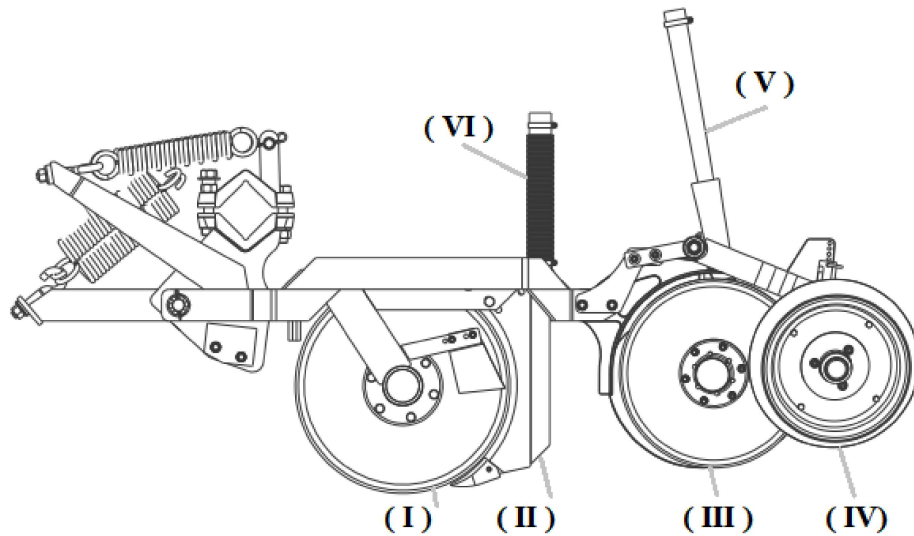
Fonte: Mialhe (2012)

Figura 5 – Caixa de sementes e adubo em uma semeadora



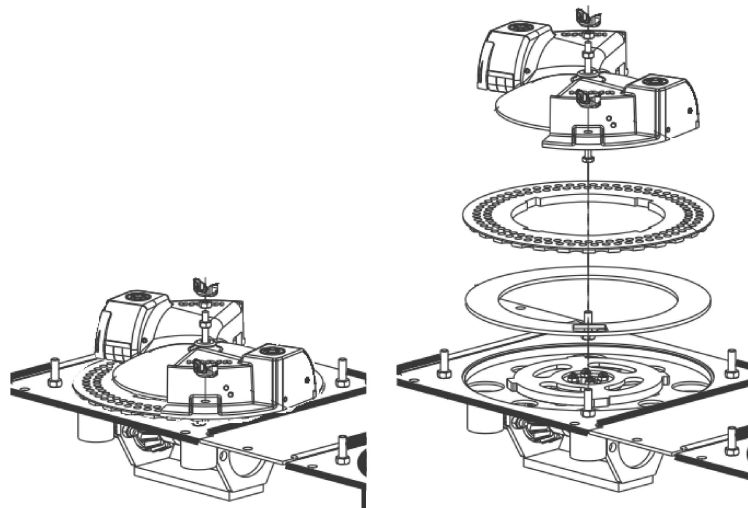
Fonte: Adaptado de IMASA (2015)

Figura 6 – Componentes de uma linha de plantio



Fonte: Adaptado de IMASA (2015)

Figura 7 – Dosador de sementes montado e em vista explodida



Fonte: Adaptado de IMASA (2015)

2.3 Sistemas embarcados

Para Lamb (2014) sistemas embarcados são sistemas de computação que possuem a tarefa de realizar funções específicas. Eles são dispositivos com hardware e partes mecânicas físicas.

2.3.1 Microcontroladores

Em sistemas embarcados utilizados na área agrícola é comum a utilização de microcontroladores devido a sua versatilidade e desempenho. Dessa forma para atender a essa demanda

podem ser utilizados diversos tipos de microcontroladores, como por exemplo, das famílias ATmega, PIC e ESP32.

Curto Circuito (2022) afirma que a placa ESP32 é uma placa com microcontrolador integrado fabricada pela empresa Espressif Systems e que possui certificação Anatel. Os recursos disponíveis nessa placa são conectividade Wifi e Bluetooth, dois núcleos de processamento de dados, com frequência de *clock* ajustável de 80×10^6 à 240×10^6 Hz. A placa conta ainda conversor analógico digital, sensor capacitivo, sensor integrado de temperatura e sensor integrado de efeito hall. Ela possui ainda um regulador de tensão integrado na placa possibilitando que seja alimentada com uma tensão de 4,5 a 12 V e tem um custo aproximado de R\$ 50,00 (figura 8 - I).

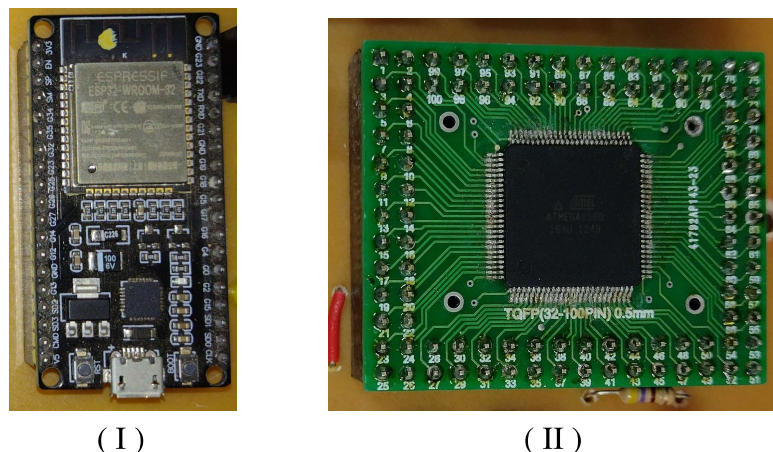
Segundo Atmel (2014), o microcontrolador ATmega 2560 é dispositivo de alta performance com baixo custo. Ele possui 2 *timers* ou contadores de 8 bits e 4 *timers* de 16 bits, 16 entradas analógicas e conversor analógico digital integrado, como também 54 pinos configuráveis como entrada ou saída digital. Dentre esses 54 pinos, 10 deles podem ser configurados como PWM (*Pulse Width Modulation*, ou em tradução livre "Modulação por Largura de Pulso"). Alguns pinos desse microcontrolador também podem ser utilizados para interrupções externas. É possível usar a frequência de *clock* interna do microcontrolador ou ainda utilizar um cristal oscilador externo de até 16×10^6 . Esse dispositivo é um chip de 100 pinos que trabalha em uma tensão de alimentação de 4,5 a 5,5V e tem um custo aproximado de R\$ 100,00 (figura 8 - II).

2.3.2 Display LCD 20x4 I2C

O Display LCD 20x4, é um dispositivo que possibilita a exibição de 20 caracteres em cada uma de suas 4 linhas em cor de escrita branca e com uma luz de fundo azul (figura 9).

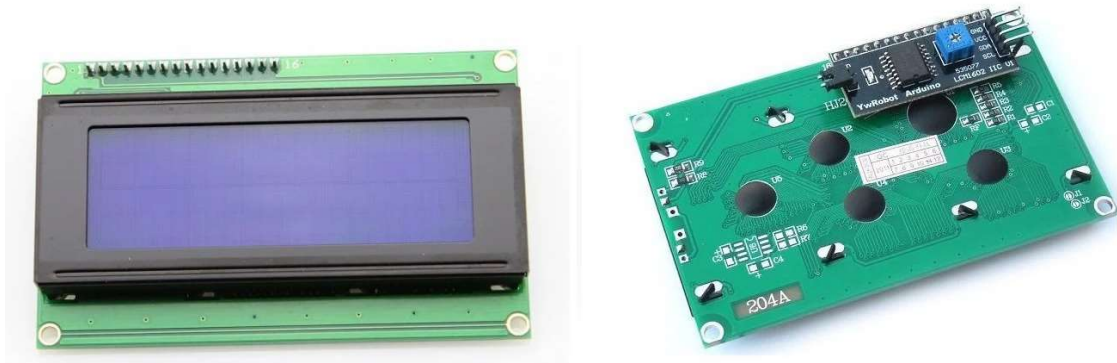
Uma característica interessante desse display para projetos é o fato de ele utiliza apenas

Figura 8 – Placa ESP32 e microcontrolador ATmega2560



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 9 – Display LCD 20x4 I2C



Fonte: (ELETROGATE, 2022)

2 terminais do microcontrolador comunicação. Além desses terminais de comunicação são necessários outros 2 terminais para alimentação do dispositivo. Assim, por utilizar apenas 4 terminais, e por ter um custo aproximado de R\$ 80,00, ele se torna bem atrativo em comparação com outros dispositivos que utilizam várias portas. Isso é possível pois existe uma placa na parte de trás do display. Trata-se de um módulo adaptador I2C que possibilita essa comunicação de dados através de dois terminais (USINAINFO, 2022).

