

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**Sistema embarcado para controle da dosagem de sementes em
taxa variável**

JOÃO AUGUSTO ASSUNÇÃO DURIGON

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019**

Sistema embarcado para controle da dosagem de sementes em taxa variável

JOÃO AUGUSTO ASSUNÇÃO DURIGON
Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para conclusão do curso de Engenharia Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

D962s Durigon, João Augusto Assunção
Sistema Embarcado para controle da dosagem de sementes em taxa variável [recurso eletrônico]
/ João Augusto Assunção Durigon. -- 2019.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando.
TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Densidade. 2. Distribuição. 3. Precisão. 4. Semeadura. 5. Variável. I. Orlando, Prof. Dr. Roberto Carlos. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

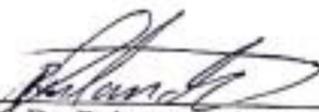
Sistema embarcado para controle da dosagem de sementes em taxa variável

Por

João Augusto Assunção Durigon

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

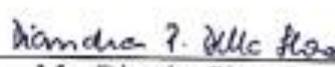
Aprovado em: 5 de Dezembro de 2019.



Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de
Souza
Membro da Banca – UFGD/FCA



Me. Diandra Pinto Della Flora
Membro da Banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, por toda a ajuda e motivação que me deram.

A todos os meus professores, pelos conhecimentos ensinados dia após dia.

Ao Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando, pela orientação e a dedicação ao ensino.

A Universidade Federal da Grande Dourados, pelos recursos disponibilizados.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Semeadoras de linhas individuais	2
2.1.1 Mecanismos Dosadores	2
2.1.2 Mecanismos de Transmissão de Movimentos	2
2.1.3 Regulagem e Aferição dos Mecanismos.....	3
2.2 Espaçamento, Densidade e Uniformidade	4
2.3 Taxa Variada de Semeadura	4
2.4 Sistema embarcado	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1. Aplicativo.....	5
3.2. Microcontrolador	7
3. 2.1. Placa NodeMCU ESP8266	8
3. 2.2. Driver de motor.....	8
3.2.3. Motor de Passo	9
3.3. Mapas de aplicação	9
3.4. Avaliação do protótipo.....	11
3.5 Comportamento esperado do sistema	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 Avaliação da velocidade obtida pelo GPS	16
4.2 Avaliação do controle da rotação do disco dosador	17
Verificou-se que, em média, o comportamento do sistema embarcado no que se refere a sua capacidade de reconhecer o posicionamento em tempo real dentro de um dos talhões que compõem o mapa de aplicação e conseqüentemente a leitura da densidade de plantas atribuída a este talhão se aproximaram das rotações esperadas especialmente nas velocidades e taxas mais baixas.	24
5. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

Durigon, J. A. A. **Sistema embarcado para controle da dosagem de sementes em taxa variável**. 2019. 26p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

Este trabalho desenvolveu uma plataforma para controlar mecanismos dosadores rotativos de sementes em taxa variada. O controle é feito através de uma aplicação móvel, para smartphones, que permite que arquivos de mapas com áreas de plantio e diferentes taxas de dosagem de sementes sejam carregados e interpretados. Os cálculos de definição da localização, da taxa de semeadura e velocidade de deslocamento são executados no smartphones e a frequência de pulsos é enviada por wi-fi ao sistema de variação da rotação do disco dosador. Desta forma foi possível executar o controle da velocidade de rotação dos mecanismos dosadores, em função da variação da velocidade de deslocamento do conjunto máquina-implemento e da dosagem de sementes para cada zona de manejo, a qual pode ser fixa ou variável entre diferentes subdivisões da área. Nos testes realizados foi possível verificar que o sistema foi capaz de determinar a velocidade de deslocamento, identificar as zonas e taxas de distribuição das sementes e em função destas determinar a rotação adequada do disco dosador.

Palavras-chave: Densidade; Distribuição; Precisão; Semeadura; Taxa Variável; Uniformidade

Durigon, J. A. A. **Embedded system for variable rate seed dosage control**. 2019. 26p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

ABSTRACT

This work developed a platform to control rotary seed rate mechanisms at varying rates. Control is done through a mobile application for smartphones, which allows map files with planting areas and different dosage rates to be loaded and interpreted. Calculations for setting location, sowing rate and travel speed are performed on smartphones and the pulse rate is sent over wi-fi to the dosing disc rotation variation system. In this way, it was possible to control the speed of rotation of the dosing mechanisms, as a function of the variation of the machine-implement set displacement speed and the seed dosage for each management zone, which can be fixed or variable between different subdivisions of the machine. area. In the tests performed it was possible to verify that the system was able to determine the speed of travel, identify the zones and distribution rates and as a function of these determine the proper rotation of the dosing disc.

Keywords: Density; Distribution; Precision; Seeding; Uniformity; Variable Rate

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é uma ferramenta de gestão que utiliza tecnologias de tratamentos localizados baseados nos conceitos e na determinação da variabilidade temporal e espacial das lavouras.

Com a necessidade de se realizar manejos com maior produtividade e com menos desperdício de recursos surge cada vez mais a demanda por máquinas capazes de efetuar trabalhos agrícolas com exatidão, a fim de aproveitar com a máxima eficiência a área e os insumos empregados na produção de alimentos. A semeadura é uma operação de extrema importância para o ciclo da cultura instalada devido ao seu alto custo e dificuldade de ser refeita com qualidade.

As semeadoras atuais possuem sistemas mecânicos de transmissão de movimento ao disco dosador de sementes. Estes sistemas mecânicos são complexos, devido ao grande número de peças móveis, exigindo manutenções periódicas, possuem folgas e apresentam problemas que interferem na uniformidade de distribuição de sementes além de elevarem os custos de fabricação das máquinas.

Os sistemas embarcados são cada vez mais comuns nas máquinas agrícolas e, grande parte deles, estão presentes nas que desempenham aplicações em taxa variada. Nessas operações, além do sistema armazenar o valor determinado da taxa de aplicação, também se faz necessária a interação com o ambiente por meio de sensores instalados, capazes de determinar a velocidade de deslocamento, o posicionamento e, ainda, atuadores responsáveis pela dosagem do material aplicado.

A grande maioria dos produtores de grãos brasileiros ainda utilizam semeadoras com sistemas mecânicos de acionamento. A regulação da densidade de plantas por área nestas máquinas, muitas vezes é negligenciada ou não permite atingir a densidade desejada.

O objetivo do presente trabalho é descrever e validar o desenvolvimento de um sistema embarcado que possibilite o controle de dosadores rotativos de sementes em aplicações a taxa variada com base no mapa de aplicação escolhido. O sistema deve ser adaptável para diferentes configurações de semeadoras.

A velocidade de rotação do sistema de transmissão será avaliada para diferentes tratamentos, variando-se a velocidade de deslocamento e a densidade de semeadura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semeadoras de linhas individuais

As semeadoras de sementes graúdas, com linhas individuais independentes, são comumente apresentadas como semeadoras de precisão, pois elas são capazes de dosar e depositar as sementes uma a uma em intervalos espaciais relativamente precisos. Usadas para culturas de grãos graúdos que carecem de espaço vital para seu desenvolvimento, ao contrário das gramíneas que são semeadas a lanço ou por rastilho, elas tem seu desempenho avaliado pela regularidade na deposição das sementes no solo.

O principal aspecto de uma semeadora de linhas individuais é a presença de mecanismos de semeadura, para cada linha, acoplados em uma mesma barra porta ferramentas, ou chassi, o que possibilita a regulagem de distância entre linhas (MIALHE, 2012).

Nesse tipo de semeadora cada linha funciona de forma autônoma, possuindo seus próprios mecanismos de transmissão de movimentos, dosagem, condução e lançamento, abridores e cobridores de sulco, adensamento de leito, acoplamento e sustentação, reservatório de sementes.

2.1.1 Mecanismos Dosadores

Os mecanismos dosadores são responsáveis pela subdivisão da massa de sementes em quantidades que satisfazem uma preestabelecida razão de semeadura. Essa classe de mecanismos pode ser subdividida em dosadores para sementes soltas ou para sementes acondicionadas. Dentre os dosadores de sementes soltas existem os subtipos de fluxo de sementes, que pode ser granel ou singularizado. O fluxo singularizado pode ser obtido a partir de outros dois subtipos de dosadores, que pode ser dosador de células alveolares ou dosadores apanhadores. Existem dois tipos de dosadores com células alveolares, são eles: Dosadores alveolares rotativos ou Dosadores de correia alveolar (MIALHE, 2012).

