

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Marcelo Martins

AUTOMAÇÃO EM SEMEADORA DE PRECISÃO COM  
APLICAÇÃO DE TAXA VARIÁVEL E DESLIGAMENTO  
LINHA A LINHA

Passo Fundo

2017

Marcelo Martins

AUTOMAÇÃO EM SEMEADORA DE PRECISÃO COM  
APLICAÇÃO DE TAXA VARIÁVEL E DESLIGAMENTO  
LINHA A LINHA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Joan Michel Levandoski.

Passo Fundo

2017

Marcelo Martins

**Automação em semeadora de precisão com aplicação de taxa variável e desligamento  
linha a linha**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Joan Michel Levandoski.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Orientador Joan Michel Levandoski - UPF

---

Prof. Me. Amauri Fagundes Balotin - UPF

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Ramirez Behaine - UPF

Dedico este trabalho a minha família e minha namorada, os quais acompanharam e me apoiaram de alguma forma nesta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que acreditaram no meu sonho de um dia ser um Engenheiro. Não somente na carreira estudantil, mas também na carreira profissional, pessoas importantes me fizeram valorizar ainda mais esta profissão, cito dois Engenheiros Eletricistas com quem tive o prazer de trabalhar, ou melhor, aprender. Eduardo Augusto Tognon, me proporcionou o primeiro contato com a engenharia elétrica, em sua empresa, ainda como menor aprendiz e Ademar Ari Mello que me ensinou muito por mais de 3 anos, como colega de trabalho. Como aluno, ressalto a amizade e companheirismo dos meus colegas, os quais foram parceiros para toda hora, sempre prontos a ajudar. Também devo agradecer aos professores que sem eles esse sonho não se tornaria realidade, com destaque ao meu orientador Mestre Joan, o qual me deu grande suporte nesta empreitada. E um agradecimento mais que especial aos meus pais Delmar e Marlene, meus irmãos Juliana e Eduardo, minha namorada Daniele, que vivenciaram meus dias debruçado sobre a mesa da sala de casa em busca do meu objetivo.

“Que a força esteja com você”.

Star Wars

## RESUMO

A agricultura de precisão domina o modo de atuação nas lavouras. Com o sistema de plantio direto, o maquinário vem se modernizando, inicialmente com sistemas de manejo mecanizados e, atualmente, a tecnologia que fundamenta a modernização é automação de processos do campo, como o da semeadura. Nas semeadoras mecânicas, apesar da robustez, sua estrutura requer devidos cuidados com relação a transmissão, a lubrificação, o alinhamento de correntes e a regulação pré-plantio. E com a tecnologia embarcada nesse implemento, executada através do sensoriamento das variáveis fundamentais ao funcionamento e pelo acionamento individual dos dosadores de semente, consegue-se eliminar praticamente todos esses processos importunos. A partir destas melhorias propostas e aliadas ao conceito essencial da agricultura de precisão, a automação da semeadora realiza aplicação de taxa variável, desligamento linha a linha, propiciando ao agricultor maior produtividade e menor desperdício de insumos, também, a funcionalidade que um processo autônomo traz, nesse caso, com a facilidade de regulação, de prestar manutenção, cumprindo-os com menor número de pessoas. Ao final da operação, será gerado um relatório contendo dados estatísticos e um mapa de semeadura. Toda automação será gerenciada por um microcontrolador.

Palavras-Chave: Agricultura de precisão, Semeadoras, Automação, Microcontrolador, Sensores, Motores elétricos a corrente contínua.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Semeadora de fluxo contínuo	18
Figura 2 – Semeadora de precisão	19
Figura 3 – Dosador de sementes de disco horizontal	19
Figura 4 – Ciclo da agricultura de precisão	21
Figura 5 – Mapa de produtividade	22
Quadro 1 – Sete camadas do modelo OSI	26
Figura 6 – Mensagem CAN	27
Figura 7 – Níveis de tensão conforme a norma ISO 11783	27
Quadro 2 – Partes da norma ISO 11783	28
Figura 8 – Exemplo de aplicação da ISO 11783	29
Figura 9 – Estrutura GNSS	30
Figura 10 – Trilateração 3D	31
Quadro 3 – Especificações de alguns acelerômetros	32
Quadro 4 – Especificações de alguns giroscópios	33
Figura 11 – Funcionamento dos encoders	34
Figura 12 – Do funcionamento simplificado do sensor Hall	35
Figura 13 – Motor a CC de ímãs permanentes com escovas	37
Figura 14 – Controle servo motor	40
Figura 15 – Sistema dosador de semente de disco horizontal a ser automatizado	41