2.3.3 Módulo Bluetooth HC-06

Segundo Eletrogate (2010), a tecnologia de transmissão de dados Bluetooth é caracterizada por um protocolo de comunicação de rádio. Ela é classificada como Personal Area Network (PAN) e foi desenvolvida no ano de 1996 com o objetivo de se obter uma forma de comunicação sem fio alternativa ao protocolo RS-232.

O módulo HC-06 é um dispositivo Bluetooth que trabalha somente em modo escravo (figura 10), ou seja, ele não tem a capacidade de buscar outros dispositivos para estabelecer uma comunicação, ele apenas recebe a solicitação para se comunicar de outro dispositivo e então realiza o envio de dados (ELETROGATE, 2010). Esse módulo possui um custo médio de R\$ 25,00.

2.3.4 Bateria Lipo

Segundo DronEng (2022), uma bateria possui a capacidade de transformar energia química em energia elétrica, e durante o seu carregamento, ela converte energia elétrica em energia química. As baterias Lipo costumam ser utilizadas em Veículos Aéreos Não Tripulados

Figura 10 – Módulo Bluetooth HC-06



Fonte: (ELETROGATE, 2010)

Figura 11 – Bateria Lipo 1300mAh 7.4V



Fonte: Elaborada pelo autor

- VANT, proporcionando boa autonomia, além de uma grande vida útil.

A bateria da figura 11 possui uma tensão nominal de 7,4V, com capacidade de fornecer uma intensidade de corrente de até 1,3 Ampères por hora (1300mAh). O custo de uma bateria desse tipo gira em torno de R\$ 200,00.

2.3.5 Sensor Indutivo

Nos dizeres de Lamb (2014), sensores de proximidade tem a função de detectar a presença de algum objeto. Dentre esses sensores, existem os sensores indutivos que se sensibilizam quando um pedaço de metal se aproxima dele. O sensor é constituído de uma bobina que gera um campo magnético. Quando um metal se aproxima, ocorre uma interferência nesse campo magnético. Essa variação é detectada por um circuito interno que aciona a saída do sensor.

2.4 Sistemas embarcados aplicados às semeadoras

Existem atualmente no mercado diversos sistemas de monitoramento de plantio. Esses equipamentos auxiliam o agricultor na semeadura, contribuindo no que se refere a assegurar

Figura 12 – Sensor Indutivo



Fonte: Elaborada pelo autor

um plantio uniforme e sem falhas. Assim, esse todo leva à uma maior probabilidade de uma produção maximizada.

2.4.1 Sensores de contagem

As tecnologias de contagem presentes no mercado atual podem ser diferenciadas entre si pela tecnologia utilizada para contagem ou identificação das sementes. De forma geral, foram encontrados sensores baseados no princípio óptico e capacitivo.

O princípio óptico está muito presente nesse mercado de sementes. Sensores da fabricante PrecisionTec (2022) (figura 13 - I) e da fabricante Saframax, comercializado pela Atualize (2022) (figura 13 - II) são exemplos que utilizam essa tecnologia. Em junho de 2022 esse sensores com princípio óptico de funcionamento possuíam um custo de aquisição na faixa de R\$ 200,00 a R\$ 300,00 por sensor. Lembrando que este item é individual para cada linha, sendo necessários 4 sensores a serem instalados na semeadora tratada neste estudo.

Figura 13 – Sensores ópticos da PrecisonTec e SafraMax



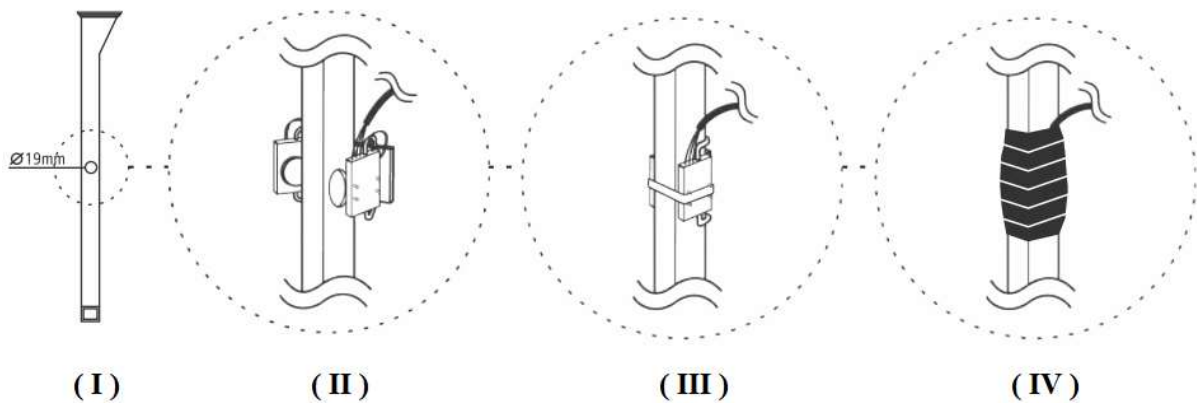
(I)

(II)

Fonte: (I) (PRECISIONTEC, 2022). (II) (ATUALIZE, 2022)

Na figura 14 vemos como eles são instalados em uma semeadora. Inicialmente são realizados dois furos em faces não adjacentes do condutor de sementes (figura 14 - I). Em um desses furos é posicionado o emissor de luz e no outro é posicionado o receptor (figura 14 - III), com o auxílio de cintas de *nylon*. Por fim, é recomendado envolver o sensor com fita isolante para assegurar que o sensor não irá se deslocar e aumentar a proteção dele com objetos estranhos, como na figura 14 - IV (PRO SOLUS, 2022).

Figura 14 – Instalando um sensor óptico em uma semeadora



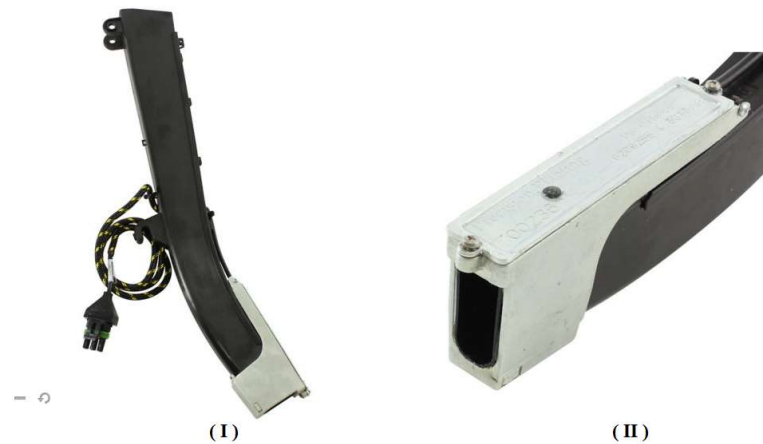
Fonte: Adaptado de (PRO SOLUS, 2022)

O princípio capacitivo também é utilizado na detecção de sementes. A empresa norte-americana Precision Planting oferta no mercado o sensor WaveVision. Um sensor não invasivo, captando a passagem de sementes pela parte externa do condutor (figura 15 - I). Não é necessário furar o condutor de sementes para inserir o sensor, ele é encaixado ao condutor, envolvendo-o. Além disso, ele é posicionado na ponta do condutor, verificando a presença da semente instantes antes de ela entrar em contato com o solo (figura 15 - II) (PRECISION PLANTING, 2022). Em 12 de junho de 2022, um sensor modelo WaveVision estava cotado a US\$ 150,00, ou com base no câmbio da referida data R\$ 747,88 (SHOUP MANUFACTURING, 2022). Considerando que a semeadora em estudo necessitaria de quatro desses sensores, o custo total com sensores equivale a R\$ 2 991,52.