2.1.2 Mecanismos de Transmissão de Movimentos

São os responsáveis pela transmissão de movimentos da roda de terra da máquina aos órgãos dosadores e condutores de sementes. Existem hoje no mercado basicamente sete tipos

de atuadores de mecanismos dosadores para semeadoras de linhas individuais, que são: Motor elétrico de corrente contínua, ar comprimido, motor hidráulico, árvore cardam acoplada a TDP, árvore dentada acoplada ao cubo de roda motriz, roda de terra, roda motriz da semeadora (MIALHE, 2012).

O tipo de transmissão mais comum encontrado nas máquinas de plantio das propriedades produtoras de cereais e grão é o feito a partir do giro da roda de terra da semeadora, que apresenta certas desvantagens. Primeiramente, para transmitir a velocidade angular da roda da semeadora em relação ao solo e modificar para uma velocidade angular do disco dosador capaz de satisfazer o fluxo desejado de sementes, se faz necessária uma grande quantidade de elementos mecânicos. No início do sistema fica uma roda dentada coaxial à roda de terra que através de uma corrente transfere o movimento para outra roda dentada em uma árvore de transmissão intermediária, nessa árvore outra roda dentada utiliza de outra corrente para transferir o giro para uma caixa de redução em um eixo paralelo ao primeiro, esta caixa contém diferentes tamanhos e pares de rodas dentadas e é onde a regulação da relação entre sementes liberadas por volta da roda de terra.

Foi proposto por Portella (1999) substituir por sistemas eletrônicos sistemas que originalmente eram mecânicos em uma semeadora protótipo. Segundo o autor, os sistemas mecânicos acionados pela roda da semeadora sobrecarregam mecanicamente a mesma causando patinagens e conseqüentes falhas na dosagem e na deposição de sementes.

2.1.3 Regulação e Aferição dos Mecanismos

A razão de Semeadura expressa o número de sementes viáveis por metro linear de sulco, necessário para se obter uma determinada lotação (número de plantas por hectare), usando-se um dado espaçamento entre fileiras (MIALHE, 2012).

De acordo com Reis e Forcellini (2000) na maioria dos casos a mudança da densidade de semeadura é feita através da relação de transmissão entre o elemento motor e o mecanismo dosador ou pela troca do próprio mecanismo dosador por outro com diferente número de furos.

O objetivo da regulação é atingir uma taxa de semeadura capaz de distribuir em campo a quantidade recomendada de plantas por hectare.

2.2 Espaçamento, Densidade e Uniformidade

A distribuição espacial de uma cultura na área semeada influencia diretamente na capacidade produtiva ao final do ciclo, pois envolve fatores básicos como o espaço vital da espécie, a competição por recursos como água, nutrientes e até radiação solar, além do custo inicial com sementes.

De acordo com Tourino et al. (2002) a cultura da soja apresentou a maior produtividade quando semeada com espaçamento entre linhas de 45 centímetros e distribuição na linha de 10 plantas por metro com uniformidade acima de 60%, sendo a uniformidade o fator mais significativo dentro do bloco. A uniformidade de 100% apresentou a maior produtividade. Entende-se por uniformidade a relação entre as distâncias obtidas entre sementes no sulco, sendo que a uniformidade de 100% para uma regulagem de 10 plantas por metro implica em uma distância entre sementes sempre igual a 10 centímetros.

Ainda segundo os autores, o aumento da uniformidade de espaçamento entre plantas dentro das linhas, contribui para a redução do acamamento, e para o aumento da produtividade da soja.

2.3 Taxa Variada de Semeadura

A gestão detalhada de lavouras é hoje um dos conceitos responsáveis por formar a base do sistema de manejo conhecido pelo termo agricultura de precisão. O conceito de gestão detalhada de lavouras define a utilização de tecnologias de sensoriamento e de controladores nas diferentes etapas que constituem o manejo agrícola de uma lavoura, desde fases iniciais como o preparo do solo até a sistemas de tratamento localizado da irrigação.

O tratamento localizado da semeadura, popularmente conhecido como taxa variada de semeadura, só pode ser realizado por semeadoras que possuam sistema para variar a taxa de dosagem das sementes por meio de seus controladores.

Molin et al. (2015) explica que as semeadoras aptas para o tratamento localizado da semeadura possuem basicamente um controlador que armazena mapas de recomendação e envia sinais para controlar a velocidade angular do sistema de dosagem, podendo esse ser acionado por motor elétrico ou motor hidráulico controlado por válvula elétrica.

A aplicabilidade do tratamento localizado na semeadura torna possível o plantio de uma população de plantas condizente com o potencial produtivo de cada unidade de tratamento.

Normalmente, unidades de alto potencial produtivo são implantadas com maior densidade populacional, pois se considera que nelas existem menos limitações à produção (MOLIN et al., 2015).

2.4 Sistema embarcado

De acordo com Vargas (2007) sistemas embarcados são sistemas que interagem com o ambiente em que se encontram e coletam dados de sensores para modificar o ambiente utilizando atuadores. Define-se ainda que um sistema embarcado é um computador construído para o único propósito de sua aplicação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O sistema embarcado foi desenvolvido durante projetos executados no Laboratório de Máquinas e Implementos Agrícolas da UFGD e é composto por um micro controlador ESP 8266 com comunicação *WiFi* integrada, um motor de passo bipolar de corrente contínua e um módulo Ponte H para controlar a corrente elétrica de acionamento do motor.

Além do sistema embarcado proposto também será desenvolvido um aplicativo para o sistema operacional Android, através da plataforma online do MIT App Inventor 2. O aplicativo permite que o usuário, após conectar seu *Smartphone* a rede gerada pelo ESP 8266 no modo de ponto de acesso (*Access Point*), envie os arquivos necessários para que a dosagem seja feita no modo de taxa variável.

3.1. Aplicativo

A plataforma de desenvolvimento do aplicativo foi o MIT App Inventor 2. Trata-se de uma plataforma web para usuários que possuam uma conta no Google. Essa ferramenta foi lançada oficialmente em 15 de Dezembro de 2010 pelo Google Labs, e foi cedida após um ano ao MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) (ALENCAR et al., 2013).

O aplicativo desenvolvido tem função de receber do usuário os dados referentes as características do projeto executado. Isso permite que qualquer motor de passo seja utilizado para a adaptação do sistema desde que sua rotação máxima seja suficiente para a dosagem exigida. A mesma vantagem se aplica ao sistema dosador desde que o mesmo seja do tipo rotativo e ao espaçamento entre as linhas de plantio da semeadora utilizada. O coeficiente de

germinação também deverá ser informado, isso fará com que o mapa de aplicação possa ser configurado com a densidade real de plantas estipulada pelo receituário agrônomo do responsável.

Para resumir o funcionamento e o fluxo de dados tratados pelo aplicativo foi elaborado um diagrama de blocos, ou fluxograma dos processos. O diagrama apresentado na Figura 1 mostra os dados de entrada nomeados como: espaçamento, germinação, motor e disco. O valor de saída, abreviado pela sigla PPS, representa a frequência de pulsos por segundo que o motor de passo irá receber em suas bobinas onde cada pulso resultará conseqüentemente em um passo angular do eixo do motor.

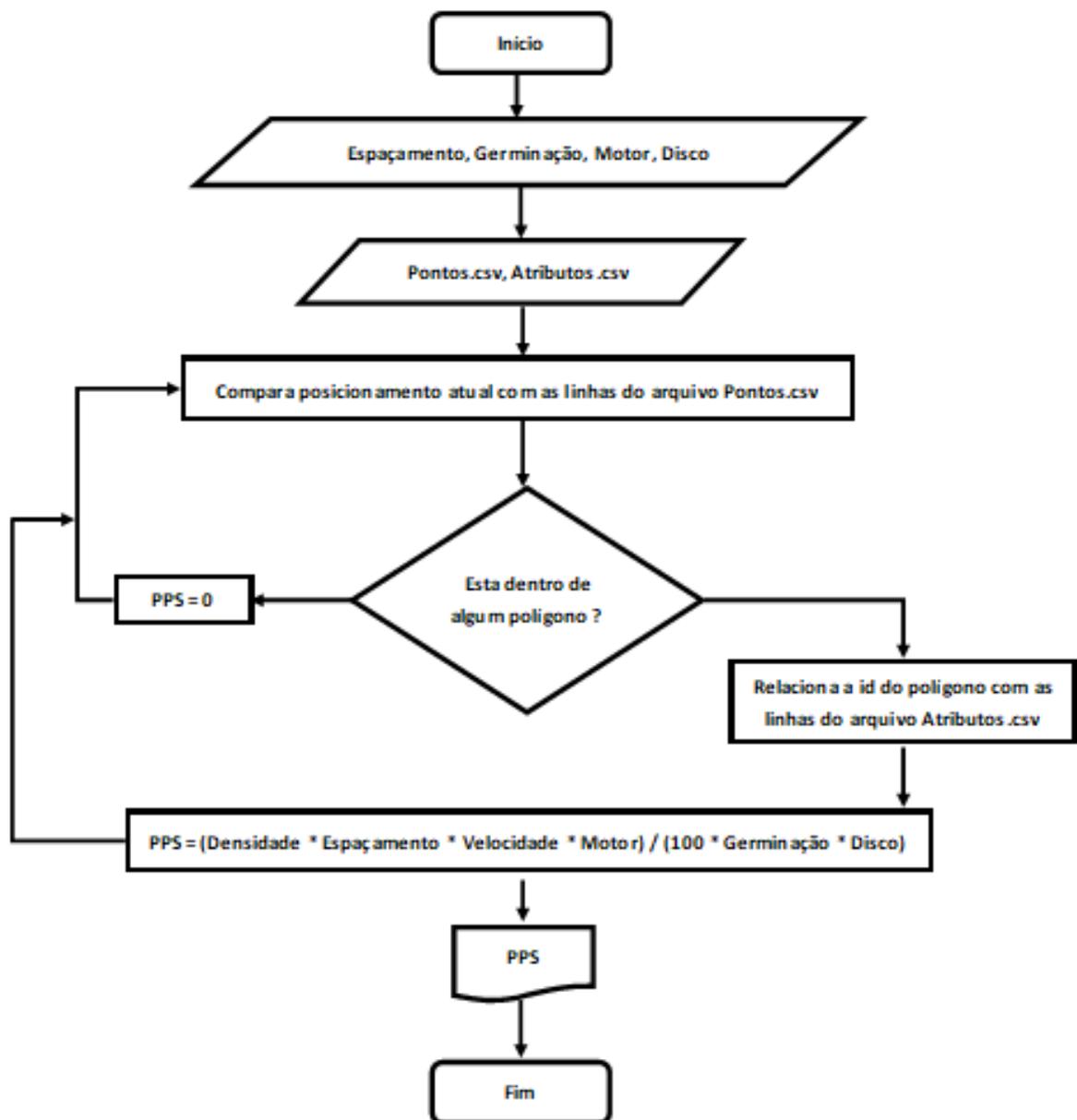


Figura 1: Diagrama em blocos dos processos do aplicativo. Legenda: PPS – pulsos por segundo; Motor – passos por revolução; Disco – Sementes por revolução.

A entrada espaçamento recebe o valor da distância em metros entre as linhas de semeadura no chassi do implemento. A variável germinação recebe o valor do coeficiente de germinação das sementes utilizadas. O valor informado para a variável motor deve ser o de quantidade de passos para uma volta completa do eixo do motor, que é uma característica individual de cada modelo. Por fim a quantidade de furos do disco dosador é atribuída a variável disco.

O sistema foi validado utilizando-se para as entradas de dados valores que são próximos aos encontrados comumente para características de mecanismos de semeadoras e de capacidade de germinação de sementes. A entrada de dados relacionada ao movimento do motor elétrico foi ajustada para o valor compatível de passos por volta do motor utilizado. A Tabela 1 apresenta os valores e unidade de medidas para cada uma das entradas de dados.

Tabela 1: Dados de entrada, valores e unidades de medida.

Dado de entrada	Valor	Unidade de medida	Observação
Espaçamento	0,45	Metros	Distância entre linhas da semeadora
Germinação	80	Porcentagem	Coeficiente de germinação das sementes
Motor	48	Unidades	Passos necessários para uma volta do motor
Disco	30	Unidades	Sementes dosadas para uma volta completa do motor

3.2. Microcontrolador

Neste projeto o micro controlador escolhido para exercer a função de CPU do sistema embarcado foi o ESP8266. Esse produto é fabricado pela empresa Espressif Systems e já possui comunicação *WiFi* integrada, dispensando o uso de outros periféricos para a conexão com o *Smartphone*.

3. 2.1. Placa NodeMCU ESP8266

O NodeMCU é uma placa de prototipagem com base nos controladores da família ESP8266, que possui todas os benefícios do ESP além de um maior número de saídas e entradas digitais, que serão necessárias para controlar o motor, além de conversor para comunicação USB/Serial e regulador de tensão de 3.3 volts embutido (MORAIS, 2017). O exemplar utilizado pode ser visto na Figura 2.



Figura 2: NodeMCU ESP8266. Fonte: (MORAIS, 2017)

3. 2.2. Driver de motor

O ESP8266 não possui capacidade para lidar com correntes acima de 0,5 miliampéres em suas saídas, e para controlar um motor que consuma uma corrente maior que essa, se faz necessário o uso de um driver capaz de enviar os pulsos com alta corrente para o motor, conforme os pulsos de baixa corrente emitidos pelo micro controlador, funcionando assim como um barramento entre o comando e a carga elétrica.

O driver utilizado foi uma placa de domínio público, também conhecida por módulo controlador para motor de passo, com base no circuito integrado Ponte H L298N, como o visto na Figura 3.

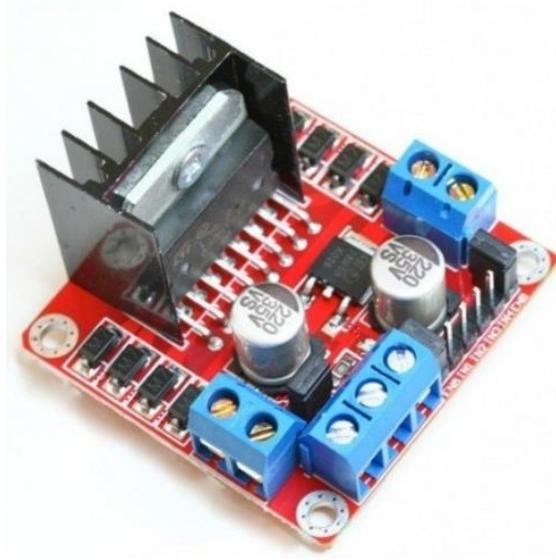


Figura 3: Driver de motor, modelo L298N.

3.2.3. Motor de Passo

O motor selecionado para o acionamento dos discos dosadores será do tipo corrente contínua de passo bipolar. Esses motores possuem duas bobinas e quatro fios, dois para cada bobina, e necessitam que o circuito de controle para que possa reverter o sentido da corrente para acionar as bobinas de forma correta. Porém, o aplicativo desenvolvido pode controlar qualquer motor de passo selecionado para acionar o sistema. Para o protótipo de teste, utilizado na validação deste trabalho, foi utilizado um motor da fabricante Mercury Motor, modelo ST-PM35-15-11C com intervalo entre passos de $7,5^\circ$ que resulta num total de 48 passos por volta e uma velocidade angular máxima de 1600 rotações por minuto.

3.3. Mapas de aplicação

Os arquivos necessários para que o aplicativo faça a interpretação da densidade de semeadura de cada área devem ser gerados em softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para o trabalho aqui apresentado foi utilizado o software de uso livre Quantum Gis (QGis). O aplicativo interpreta, primeiramente, um arquivo que contém linhas com vértices de cada talhão e uma identificação numérica referente a qual talhão pertence esse vértice.

Os polígonos referentes a cada talhão podem ser importados de um mapa de aplicação genérico ou criados manualmente. Após definidos os polígonos, é necessário utilizar a

ferramenta EXTRAIR NÓS para que se gere uma camada com apenas os pontos referentes aos vértices de cada polígono. A camada PONTOS deve ter uma tabela de atributos constituída das colunas ID, X e Y sendo elas a identificação numérica do talhão ao qual pertence, a longitude do ponto em graus decimais e a latitude do ponto em graus decimais respectivamente, Figura 4. Após configurada a tabela de atributos a camada deve ser exportada do software para o computador do usuário em um arquivo no formato de valores separados por vírgula (.CSV).

	A
1	id,x,y
2	0,-54.932880,-22.196652
3	0,-54.932643,-22.197612
4	0,-54.933482,-22.197794
5	0,-54.933755,-22.196755
6	0,-54.932880,-22.196652
7	1,-54.932641,-22.197626
8	1,-54.932471,-22.198179
9	1,-54.933368,-22.198367
10	1,-54.933480,-22.197813
11	1,-54.932641,-22.197626
12	2,-54.933369,-22.198388
13	2,-54.932475,-22.198212
14	2,-54.932174,-22.198929
15	2,-54.933180,-22.199136
16	2,-54.933369,-22.198388

Figura 4: Tabela de atributos da camada com número do talhão e seus vértices

Com base apenas nos vértices de cada talhão e o posicionamento atual do Smartphone, o programa é capaz de afirmar em qual o talhão o controlador se encontra.

Em um segundo arquivo, é relacionado de forma simples o identificador numérico do talhão com a taxa de semeadura desejada.