2.4.2 Sensores de adubo

A tecnologia óptica também pode ser usada para monitoramento de adubo, conforme sugere Pro Solus (2022). O mesmo sensor utilizado no sensoriamento de sementes é utilizado na detecção de passagem de adubo (figura 13 - II). Os sinais desses sensores são levados até um módulo conversor para adubo e deste parte um cabo levando sinais até a tela monitor de plantio

Figura 15 – Sensor capacitico WaveVision



Fonte: Adaptado de (SHOUP MANUFACTURING, 2022)

instalada junto ao trator.

Como se trata do mesmo sensor de semente, acrescido de um conversor único para todo o grupo de sensores, o custo de aquisição por sensor também se mantém na faixa de R\$ 200,00 a R\$ 300,00 por sensor.

A empresa brasileira J.Assy (2020) oferta no mercado um sensor para adubo e sementes finas, detectando a passagem ou não desses elementos pelos condutores. A tecnologia utilizada é a vibração da parede do sensor causada pela passagem de sementes pelo condutor. O sensor é voltado para sementes de finas e comunica-se com o monitor de plantio instalado no trator via rádio em uma frequência de 2.4 GHz. Ou seja, é um sensor totalmente sem fio que utiliza bateria interna. Os sensores entram em modo de espera e baixo consumo de bateria ao detectarem que a semeadora está parada, estacionada na garragem durante outros períodos diferentes do de plantio, por exemplo. É utilizada uma bateria de lítio com autonomia próxima de 2000 horas. Cada sensor possui um custo de aquisição de R\$ 950,00 em junho de 2022.

Não foram encontrados dispositivos que possibilitem a quantificação da vazão de adubo. As tecnologias pesquisadas apenas verificam a presença ou não de fluxo de adubo.

2.4.3 Interface de monitoramento

Além de verificar se o fluxo de sementes e adubo está adequado durante o plantio é importante informar essas informações para o operador do trator. Isso é realizado pelo monitor de plantio, que consiste em um dispositivo com uma interface homem máquina.

O monitor de plantio mPOP é um dos monitores mais simples disponíveis no mercado (figura 16 - I). Ele possui apenas um botão para ligar ou desligar o sistema, duas luzes, uma

indicando monitoramento ativo (na cor verde) e a outra indicando alerta (na cor vermelha). Além disso ele conta com um display de dois dígitos para indicar qual sensor está identificando algum possível problema, além de algumas outras informações como plantio parado, sensor desconectado, entre outras. O custo de aquisição do monitor está na faixa de R\$1200,00 (PRO SOLUS, 2022).

A empresa J.Assy (2020) comercializa também um monitor de plantio para visualização dos dados captados pelos sensores. A aparência do monitor é bem similar do dispositivo mPOP, ele possui um display com dois dígitos para informar o sensor que identificou alguma anormalia, possui também dois botões para configuração e duas luzes indicadoras. Um aspecto que chama atenção é a antena externa, uma vez que a comunicação com os sensores é realizada via rádio frequência (figura 16 - II). O monitor é alimentado com tensão contínua em uma faixa de 10V até 30V. O referido monitor estava sendo comercializado em junho de 2022 a R\$2800,00.

Figura 16 – Monitores de plantio



Fonte: (I) Adaptado de Pro Solus (2022). (II) Adaptado de J.Assy (2020)

A fabricante John Deere disponibiliza no mercado os Monitores Gen 4, uma tecnologia embarcada própria da empresa para monitoramento de parâmetros associados a tarefas tratadas realizadas em lavouras. Esses monitores possuem tela touchscreen, acesso remoto ao monitor por um técnico da empresa, possibilitando o ajuste de parâmetros a distância. Além disso, é possível compartilhar dados da operação de semeadura, por exemplo, com outra máquina que estiver auxiliando o plantio na mesma área. Isso permite que não sejam inseridas novamente sementes onde a outra máquina já tenha efetuado o plantio (Jonh Deere, 2022).

Conforme John Deere (2010), nesse monitor pode ser utilizada a tecnologia Seedstar 2, também de propriedade da empresa (figura 17). Essa aplicação é voltada para a utilização com semeadoras, fornecendo ao operador do trator as seguintes informações:

- População/espacamento entre fileiras
- Falha na fileira ou linha.
- População média.
- Nível de vácuo.
- Contador de hectares.
- Superfície de área total.
- Velocidade do trator.

Figura 17 – Monitor Gen 4 com aplicação Seedstar 2



Fonte: Adaptado de John Deere (2010)

Segundo MFRural (2022), uma plataforma online de compra e venda de equipamentos agrícolas, um monitor Gen 4 Universal 4640 foi comercializado por R\$28500,00, na cidade de Rio Blilante - Mato Grosso do Sul. O referido modelo possuía tela de 10.4 polegadas além de aplicações já instaladas no dispositivo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada com caráter de desenvolvimento teórico/prático de tecnologia inovadora. Ele possui como característica a confecção de protótipo com vista a uma possível concepção futura de produto.

Neste sentido, para evidenciar as atividades desenvolvidas este capítulo descreverá os procedimentos metodológicos adotados na execução deste estudo. A definição da cultura (tipo de grão) e da semeadora utilizada como base para o estudo serão apresentadas. Aqui também serão evidenciadas as tecnologias de sensoriamento de semente e adubo utilizadas na plataforma, bem como a forma de implementação das mesmas. São também citadas as plataformas de desenvolvimento de protótipos utilizadas para projeto dos sensores. Além disso, será apresentada a interface homem máquina (IHM) e o módulo processador dos sinais provenientes dos sensores. Serão relacionados também os componentes e sistemas embarcados que compõem a plataforma.

3.1 Definição da cultura

Dentre as possíveis culturas para direcionar o estudo, escolheu-se a cultura do milho com o objetivo de delimitá-lo. Em uma outra oportunidade, posterior a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, poderá ser realizada uma análise com outro grão.

A produção de milho juntamente com a produção de soja representa cerca de 80% da produção brasileira de grãos. A maior parte do milho produzido aqui no Brasil tem como destino a alimentação animal, seguida pela alimentação humana. A cultura do milho é comumente alternada com a soja em lavouras agrícolas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2022).

A cultura do milho representa aproximadamente 30% da produção mundial de grãos. Sendo o Estados Unidos da América, China e Brasil os três principais produtores do grão. Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Rio Grande do Sul e Santa Catarina são estados brasileiros que se destacam na produção de milho (MYFARM, 2021).

Dessa forma, foi escolhida a cultura do milho para análise neste estudo por ser um grão cultivado na região e por ser um grão demandado pelo mercado.

Figura 18 – IMASA MPS 1000



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2 Definição da semeadora

A semeadora utilizada neste estudo é a MPS 1000 da fabricante IMASA. Segundo IMASA (2017) é uma máquina com capacidade de plantio de até 6 linhas de milho (ver figura 18), com rendimento médio de semeadura de 10 hectares (equivalente a 100000 m²). por dia considerando uma velocidade de plantio de 7 km/h (ou aproximadamente 1,94 m/s) e um período diário de trabalho de 8 horas (IMASA, 2017).

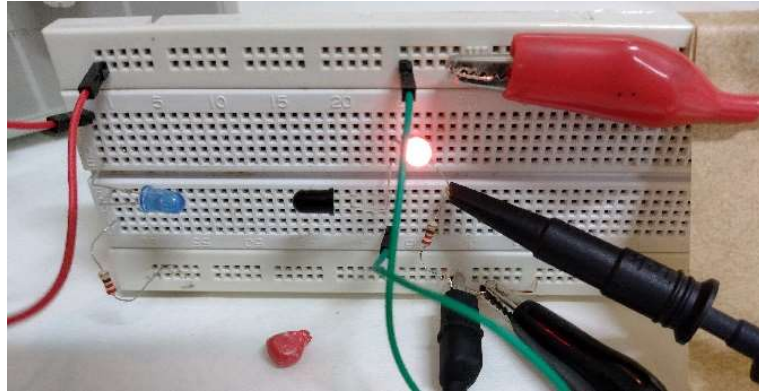
3.3 Sensores e tecnologias

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos utilizados na avaliação das tecnologias que eram candidatas a serem utilizadas nos protótipos dos sensores. Todas as análises foram realizadas nas dependências dos Laboratórios de Engenharia Elétrica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus de Erechim. Esta seção também trata de demais tecnologias que se farão necessárias para a continuidade do estudo.