Após definidas taxas é necessário formatar um arquivo também no formato de valores separados por vírgula (.CSV) com base nas seguintes regras: A primeira linha do arquivo deve conter o cabeçalho com as palavras *shapeid* e Densidade separadas por virgula; Cada linha deve conter apenas o identificador numérico do talhão seguido de sua densidade de semeadura em plantas por hectare e separados por vírgula. A Figura 5 mostra um exemplo de um arquivo como este.

	A
1	shapeid,Densidade
2	0,53333
3	1,71111
4	2,248888

Figura 05: Exemplo arquivo atributos do tipo .csv

3.4. Avaliação do protótipo

Para os testes do protótipo será feito um mapa de aplicação do Software Quantum GIS, e desse mapa serão extraídos dois arquivos, um com os vértices dos polígonos que delimitam áreas com taxas de semeadura semelhantes e um valor de identidade que servirá para nomeá-los, e outro com as taxas de aplicação referentes a cada identidade ou polígono.

Os testes serão feitos para avaliar a capacidade do sistema em reconhecer a taxa de aplicação em sua coordenada atual com base nos mapas de aplicação, e para avaliar se a rotação do motor satisfaz a rotação necessária no sistema dosador para um espaçamento necessário entre plantas.

Para a validação do comportamento do protótipo montado com base nos materiais e métodos citados foi criado no software QGIS três zonas de manejo adjacentes ao Laboratório de Projeto de Máquinas (LAPROMAQ) da Faculdade de Ciências Agrárias no campus da Universidade Federal da Grande Dourados, conforme a Figura 6.

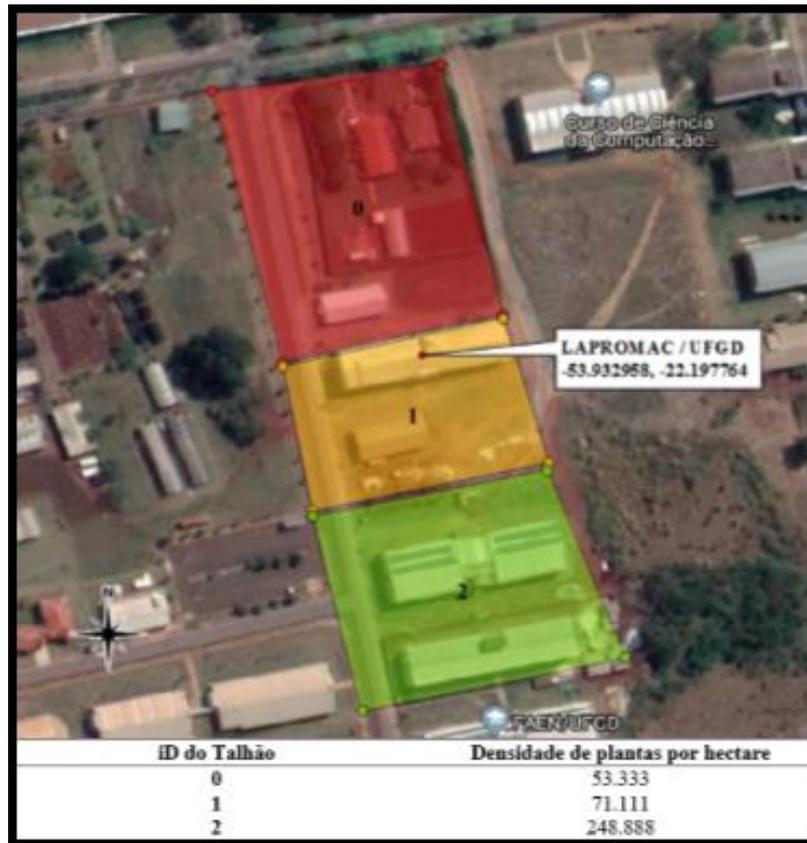


Figura 6: Imagem dos talhões com diferentes dosagens

Após determinar em qual talhão está localizado, qual a taxa pertencente a este talhão e a velocidade de deslocamento o aplicativo envia essa informação para o controlador NodeMCU que, com base nas características de projeto informadas no código, define qual rotação o motor deve manter para que a dosagem requerida seja atendida.

Para a avaliação foram estabelecidas três velocidades de deslocamento, com base em três combinações diferentes da caixa de câmbio do trator New Holland modelo TL 85, na rotação de 1800 rpm do motor. As relações utilizadas foram a segunda, terceira e quarta marcha da segunda gama II, conforme a Tabela 2.

Para a aferição da velocidade, marcou-se uma distância de 30 m e mediu-se o tempo gasto para percorrer o trajeto.

Tabela 2: Velocidade aferida

Gama/marcha	Velocidade (km.h ⁻¹)	Velocidade (m.s ⁻¹)
II/2	4,65	1,29
II/3	6,32	1,75
II/4	8,94	2,48

Os tratamentos realizados no experimento foram montados com base em três velocidades de deslocamento distintas e três densidades de semeadura. A tabela abaixo relaciona os tratamentos com cada uma de suas variações.

Tabela 3: Tratamentos realizados

Velocidade (km.h ⁻¹)	Densidade		
	53333	71111	248888
4,65	T1	T2	T3
6,32	T4	T5	T6
8,94	T7	T8	T9

Para cada um dos tratamentos foram realizadas três repetições, onde cada repetição equivale a uma passagem pelos três talhões sem nenhuma pausa. Portanto na primeira repetição teremos os tratamentos T1, T2 e T3 e assim por diante para os demais tratamentos.

O aparelho utilizado para executar o aplicativo de controle durante a validação foi um smartphone da marca Motorola modelo Moto G6, que conta com sensor de posicionamento embutido e capacidade de conexão com redes sem fio.

No decorrer do experimento, em cada tratamento, foram coletadas amostras do tempo de volta do motor de passo. O tempo de volta do motor será mensurado com o aplicativo Relógio original do sistema Android de um *Smartphone*. Foi acoplada uma haste ao eixo do motor para ser usada como referência visual do tempo de volta conforme a Figura 7.

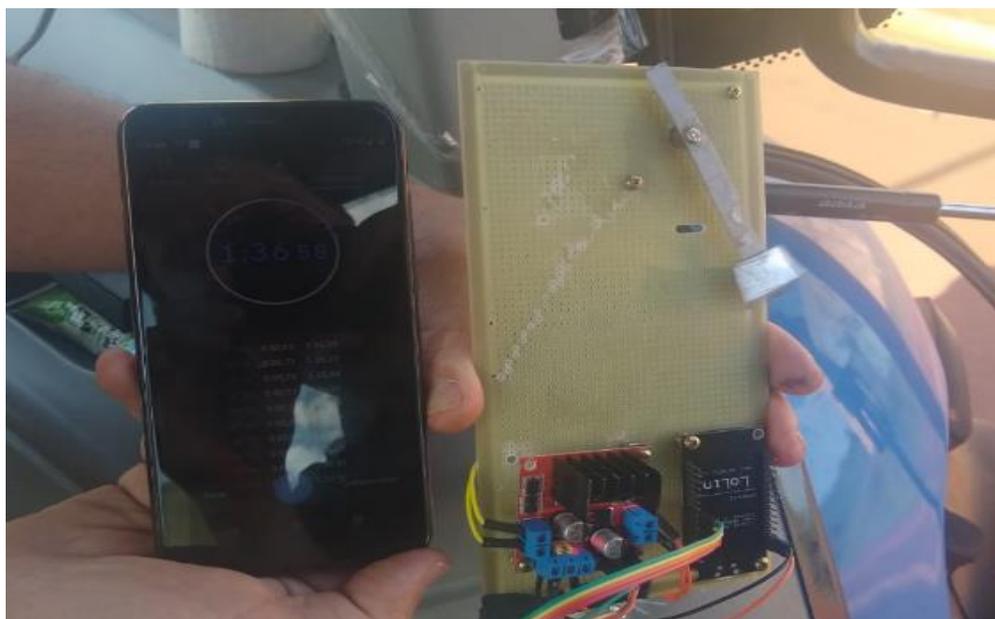


Figura 7: Cronometragem do tempo de volta do motor

Para Arcoverde et al. (2017), as variáveis podem ser avaliadas por meio do controle estatístico do processo (CEP) utilizando-se das cartas de controle de valores individuais, que possuem linhas centrais (média geral), bem como os limites superior (UCL) e inferior de controle (LCL), calculados com base no desvio padrão das variáveis: para LCL, média menos três vezes o desvio padrão, e para UCL, média mais três vezes o desvio padrão.

3.5 Comportamento esperado do sistema

Sabendo-se a densidade de plantas recomendadas por talhão, o espaçamento entre linhas da semeadora e o coeficiente de germinação das sementes calculou-se a quantidade de plantas por metro que cada linha de semeadura deverá conter. Assim, temos os valores de plantas e sementes por metro, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Cálculo da taxa de dosagem do sistema dosador por distância percorrida.

Densidade (plantas/ha)	Densidade (Plantas/m)	Distribuição (Sementes/m)
53333	2,4	3,0
71111	3,2	4,0
248888	11,2	14,0

Com base nos valores de distribuição de sementes por metro calculados na Tabela 3 e as velocidades de deslocamento em metros por segundo apresentadas na Tabela 1, calculou-se os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Rotação ideal do motor para cada tratamento.

Velocidade [km.h⁻¹] (m s⁻¹)	Distribuição (sem/m)	RPM esperada
[4,65] (1.29)	3	7,75
	4	10,33
	14	36,17
[6,32] (1.75)	3	10,53
	4	14,04
	14	49,16
[8,94] (2.48)	3	14,88
	4	19,84
	14	69,40

O valor de RPM esperada pode ser obtido aplicando-se na Fórmula 1 os valores de capacidade unitária do mecanismo dosador, velocidade de deslocamento e a distribuição de sementes por metro para cada zona de aplicação.

$$\text{RPM} = \text{Capacidade}^{-1} * \text{Velocidade (m.s}^{-1}\text{)} * \text{Distribuição (sementes.m}^{-1}\text{)} * 60 \quad (1)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do aplicativo é bastante intuitiva como mostra a tela principal na Figura 8. As características são informadas nos quatro campos de cor cinza localizados no canto superior esquerdo da imagem. Após informados os valores o botão SET deve ser pressionado para que o aplicativo os envie ao controlador através da rede sem fio previamente conectada.

Os painéis GNSS e Arquivos permanecem na cor verde para indicar que o sensor GNSS do Smartphone possui localização e que os arquivos dos mapas de aplicação foram encontrados, respectivamente. O painel OK quando verde indica que há comunicação entre o smartphone e a placa ESP8266 do sistema de controle do motor de passo.



Figura 8: Interface do aplicativo

4.1 Avaliação da velocidade obtida pelo GPS

A Tabela 5 foi preenchida com os dados de três leituras de velocidade no campo “Velocidade” no visor do aplicativo em quilômetros por hora no decorrer de cada repetição.

Esses valores foram coletados pois já era esperado previamente que a velocidade informada pelo sistema de navegação, que é a velocidade considerada nos cálculos do controlador, pudesse apresentar diferença da velocidade estabelecida por marcha, bem como poderia ser usada como fator de ponderação em casos onde a aceleração do trator pudesse variar dentro de um tratamento devido a fatores mecânicos.

Tabela 6. Dados das amostras de velocidade (km/h) fornecidas por GPS.

	Gama/marcha								
	II/2			II/3			II/4		
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Médias	4,67	4,65	4,60	6,81	6,96	6,85	9,45	9,74	9,61
Média geral	4,61			6,88			9,60		

As variações de velocidade podem ter sido ocasionadas pela dificuldade em manter uniforme a rotação do trator, a qualidade do receptor GNSS do celular e ou, fatores externos como o multicaminhamento do sinal provocado pelas construções próximas.

4.2 Avaliação do controle da rotação do disco dosador

Avaliando os dados de velocidade percebe-se diferenças entre as velocidades determinadas com base nas coordenadas GNSS obtidas pelo smartphone, tabela 06 e os valores das velocidades calibradas. Entretanto, não é possível dizer se a diferença entre as velocidades ocorreu devido a imprecisão da determinação da velocidade pelo GNSS do smartphone ou, pela velocidade de deslocamento do trator ser diferente daquela previamente calibrada, dada a dificuldade de manter a rotação do motor idêntica a rotação quando da calibração.

Na tabela 7 estão representados os valores obtidos para a zona de aplicação referente a 53.333 plantas por hectare. É possível verificar que para todos os tratamentos aplicados, a rotação do disco dosador, em média, ficou próxima do esperado considerando a velocidade obtida pelo sensor GNSS do aparelho.

Tabela 7 - Valores esperados da rotação do disco dosador para 53.333 plantas.ha⁻¹

Gama/marcha	Calibrada	GNSS	obtida
II/2	7,75 rpm	7,68 rpm	7,66 rpm
II/3	10,53 rpm	11,46 rpm	11,19 rpm
II/4	14,90 rpm	16 rpm	16,2 rpm

A capacidade do sistema em controlar a rotação do motor para as diferentes velocidades de deslocamentos estão representados nas cartas de controle abaixo.

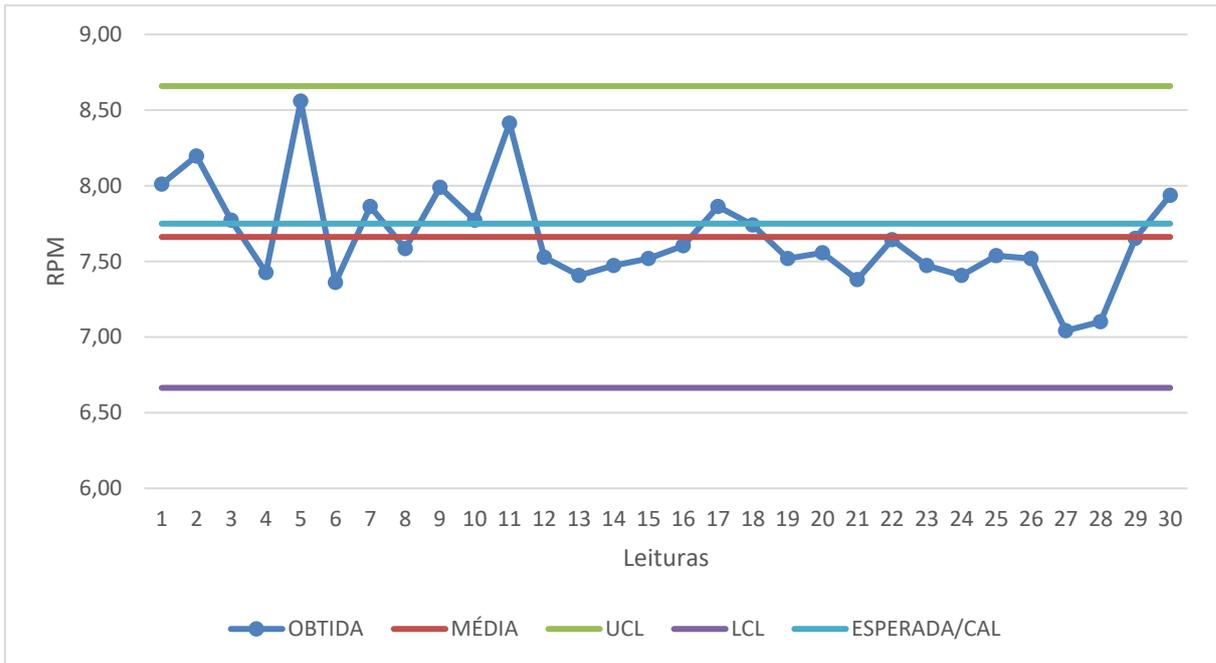


Figura 9 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 4,65 km h⁻¹ e 53.333 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

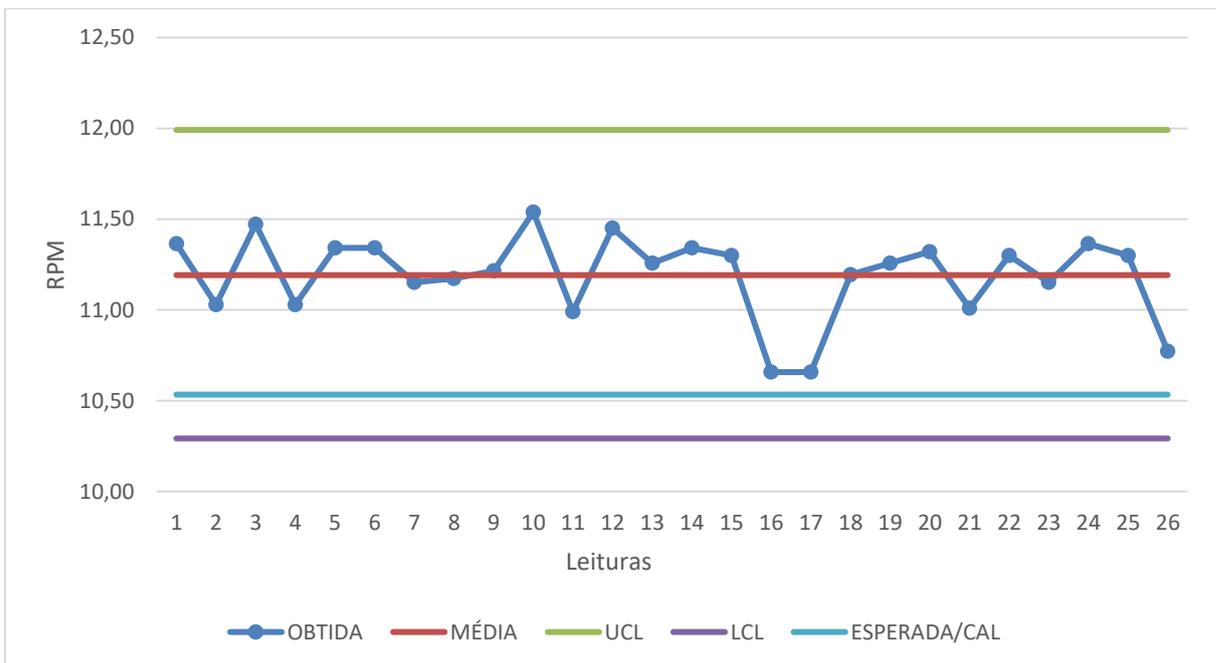


Figura 10 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 6,32 km h⁻¹ e 53.333 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