3.3.1 Sensor de princípio óptico

Dentre as tecnologias presentes no mercado, citadas no referencial teórico foram selecionadas algumas para análise. Analisou-se a tecnologia baseada nos princípios óptico e capacitivo. Não foi encontrado nenhum sensor com princípio de campo magnético e ultrassônico, assim também foram realizados testes nessas diretrizes.

Os princípios de campo magnético e capacitivo não produziram sinais perceptíveis

Figura 19 – Circuito óptico em *protoboard*

Fonte: Elaborado pelo autor

a ponto de ser possível a identificação de passagem de semente. O princípio ultrassônico mostrou-se ineficiente para detecção de objetos a curta distância. Assim, para utilizá-lo seria necessário projetar um sensor muito grande, o que se tornaria inviável. O princípio óptico se mostrou eficiente na detecção da passagem de sementes e foi utilizado na sequência do estudo.

Segundo o que foi buscado na revisão bibliográfica, o princípio óptico é amplamente utilizado para sensoriamento de sementes. A tecnologia de sensoriamento basicamente consiste em enviar um feixe luminoso e captá-lo na sequência. Caso uma semente atravessasse esse feixe, ocorrerá uma perturbação na captação, sendo assim detectada a presença da mesma.

Foi projetado um circuito com um diodo emissor de luz infra-vermelho 5mm (encapsulamento azul), um fototransistor 5mm sensível a luz infra-vermelho e resistores de 220 Ω para limitar a corrente, para ser alimentado com tensão de 5V (figura 19).

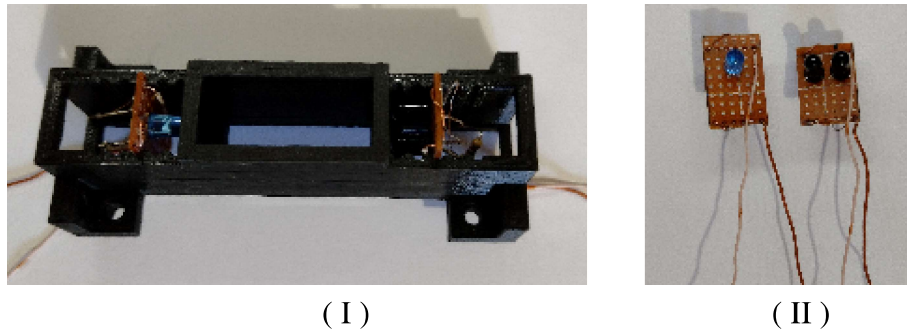
Em um segundo momento também foi projetado na plataforma de desenho tridimensional Tinkercad, descrita com mais detalhes a seguir, uma peça para posicionamento mais adequado dos diodos e fototransistores. Projetada a peça, foi efetuada a impressão na Impressora 3D Flashforge Inventor que está localizada no laboratório da Universidade.

Isso possibilitou uma coleta de resultados mais precisa, uma vez que os diodos estavam devidamente orientados para os fototransistores. Foram cortados dois pequenos pedaços de placa de fenolite cobreada ilhada com o intuito de fixar os diodos emissores, fototransistores e resistores de forma a verificar adequadamente como se comportavam os arranjos desses componentes (figura 20 - II). O processo de corte das placas de fenolite ocorreu de forma casada com a peça impressa de tal forma que fosse possível inserir as placas na peça.

Foram utilizados um osciloscópio modelo TBS 1102 Tektronix para leitura da saída do sensor e uma fonte de bancada ajustável modelo MPL-3305M fabricada pela Minipa para alimentar o sensor. Ele detectou a presença de todas as sementes que foram submetidas ao teste.

Diante dos resultados obtidos foram projetados dois novos modelos de peças dos sensores

Figura 20 – Peça de sensoriamento óptico com placas de fenolite ilhadas



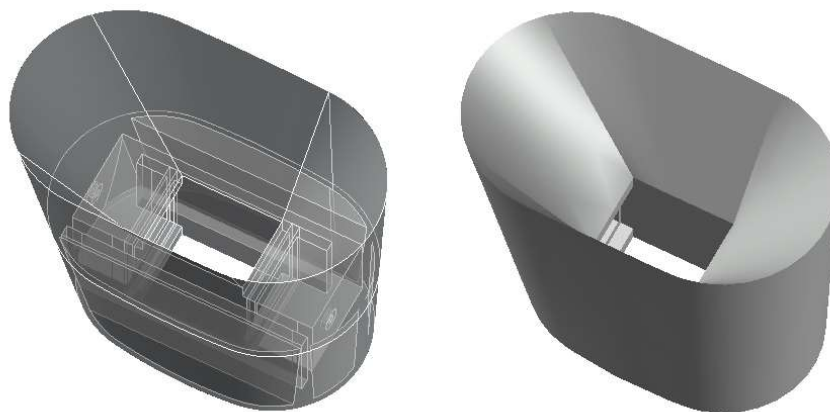
(I)
Fonte: Elaborado pelo autor

(figuras 21 e 22). Para que fossem modeladas com mais detalhes, essas peças foram projetadas no software Autocad, uma ferramenta de projeto 2D e 3D com mais recursos que o Tinkercad. Uma dessas peças é adaptada para a leitura de sementes, sendo que seu projeto foi desenvolvido de tal forma que ela se encaixasse internamente em uma luva de borracha própria da plantadeira. A outra, voltada para o monitoramento de adubo, foi projetada para ser acoplada em uma extremidade a um cano metálico e na outra um mangote de borracha.

É comum a utilização de grafite em pó, um lubrificante a seco, para um melhor desempenho na dosagem de sementes (figura 24). É interessante que as sementes deslizem umas sobre as outras de forma que o dosador consiga facilmente conduzir semente a semente para o condutor, que por sua vez levará as sementes até o solo. O grafite auxilia nessa lubrificação.

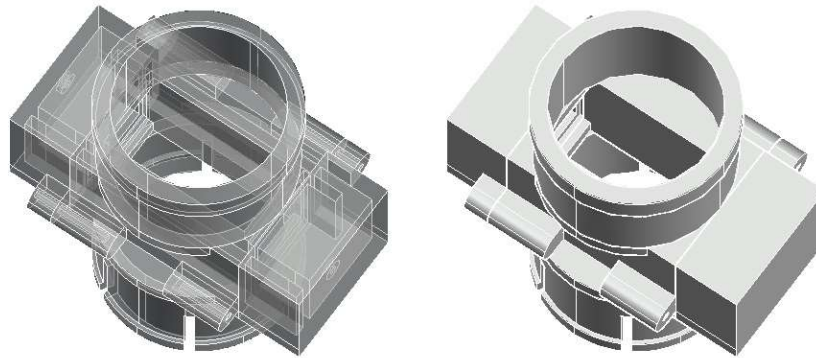
Entretanto, parcela do grafite também se adere nas paredes do condutor. E ao inserir um sensor no condutor, este também terá grafite aderido em seu interior. Assim, é esperado que a leitura seja prejudicada à medida que se utiliza a semeadora. Algo similar pode acontecer com os sensores de adubo. É provável que se depositem pequenas partículas nos sensores prejudicando a leitura. Quando ela for consideravelmente afetada por essas partículas será necessário uma

Figura 21 – Projeto do sensor de semente



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22 – Projeto do sensor de adubo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 – Partes dos sensores de semente e adubo



(I)

(II)

Fonte: Elaborado pelo autor

breve limpeza dos sensores. Dessa forma, o projeto e o posicionamento deles na semeadora foi realizado de tal forma que fosse possível acessar a parte interna dos sensores com uma escovinha ou pano para limpeza sem grande dificuldade.

Considerando que existem empresas que também utilizam o princípio óptico, e em alguns casos o mesmo sensor utilizado na detecção de semente para monitoramento de adubo, submeteu-se o protótipo desenvolvido a testes com adubo. Foram utilizadas 600 gramas de adubo para avaliar a resposta do sensor óptico. Essa quantidade está associada a um volume de 650mL ou ainda 0,65L.

3.3.2 Plataforma de projeto dos sensores

As ferramentas de projeto de peças tridimensionais utilizadas foram a plataforma online Tinkercad e o software Autocad. No Tinkercad é possível modelar uma peça a partir da junção de

Figura 24 – Sementes com grafite



Fonte: Elaborada pelo autor

formas geométricas pre-existentes simples. Nele é possível também criar orifícios na peça, com base nas mesmas formas geométricas como por exemplo, paralelepípedo reto, cilindro, esfera, cone, entre outros. Já no Autocad, além desses recursos é possível obter um sólido a partir de uma figura plana previamente desenhada a gosto do projetista. Nele existem também outras ferramentas mais robustas, de forma a facilitar consideravelmente a modelagem de sólidos mais elaborados.