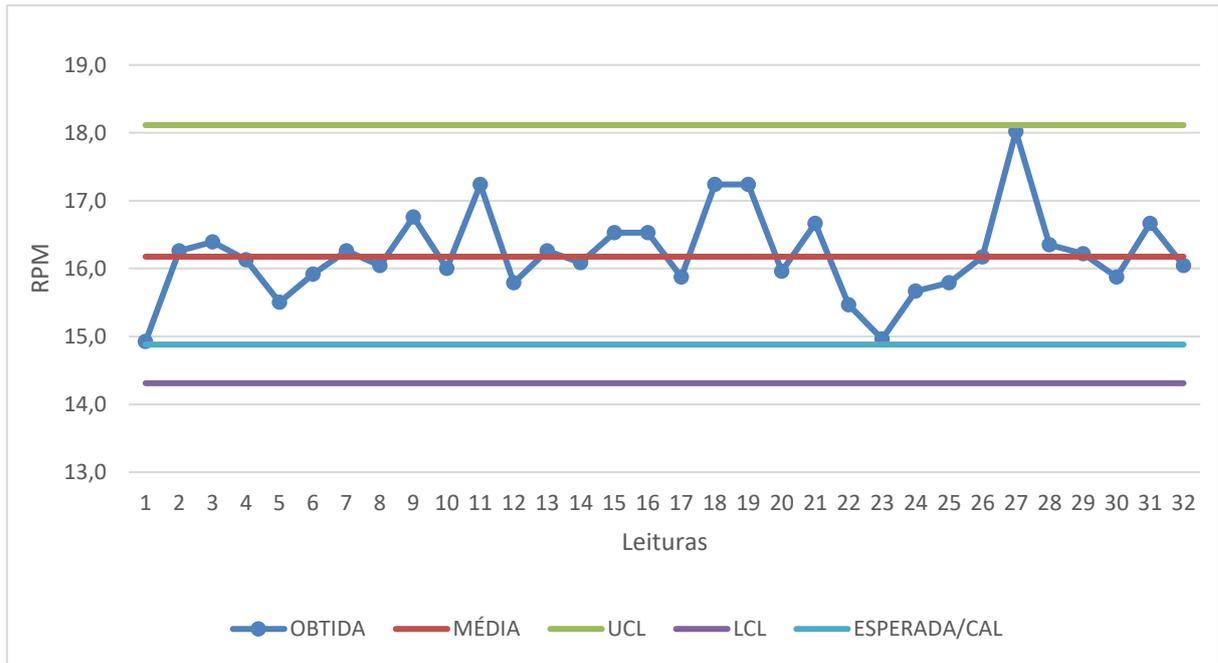


Figura 11 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 8,94 km h⁻¹ e 53.333 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

Quanto a variabilidade dos valores individuais para a densidade de 53.333 plantas por hectare verifica-se que nenhum dos valores de rotação do disco dosador ultrapassou os valores limites de UCL e LCL em nenhuma das velocidades.

Na tabela 8 estão representados os valores obtidos para a zona de aplicação referente a 71.111 plantas por hectare. É possível verificar que, para todas as velocidades testadas o valor de RPM média obtida ficou próxima aos valores esperados com base na velocidade calibrada e obtida por sensor. Isso ocorreu devido a proximidade dos valores entre a velocidade calibrada e a obtida.

Tabela 8 - Valores esperados da rotação do disco dosador para 71.111 plantas.ha⁻¹

Gama/marcha	Calibrada	GNSS	Obtida
II/2	10,33 rpm	10,24 rpm	10,59 rpm
II/3	14,04 rpm	15,29 rpm	14,96 rpm
II/4	19,87 rom	21,3 rpm	21,9 rpm

Quando o sistema é avaliado comparando-se a rotação esperada do disco dosador para a velocidade determinada pelo GNSS, com a realmente obtida, nota-se que a rotação média obtida com base nos valores individuais é mais próxima da rotação esperada para a velocidade do sensor.

A capacidade do sistema de se ajustar a diferentes taxas de semente e velocidades de deslocamentos estão representados nas cartas de controle abaixo.

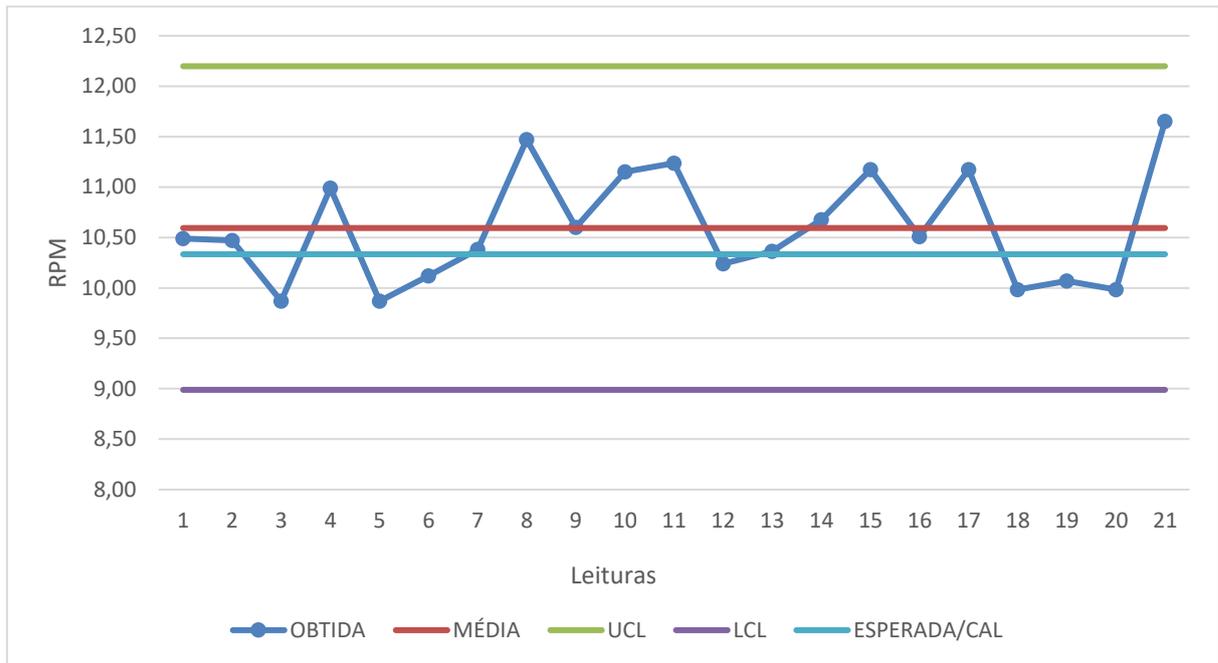


Figura 12 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 4,65 km h⁻¹ e 71.111 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

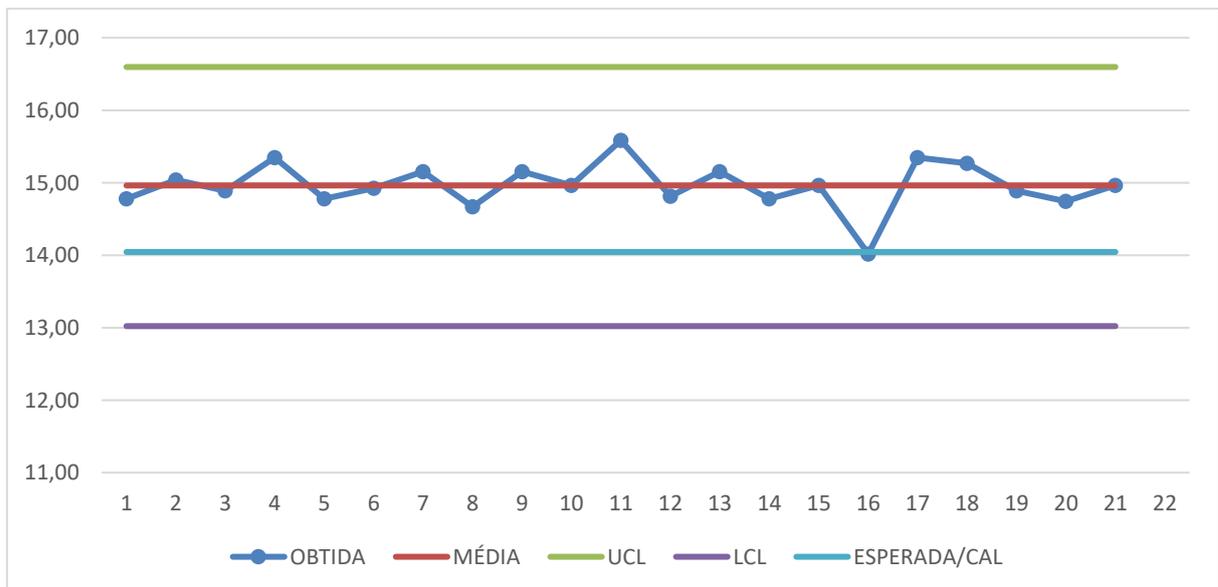


Figura 13 - Cartas de controle da rotação para a velocidade de 6,32 km h⁻¹ e 71.111 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

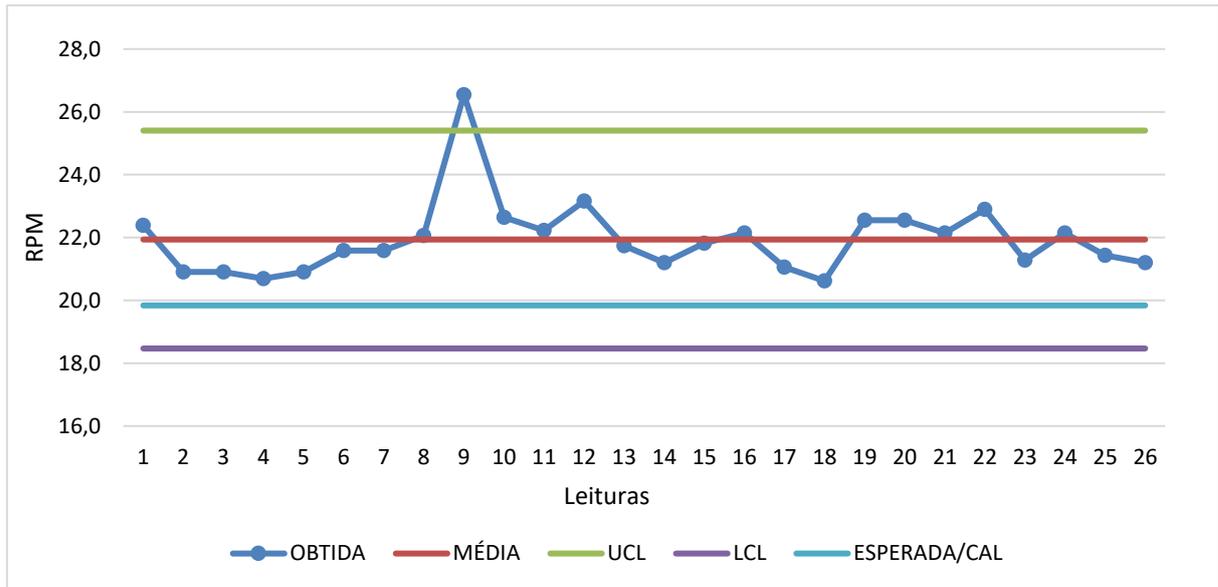


Figura 14 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 8,94 km h⁻¹ e 71.111 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

Quanto a variabilidade dos valores individuais verifica-se que apenas para a maior velocidade um dos valores de rotação do disco dosador ultrapassou os valores limites de UCL.

Na tabela 9 estão representados os valores obtidos para as velocidades calibradas e calculadas pelas coordenadas GNSS do smartphone. É possível verificar que, para a zona de aplicação referente a 288.888 plantas por hectare a rotação do disco dosador, em média, ficou mais próxima do esperado considerando a velocidade previamente calibrada de 8,94 km h⁻¹ exceto para a combinação II/4. A combinação II/4 foi a que apresentou maior diferença entre a velocidade calibrada e a obtida por sensor, bem como a maior instabilidade da rotação do motor do trator no decorrer da validação prática.

Tabela 9 - Valores esperados da rotação do disco dosador para 248.888 plantas.ha⁻¹

Gama/marcha	Calibrada	GNSS	obtida
II/2	36,17 rpm	35,85 rpm	36,53 rpm
II/3	49,16 rpm	53,51 rpm	49,35 rpm
II/4	69,53 rpm	74,7 rpm	75,6 rpm

Devido a rotação relativamente alta do motor, a quantidade de leituras, em média, foi maior do que a dos demais tratamentos, isso implica em uma maior influência do erro das amostras coletadas com o cronômetro.

A capacidade do sistema de se ajustar a diferentes taxas de semente e velocidades de deslocamentos estão representados nas cartas de controle abaixo.

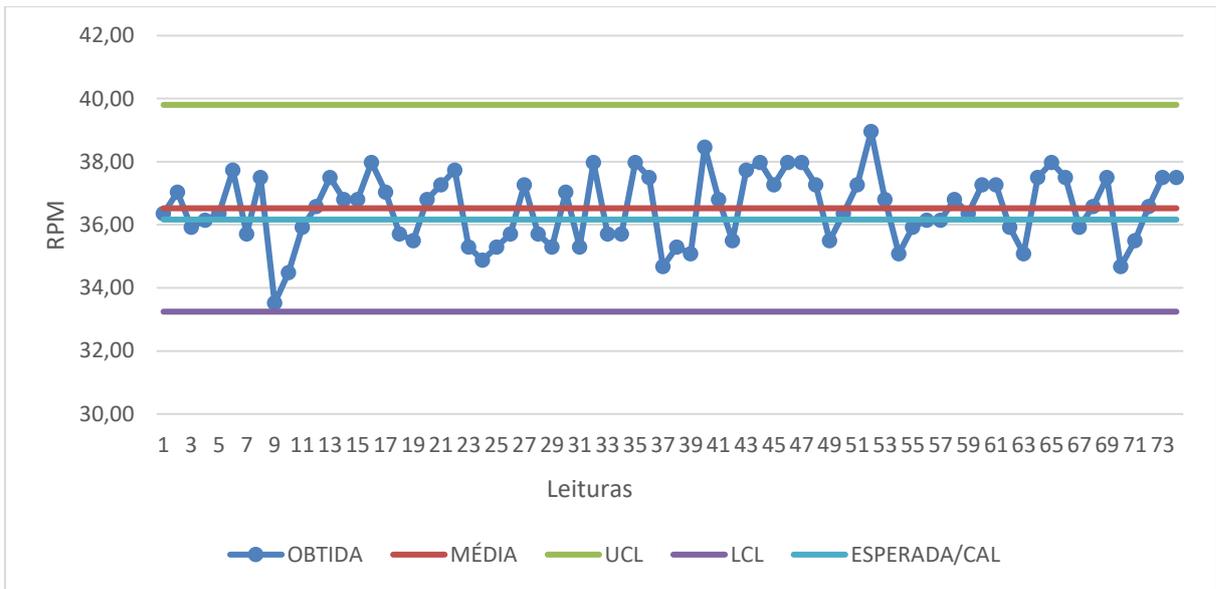


Figura 16 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 4,65 km h⁻¹ e 248.888 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