Após desenhar a peça, em ambas as ferramentas, ela é exportada no formato STL e então o arquivo gerado pode ser encaminhado para impressão em uma impressora 3D. Essas duas ferramentas de projeto tridimensional são mantidas pela Autodesk.

3.4 Programação do sistema microcontrolado

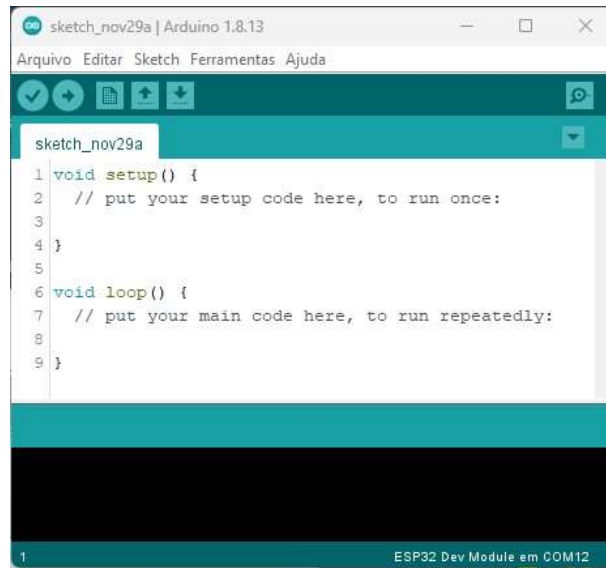
A programação do sistema microcontrolado foi desenvolvida na IDE Arduino, um ambiente de programação compatível com o microcontroladores escolhidos. Ele possui uma interface simples e funcional, onde é possível programar a placa ESP32, como também os microcontroladores da família ATmega, dentre eles o ATmega 2560, utilizado no estudo.

3.5 Confecção das placas de circuito

A placa do módulo de processamento de sinais foi confeccionada na fresadora CNC (figura 26 I), já a placa da interface IHM foi corroída em percloroeto de ferro (figura 26 II). Ambas as técnicas foram desenvolvidas no Laboratório de Engenharia Elétrica da Universidade a partir do projeto de placa de circuito efetuado no *software* Proteus.

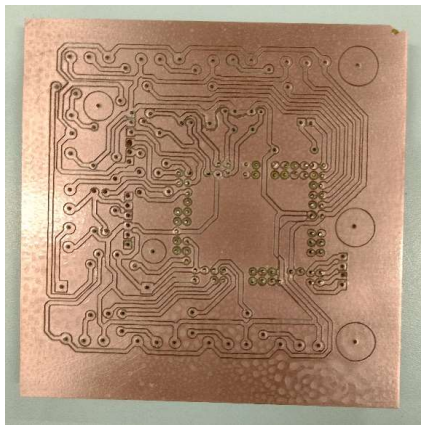
Após solda de todos os componentes a vista frontal das placas do módulo de processamento de sinal e da interface IHM podem ser visualizadas nas figuras 27 - I e 27 - II

Figura 25 – IDE Arduino

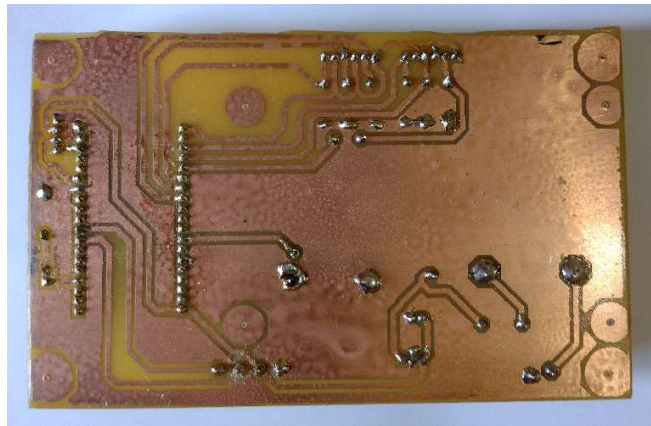


Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26 – Placa do módulo de processamento de sinais e placa da interface IHM



(I)



(II)

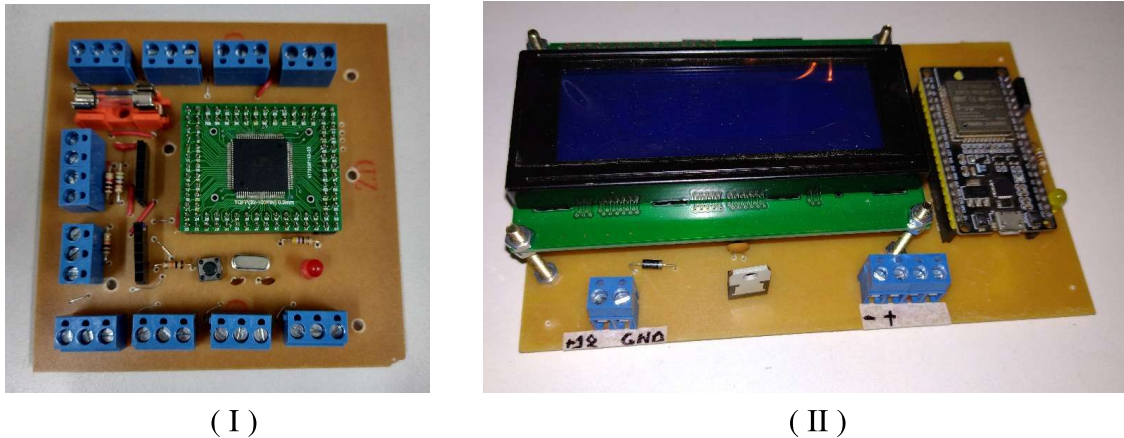
Fonte: Elaborado pelo autor

respectivamente.

3.6 Instalação na semeadora

A plataforma desenvolvida é constituída de 3 partes principais: interface IHM, módulo processador de sinais e os sensores. Foi instalado na parte dianteira da semeadora o módulo de processamento de sinais provenientes dos sensores de semente e adubo. Chegam nesse módulo 8 cabos de sinal partindo dos 8 sensores, acrescidos de mais um cabo associado a um sensor indutivo, totalizando nove cabos. Todos esses dispositivos são alimentados por uma bateria Lipo de 7,4V. Entre a bateria e o ponto de alimentação do módulo foi utilizado um regulador de

Figura 27 – Vista das placa do módulo de processamento de sinais e da interface IHM finalizadas



Fonte: Elaborado pelo autor

tensão LM7805, para regular os 7,4V de tensão da bateria, para 5V necessários para o módulo. Foi previsto também um fusível de 0,5A (figura 27 - I), para proteger o sistema em caso de algum curto-circuito.

O sensor indutivo vinculado ao módulo processador de sinais tem a função de informar quando o pneu da semeadora realiza um giro completo. O microcontrolador ATmega 2560 foi programado com uma rotina para cronometrar o tempo de giro completo. Sabendo esse tempo e sabendo o comprimento da circunferência do pneu, é possível calcular a velocidade do trator e da semeadora.

O microcontrolador Atmega 2560 utilizado no módulo de processador de sinais, pode operar em uma faixa de temperatura que varia de -65°C a 150°C (ATMEL, 2014). Com base nisso, foi possível instalar esse módulo diretamente na semeadora, em uma caixa para evitar choques físicos com objetos externos, mas sem necessidade de outras proteções adicionais contra radiação solar (figura 28).

Figura 28 – Ponto onde foi instalado o módulo processador de sinais



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 29 - I são identificados os pontos de instalação dos sensores, a segunda parte principal do sistema. O retângulo branco indica onde foi instalado o sensor de semente em cada linha. Já o retângulo azul indica onde está instalado o sensor de adubo em cada linha. Esses dispositivos foram projetados para que se encaixem adequadamente nos locais indicados. É importante frisar que o sensor de semente foi projetado para que se encaixasse internamente na luva de borracha da semeadora conforme pode ser visualizado na figura 29 - II.

Figura 29 – Sensores instalados



(I)



(II)

Fonte: Elaborado pelo autor

A terceira parte principal do sistema, a IHM recebe as informações do módulo processador de sinais através de uma comunicação bluetooth, implementada por um dispositivo HC-06 no módulo processador e o bluetooth integrado da placa ESP32 presente na interface IHM. Ela foi instalada sobre a proteção do pneu do trator, à esquerda do operador do maquinário agrícola (figura 30).

Figura 30 – Ponto de instalação da interface IHM



Fonte: Elaborado pelo autor

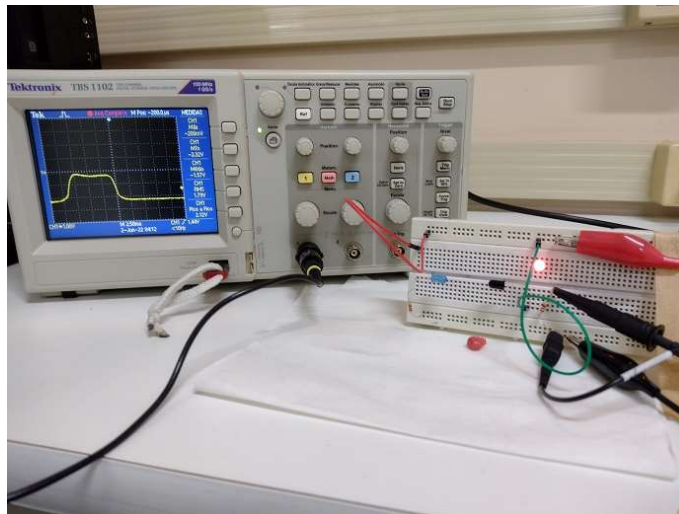
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a descrição da forma como foram conduzidas as atividades, este capítulo trata dos resultados obtidos com os testes dos sensores de semente e de adubo. Serão citados também os resultados em campo com a plataforma. Por fim serão mencionados aspectos de melhorias e aprimoramentos para se obter melhores resultados em possíveis desenvolvimentos futuros.

4.1 Desempenho do sensores em bancada

Os testes com o circuito dimensionado em protoboard conforme a figura 19 indicaram que quando uma semente corta o feixe de luz infravermelha, o fototransistor entra na região de em corte durante um tempo que varia de 5 a 7,5 milissegundos, isso pode ser visualizada pela forma de onda visualizada no visor do osciloscópio (figura 31).

Figura 31 – Semente cortando o feixe luminoso



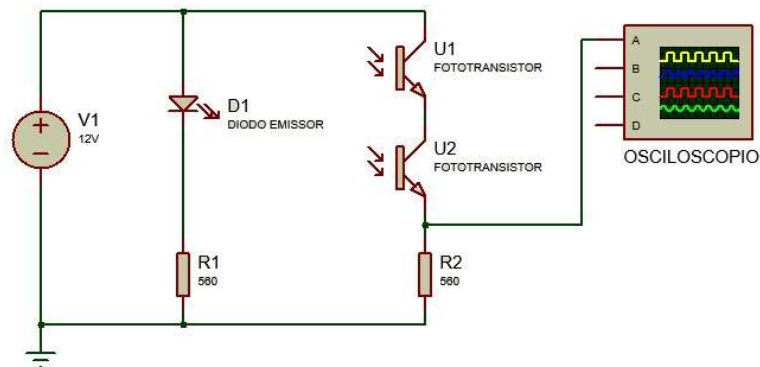
Fonte: Elaborada pelo autor

Inicialmente era utilizado 1 diodo emissor e 1 fototransistor. Entretanto, testes em *protoboard* indicaram que o arranjo apresentava direcionalidade elevada, Ou seja, a semente deveria passar bem diante dos fototransistor, do contrário ela não seria detectada. Assim, somente um receptor não garantia que toda a seção para passagem de sementes fosse monitorada. Dessa forma o arranjo foi alterado para 1 diodo emissor e 2 fototransistores.

Os dois fototransistores foram então ligados em série conforme circuito ilustrado na figura 32 desenhada com o auxílio do *software* Proteus. Os fototransistores foram associados em série, de tal forma que caso um deles não receba incidência luminosa ele atuará como uma

chave aberta impedindo que seja enviado um sinal de tensão para a saída do sensor. Dessa forma, uma sinal baixo, está associado a presença de semente, enquanto um sinal alto está associado a presença de semente. Esse novo arranjo detectou todas as 30 sementes que foram lançadas sobre ele nos testes de bancada de forma similar ao resultado visualizado na figura 31. Isso representa uma confiabilidade significativa para a tecnologia com princípio óptico de detecção, ao passo que o estudo prosseguiu utilizando esse princípio.

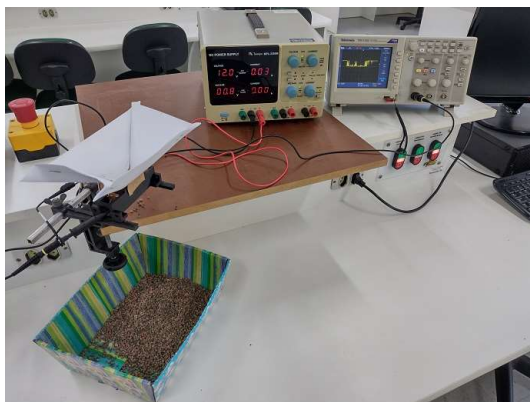
Figura 32 – Circuito utilizando 1 diodo emissor e 2 fototransistores



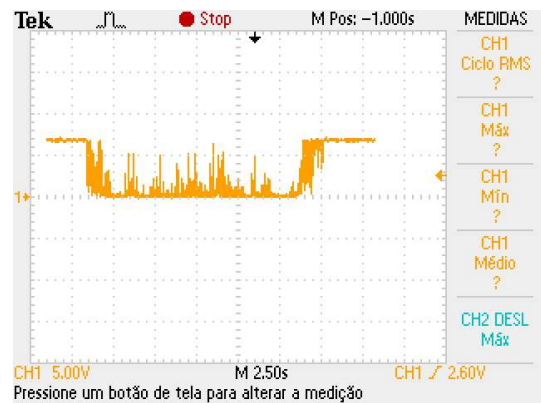
Fonte: Elaborada pelo autor

Baseado na dinâmica de teste ilustrada na figura 33, ao inserir manualmente 600 gramas de adubo no sensor, obteve-se no sensor uma saída conforme ilustrado na figura 33 II. O fluxo de adubo de 0,650L ou 600g teve duração de aproximadamente 15 segundos. O osciloscópio foi ajustado para uma escala temporal de 2,5 segundos por divisão. É visível uma perturbação por 6 divisões, o que equivale a 15 segundos. Assim, o sensor foi submetido a uma vazão de 0,043L/s.

Figura 33 – Testes com fluxo de adubo



(I)



(II)

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível afirmar que a condição normal de plantio ocorre quando a saída do sensor

possui uma forma de onda similar a um ruído, um sinal com perturbação, com grande oscilação de valor.

Tendo em vista essa possibilidade da utilização do mesmo sensor de semente, uma vez que isso já realizado no mercado, considerando o custo para confecção do sensor e com base nos resultados encontrados, definiu-se o princípio óptico como o princípio base para o monitoramento de adubo da plataforma.

4.2 Desempenho dos sensores em campo

Efetuada a instalação da plataforma em desenvolvimento na semeadora conforme descrito na seção 3.6, foram realizados testes em campo. Segundo o manual IMASA (2002), a semeadora MPS 1000, com os dosadores regulados conforme o momento em que forma realizados os testes em campo, distribui 7,27 grãos de milho por metro (figura 34).

Figura 34 – Tabela de distribuição de semente IMASA MPS 1000

Movida 18 dentes		Motora 27 dentes	
Grupo A	Grupo B	Milho	Soja
15	27	4,96	11,90
15	25	5,35	12,85
15	20	6,69	16,07
22	27	7,27	17,46
15	18	7,44	17,85
23	27	7,60	18,25
22	25	7,85	18,85
23	25	8,21	19,71
26	27	8,59	20,63
26	25	9,28	22,28
22	20	9,82	23,57
23	20	10,26	24,64
22	18	10,91	26,19
23	18	11,40	27,38
26	20	19,76	27,85
26	18	12,89	30,92

Fonte: Adaptado de (IMASA, 2002)

Considerando como leitura aceitável um valor entre 6 e 8 grãos de milho por metro. Observou na IHM que duas linhas de semente, linhas 1 e 2 estavam com leituras um tanto aceitável, mais próximas aos 7,27 sementes por metro mencionado no manual da semeadora. Enquanto as linhas de semente 3 e 4, estavam com leituras mais distantes de um valor aceitável,

do valor esperado. Lembrando que todos os quatro dosadores liberam sementes em cada linha a uma taxa similar.