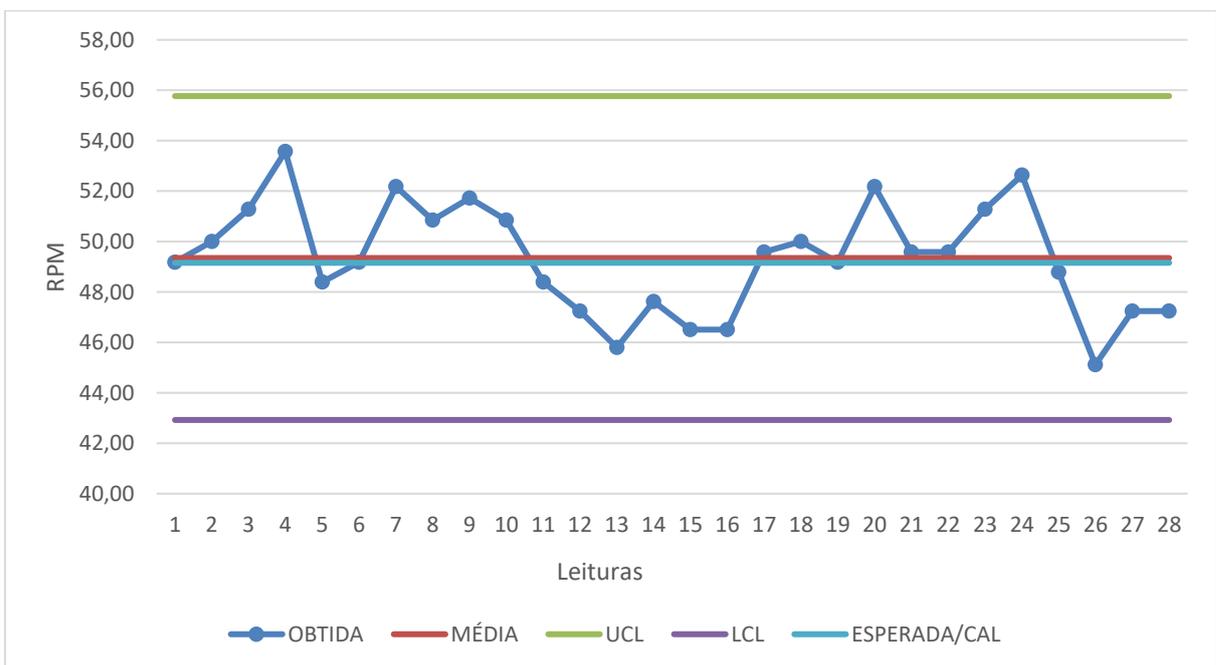


Figura 14 - Carta de controle da rotação para a velocidade de 6,32 km h⁻¹ e 248.888 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

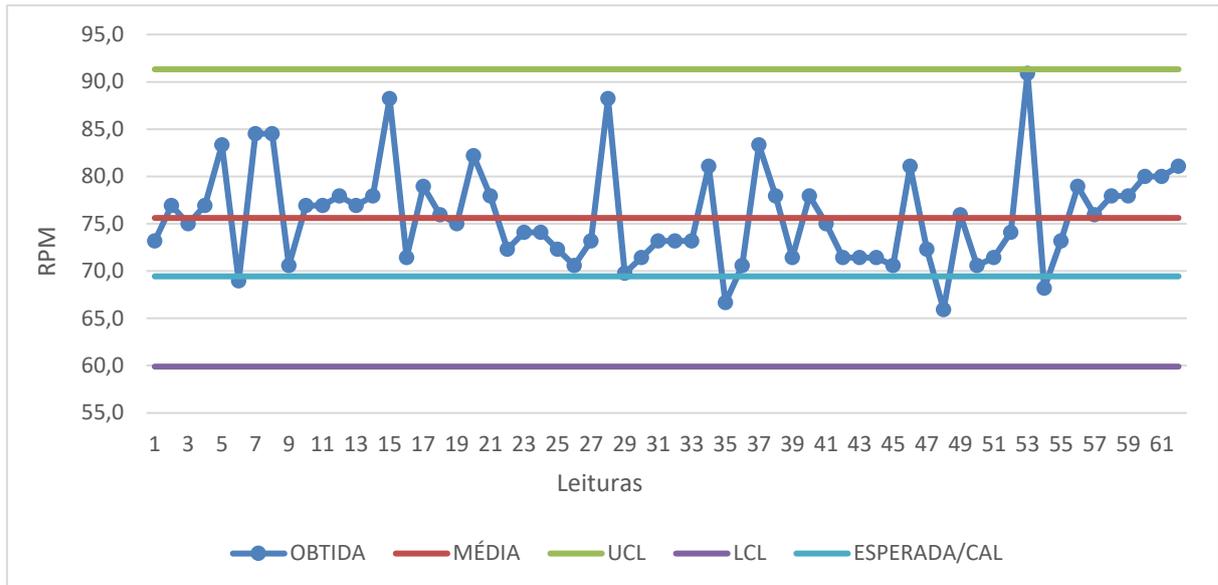


Figura 11 - Carta de controle da rotação para a velocidade de $8,94 \text{ km h}^{-1}$ e 248.888 plantas por hectare. Legenda: (UCL) limite superior de controle; (LCL) limite inferior de controle.

Quanto a variabilidade dos valores individuais verifica-se que nenhum dos valores de rotação do disco dosador para essa densidade de semeadura ultrapassou os valores limites de UCL e LCL.

Substituindo-se na Fórmula 1 o valor de RPM obtida para cada velocidade, podem ser calculados os valores teóricos da distribuição de sementes que resultaria de cada tratamento, bem como o erro relativo quando comparada a distribuição ideal. Os valores de distribuição de sementes e erros relativos de todos os tratamentos realizados estão expressos na Tabela 10.

Tabela 10. Distribuição teórica de sementes para as rotações médias obtidas.

Tratamento	Ideal (sem.m ⁻¹)	GPS (m.s ⁻¹)	RPM obtida	Calibrada (sem.m ⁻¹)	GPS (sem.m ⁻¹)	Erro Calibrada (%)	Erro GPS (%)
T1	3,00	1,28	7.54	2,92	2,95	-2,65	-1,85
T2	4,00	1,28	10.34	4,01	4,04	0,19	0,97
T3	14,00	1,28	36.42	14,12	14,23	0,82	1,60
T4	3,00	1,91	10.96	3,11	2,87	3,65	-4,55
T5	4,00	1,91	14.53	4,13	3,80	3,10	-5,15
T6	14,00	1,91	48.23	13,70	12,63	-2,18	-10,88
T7	3,00	2,67	15.58	3,14	2,92	4,49	-2,68
T8	4,00	2,67	21.30	4,29	3,99	6,85	-0,14
T9	14,00	2,67	73.71	14,86	13,82	5,79	-1,29

Verificou-se que, em média, o comportamento do sistema embarcado no que se refere a sua capacidade de reconhecer o posicionamento em tempo real dentro de um dos talhões que compõem o mapa de aplicação e conseqüentemente a leitura da densidade de plantas atribuída a este talhão se aproximaram das rotações esperadas especialmente nas velocidades e taxas mais baixas.

Os valores negativos na tabela indicam uma dosagem abaixo da esperada e os valores positivos acima da esperada. Os percentuais de erro variaram de 1,6% a -10,9% em relação ao esperado, com média de 2,6 e desvio padrão de 3,6, valor elevado de desvio padrão provocado pelo valor de erro de 10,9% do tratamento T6, já que os demais ficaram abaixo de 5%.

5. CONCLUSÃO

O sistema embarcado realizou corretamente a tarefa de reconhecimento da variável densidade de plantio para cada talhão estabelecido.

O controle da velocidade de rotação do sistema dosador se mostrou funcional no comportamento geral mesmo na análise da média geral.

Apenas o tratamento T6 apresentou erro relativo na dosagem superior a dez por cento, isso quando considerada a média de velocidade obtida pelo GPS.

A diferença entre velocidade calibrada e velocidade fornecida por GNSS aumenta conforme aumenta-se a velocidade.

O modelo proposto pode ser adaptado a qualquer semeadora, desde que sejam informados os dados de entrada necessários.

Os menores erros ocorreram nos tratamentos com menores taxas e velocidades de deslocamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, B. et al; Domocontrol. Trabalho de conclusão de curso (Telecomunicações) – Centro estadual de educação tecnológica, São Caetano do Sul, 2013.
- ARCOVERDE, S.; SOUZA, C.; CORTEZ, J.; MACIAK P.; NAGAHAMA, H. Qualidade e variabilidade espacial na semeadura do milho segunda safra. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.35, n. 4, p386-392, 2017.
- MIALHE, L.G.; Máquinas agrícolas para plantio. Campinas, SP: Millennium Editora, 2012
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. Agricultura de precisão. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015.
- MORAIS, J. O que é ESP8266. **Vida de Silício**, 2017. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-esp8266-nodemcu/> >. Acesso em: 10 out 2019.
- PORTELLA, J.A. et al; Semeadora de precisão com controle eletrônico de performance. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 44p. (Embrapa Trigo. Documentos, 9).
- REIS, A.V. dos; FORCELLINI; Análise da precisão funcional da semeadora. 2000 *Tecnologia-v-6-n2-p-91-104*
- TOURINO, M.C.C. et al; Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, ago. 2002;
- VARGAS, R.S. Sistemas embarcados: Acoplamento do soft-core plasma ao barramento opb de um powerpc 405. Monografia (Ciências da computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.