Figura 35 – Testes com fluxo de adubo



Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto aos indicadores de adubo, apenas o sensor da linha 2 apresentou valores. Lembrando que não é possível quantificar precisamente quanto adubo está passando pelo sensor. O valor exibido é o número de vezes que o sensor é sensibilizado por metro. Como a única diferença entre o sensor de semente e adubo é o formato do encapsulamento e dos encaixes, o número exibido se equivaleria a passagem de esse mesmo valor de sementes por metro. Percebeu-se na linha 4 a vazão de adubo estava relativamente inferior das outras 3 linhas. Mesmo assim, os sensores 1 e 3 deveriam ter captado algo.

Quanto o valor de velocidade da semeadora e do trator informada na última linha da IHM, é possível afirmar que possui valor crescente de acordo com o aumento da marcha do trator. Foram realizados testes em primeira, segunda e terceira marcha, onde foi possível ver um aumento gradual das velocidades.

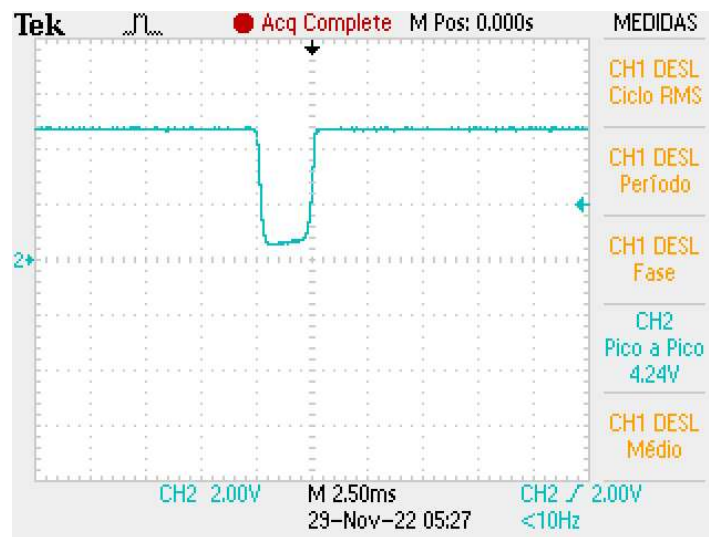
4.3 Análises em laboratório pós teste em campo

Na fase inicial do estudo foi verificado que a tecnologia óptica possui eficiência na detecção de semente. A partir disso, durante o projeto 3D dos sensores foi constatado que seria interessante utilizar um diodo emissor de 3mm e um fototransistor de 3mm, em função desses componentes terem dimensões menores. Lembrando que o fator tamanho se tornou relevante a partir do momento em que se direcionou o projeto do sensor de semente de tal forma que ele se encaixasse dentro de uma luva de borracha da semeadora. Foram realizados alguns testes, e em um primeiro momento os sensores estavam sendo sensibilizados, contudo não foi realizada uma

análise detalhada com osciloscópio.

Ao analisar a saída do sensor pelo osciloscópio percebeu-se que a saída do sensor é sensibilizada por cerca de apenas 2,5ms (figura 36) e não por 5 a 7,5ms como na fase inicial do estudo.

Figura 36 – Sinal de saída do sensor com diodo e fototransistor 3mm



Fonte: Elaborado pelo autor

As leituras dos sensores são realizadas a cada 4ms, assim é possível que não ocorra uma leitura adequada por parte do microcontrolador ATmega 2560 dos sensores.

4.4 Melhorias e aprimoramentos

É válida a realização de testes mais precisos para verificar se realmente o cálculo de velocidade da plataforma está correto. Essa análise poderá ser realizada cronometrando o tempo que o trator e a semeadora necessitam para percorrer uma distância conhecida, mantendo uma rotação do motor e marcha constantes. Com isso calcula-se a velocidade média e verifica-se se o valor informado pelo sistema é compatível.

É possível também ajustar o tempo de leitura dos sensores de tal modo a verificar se os valores associados a contagem de sementes e de fluxo de adubo se tornem aceitáveis. Entretanto, é importante frisar que existe uma limitação de memória do ATmega 2560. Nos testes de campo o microcontrolador realizava leituras de 8 sensores a cada 4ms por um período total de amostragem de 2s, totalizando assim 4000 dados. Após esse período ocorre o processamento e análise dos dados e o envio das informações para a IHM. Assim, considerando que é utilizada

considerável quantidade de memória para armazenamento da programação e dos valores dos sinais dos sensores não se descarta a necessidade de utilização de outro microcontrolador ou de *hardware* adicional para otimizar o sistema.

Deve-se também buscar uma forma mais eficiente de fixação da IHM no trator, de forma dar mais conforto ao operador no que se refere ao posicionamento da IHM de tal forma que ele consiga visualizar as informações de forma ergonômica.

4.5 Considerações finais

Os sensores de semente e de adubo projetados para monitoramento possuem um custo individual com materiais de R\$ 39,57, descrito detalhadamente na tabela 1.

Tabela 1 – Custo com materiais para confecção de um sensor

Item	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Diodo emissor infravermelho 3mm - TIL 32 -	pç	1	R\$ 2.98	R\$ 2.98
Fototransistor infravermelho 3mm - TIL 78	pç	2	R\$ 2.23	R\$ 4.46
Resistor SMD 1k Ω	pç	1	R\$ 0.08	R\$ 0.08
Resistor SMD 10k Ω	pç	1	R\$ 0.08	R\$ 0.08
Case para o sensor	pç	1	R\$ 25.00	R\$ 25.00
Conector selado 3 vias fêmea	pç	1	R\$ 4.50	R\$ 4.50
Fio - Cabo manga 3x26 AWG	m	0.5	R\$ 2.98	R\$ 1.49
Parafuso cabeça chata	pç	4	R\$ 0.12	R\$ 0.48
Placa de fenolite	pç	1	R\$ 0.50	R\$ 0.50
TOTAL				R\$ 39.57

Fonte: Elaborado pelo autor

Os custos com materiais para confecção do módulo processador de sinais e da interface IHM podem ser visualizados respectivamente nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Considerando que a semeadora MPS 1000 necessita de 8 sensores, mais um módulo processador de sinais e uma interface IHM, o custo final com materiais para instalar um sistema supervisorio é de R\$ 841,81.

Tabela 2 – Custo com materiais para confecção do módulo processador de sinais

Item	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Microcontrolador Atmega2560	pç	1	R\$ 108.00	R\$ 108.00
Abraçadeira plástica 3.6x200 mm	pç	100	R\$ 0.30	R\$ 30.00
Fio - Cabo manga 3x26 AWG	m	35	R\$ 2.98	R\$ 104.30
Placa de fenolite cobreada 20x20cm	pç	0.5	R\$ 20.20	R\$ 10.10
Caixa plástica	pç	1	R\$ 40.00	R\$ 40.00
Regulador de tensão LM7805	pç	1	R\$ 2.02	R\$ 2.02
Fusível 0.5A	pç	1	R\$ 0.54	R\$ 0.54
Porta fusível	pç	1	R\$ 1.80	R\$ 1.80
Borne KRE 3 terminais	pç	9	R\$ 1.62	R\$ 14.58
Borne KRE 2 terminais	pç	2	R\$ 1.08	R\$ 2.16
Cristal 16MHz	pç	1	R\$ 1.62	R\$ 1.62
Capacitor Cerâmico 22pF	pç	2	R\$ 0.14	R\$ 0.28
Sensor Indutivo 5V PNP	pç	1	R\$ 41.40	R\$ 41.40
resistores 1/4W	pç	4	R\$ 0.06	R\$ 0.24
Chave táctil 2 terminais	pç	1	R\$ 0.48	R\$ 0.48
LED	pç	1	R\$ 0.40	R\$ 0.40
TOTAL				R\$ 357.92

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Custo com materiais para confecção da interface IHM

Item	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Porta fusível	pç	1	R\$ 1.08	R\$ 1.08
Fusível 0.5A	pç	1	R\$ 0.54	R\$ 0.54
Display Lcd 20x4 com Backlight Azul com I2C	pç	1	R\$ 70.00	R\$ 70.00
Caixa patola PB119/3	pç	1	R\$ 32.85	R\$ 32.85
Placa ESP 32	pç	1	R\$ 45.00	R\$ 45.00
Conector 6 vias	pç	2	R\$ 0.18	R\$ 0.36
Conector 20 vias	pç	2	R\$ 1.17	R\$ 2.34
Placa de fenolite cobreada 20x20cm	pç	0.5	R\$ 20.20	R\$ 10.10
Parafusos cabeça chata	pç	8	R\$ 0.12	R\$ 0.96
Parafusos com porca 30mm	pç	4	R\$ 0.27	R\$ 1.08
Diodo 1N4007	pç	1	R\$ 0.18	R\$ 0.18
Regulador de tensão LM7805	pç	1	R\$ 2.02	R\$ 2.02
resistores 1/4W	pç	7	R\$ 0.06	R\$ 0.42
LED	pç	1	R\$ 0.40	R\$ 0.40
TOTAL				R\$ 167.33

Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONCLUSÃO

O presente estudo propôs estudar e desenvolver um sistema supervisor para o monitoramento de sementes e de adubo em uma semeadora. O monitoramento contribui para evitar falhas externas ou na máquina que impeçam que as sementes cheguem ao solo. Na região da lavoura em que, por ventura, ocorram essas falhas ocorrerá uma redução do desempenho produtivo.

Com base na revisão bibliográfica e na possibilidade de implementação da plataforma em uma máquina física, foram definidos o modelo de semeadora e cultura para desenvolver os estudos. Na revisão bibliográfica foi verificado quais sistemas já estão disponíveis no mercado para atender essa demanda. Também pela revisão foi constatado que a tecnologia mais utilizada é a que utiliza princípio óptico. Isso contribuiu para a escolha deste mesmo princípio para o projeto dos sensores da plataforma.

Os sensores foram projetados em etapas, sendo efetuadas melhorias em cada uma delas. Os softwares projetados são utilizados em modelagens de elementos bidimensionais ou, como no caso desse estudo, tridimensionais. Após o projeto ocorreu a impressão desses sensores em uma impressora 3D.

Tendo os sensores confeccionados, partiu-se para o projeto de um módulo processador de sinais. Desenhado o layout da placa, foram encaminhados os arquivos necessários para fresagem junto a uma fresa. Após, precedeu-se a solda de componentes eletrônicos e testes para verificar se placa funcionava como esperado. Os resultados desses testes foram positivos, atestando funcionalidade adequada.

A fase seguinte se caracterizou pelo projeto da interface IHM para que sejam exibidas as informações associadas aos sensores. Escolhidos o microcontrolador, display, e demais componentes foi confeccionada a placa em ácido ferroso. Na sequência ocorreu a solda de componentes e testes de conferência de funcionamento.

Por fim, com as três partes principais do sistema confeccionadas foi possível instalá-lo na semeadora, para posteriormente avaliá-lo. Foram realizados testes em campo, evidenciando que a comunicação bluetooth é funcional e estável, configurando uma troca de dados entre os dispositivos na semeadora e a IHM presente no trator sem o uso fios ou cabos. O cálculo da velocidade da semeadora utilizando um sensor indutivo para indicar o momento em que ocorre um giro completo do pneu da semeadora também mostrou-se eficiente. Quanto aos sensores de semente e adubo, estes não indicaram com precisão a quantidade de sementes e o volume de adubo que passavam pelos dutos. Entretanto, foi possível a funcionalidade do princípio óptico

para sensoriamento. Então deve-se reavaliar o período de amostragem dos sensores utilizado, o formato dos sensores, a influência de sujeira ou poeiras, dentre outros fatores que podem estar influenciando nos resultados.

Assim, conclui-se que os resultados indicam que são necessários aprimoramentos, mas que existe possibilidade de desenvolvimento de uma plataforma mais acessível em comparação aos dispositivos já existentes no mercado, possibilitando a que essas tecnologias estejam mais próximas do agricultor de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

ATMEL. **Datashet Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V**. San Jose - USA, 2014.

ATUALIZE. **Sensor de plantio Saframax**. In: . Atualize Tecnologia Agrícola Eireli, 2022.

Disponível em:

<<https://www.atualizetecnologiaagricola.com.br/sensor-de-plantio-saframax.html>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CURTO CIRCUITO. **Placa DOIT ESP32 - ESP32-WROOM-32D**. In: . 2022. Disponível em:

<<https://www.curtocircuito.com.br/placa-doit-esp32-esp32-wroom-32d-wifi-bluetooth.html>>.

Acesso em: 18 jun. 2022.

DronEng. **O que você deve saber sobre Baterias Lipo, o combustível do VANT**. In: . 2022.

Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/baterias-lipo/>>. Acesso em: 29 nov. 2022.

ELETROGATE. **Apostila Kit Arduino Big Jack**. 1. ed. Porto Alegre: Eletrogate, 2010.

ELETROGATE. **Display Lcd 20x4 com Backlight Azul com I2C**. In: . 2022. Disponível em:

<<https://www.eletrogate.com/display-lcd-20x4-com-backlight-azul>>. Acesso em: 29 nov.

2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesquisa e Inovação para o desenvolvimento sustentável dos sistemas de produção de grãos**. In: . 2022. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/portfolio/graos>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Trilha Tecnológica: Culturas: Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/milho>>.

Acesso em: 29 mai. 2022.

IMASA . **Manual do Proprietário: Plantadeiras mps 1000/1600/1800/2000**. Ijuí - RS, 2015.

IMASA. **Manual do Proprietário: Plantadeiras mps 1000/1600/1800/2000**. Ijuí - RS, 2002.

IMASA. **IMASA: Plantio direto**. Ijuí - RS, 2017.

J.ASSY. **Visum: Manual de instruções**. [S.l.]: J.Assy, 2020.

JOHN DEERE. **Platadeiras Série 1100**. Horizontina - RS, 2010.

Jonh Deere. **Monitores Gen 4 - Tecnologia embarcada John Deere**. In: . 2022. Disponível em:

<<https://www.deere.com.br/pt/agricultura-de-precis%C3%A3o/receptores-monitores-e-rtk/>>.

Acesso em: 30 out. 2022.

KREUZ, R. J. **Monitoramento de semeadora**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/211846980-Monitoramento-de-semeadura.html>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

LAMB, F. **Automação industrial na prática**. 1. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014.

MFRural. **Monitor 4640 . Gs4**. In: . 2022. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/428531/monitor-4640-gs4>>. Acesso em: 30 out. 2022.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas para Plantio**. Campinas - São Paulo: Millennium Editora, 2012.

MYFARM. Produção de grãos no brasil: conheça esse mercado. In: . [s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.myfarm.com.br/producao-de-graos/>>. Acesso em: 29 mai. 2022.

PORTELLA, J. A. **Mecanismos dosadores de sementes e de Fertilizantes em máquinas agrícolas**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA, 1997.

PRECISIONTEC. **Sensor de Sementes para Monitor de Plantio Precision Tec AGR 400**. In: . PrecisionTec Agricultura de Precisão Ltda, 2022. Disponível em: <<https://www.precisiontec.ind.br/sensor-de-semente/sensor-de-sementes-para-monitor-de-plantio-precision-tec-agr-400>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

PRECISION PLANTING. **WaveVision**. In: . 2022. Disponível em: <https://www.precisionplanting.com.br/pt_BR/produtos/wavevision>. Acesso em: 12 jun. 2022.

PRO SOLUS. **mPOP**: Manual de operações. Campo Mourão - PR, 2022.

SHOUP MANUFACTURING. **WaveVision Sensor And Tube**. In: . 2022. Disponível em: <<https://www.shoupparts.com/700250-WaveVision-Sensor-And-Tube>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

SILVA, R. C. da. **Máquinas e Equipamentos Agrícolas**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014.

USINAINFO. **Projeto Arduino com Display LCD e adaptador I2C**. In: . 2022. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-arduino-com-display-lcd-e-adaptador-i2c/>>. Acesso em: 29 nov. 2022.

VELOSO, C. S. **Controle de uma plantadeira de grãos**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) — Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2018. Disponível em: <<https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/79086-veloso,-c.-s.-agricultura-de-precisao-controle-de-uma-plantadeira-de-graos.-tcc,-2018..pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2022.