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Taxa de urbanização da população brasileira	16
Tabela 2 – Vendas de máquinas agrícolas e rodoviárias	17

## LISTA DE ABREVIATURAS

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

CBAP – Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão

SIG – Sistema de Informação Geográfica

CAN – *Controller Area Network*

PWM – *Pulse Width Modulation*

OSI – *Open Systems Interconnection*

TDI – Transdutores Digitais Inteligentes

ISO – *International Organization for Standardization*

ECU – *Electronic Control Unit*

GPS – *Global Positioning System*

SVN – *Space Vehicle Number*

PRN – *PseudoRandom-Noise*

SVID – *Space Vehicle Identification*

C/A – *Coarse/Acquisition*

P – *Precise or Protected*

MEMS – *Micro Electro Mechanical Systems*

ZRO – Taxa zero de saída

CC – Corrente Contínua

CNC – Controle Numérico Computadorizado

DC – *Direct current*

AC – Corrente alternada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 CONTEXTO .....	13
1.2 OBJETIVO GERAL .....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1 MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA .....	16
<b>2.1.1 Semeadoras</b> .....	<b>17</b>
2.1.1.1 <i>Semeadoras de fluxo contínuo</i> .....	17
2.1.1.2 <i>Semeadoras de precisão</i> .....	18
<b>2.1.2 Plantio direto</b> .....	<b>20</b>
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO .....	20
<b>2.2.1 Mapas georreferenciados</b> .....	<b>22</b>
2.2.1.1 <i>Geoestatística</i> .....	23
<b>2.2.2 Tecnologia na agricultura de precisão</b> .....	<b>23</b>
2.3 MICROCONTROLADORES .....	24
<b>2.3.1 Comunicação serial</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3.2 Protocolo CAN</b> .....	<b>25</b>
2.3.2.1 <i>Norma ISO 11783</i> .....	28
2.4 SENSORES .....	29
<b>2.4.1 GNSS</b> .....	<b>29</b>
2.4.1.1 <i>GPS</i> .....	30
<b>2.4.2 Acelerômetro</b> .....	<b>31</b>
<b>2.4.3 Giroscópio</b> .....	<b>32</b>

<b>2.4.4 Encoder</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4.5 Sensor fotoelétrico</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4.6 Sensor Hall</b> .....	<b>35</b>
<b>2.5 MOTORES ELÉTRICOS A CORRENTE CONTÍNUA</b> .....	<b>36</b>
<b>2.5.1 Motor a CC de ímãs permanentes com escovas</b> .....	<b>36</b>
<b>2.5.2 Motor a CC de ímãs permanentes sem escovas (Brushless)</b> .....	<b>38</b>
<b>2.5.3 Motor de passo</b> .....	<b>39</b>
<b>2.5.4 Servo motor CC</b> .....	<b>39</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1 ESTRUTURA MECÂNICA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2 HARDWARE</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3 FIRMWARE</b> .....	<b>44</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A – DIAGRAMA DE BLOCOS DO HARWARE</b> .....	<b>49</b>
<b>APÊNDICE B – DIAGRAMA DE BLOCOS DO FIRMWARE</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem transformado diversos sistemas de produção, os quais eram totalmente mecanizados e com a necessidade da intervenção humana. Na agricultura, esta metodologia de trabalho também está sendo alterada. Em conjunto com práticas da agricultura de precisão, sistemas automatizados entram nesse processo para facilitar a vida do agricultor no campo e, não somente, aumentar a produtividade, integrando a isso, a redução no desperdício do plantio.

### 1.1 CONTEXTO

A prática da agricultura de precisão tem papel importante na evolução da produção de grãos nas últimas décadas. O manejo adequado do solo, a aplicação correta de insumos e, principalmente, a tecnologia tem fundamentado esse crescimento. Fato que define o método de trabalho aplicado à agricultura, ou seja, a mecanização domina as lavouras do país (ALVES; SOUZA; GOMES, 2013). Aliada a mecanização, aplica-se a automação, com destaque no plantio, a qual agrega informações e moderniza operações no ciclo de agricultura de precisão. As máquinas que fazem a aplicação são a semeadora e a plantadora. Diferença entre os implementos é basicamente que uma realiza a semeadura, operação que introduz no solo sementes de plantas, e a outra o plantio, operação que introduz no solo partes vegetais de plantas (SILVEIRA, 2001).

Na semeadora, essencial é o sistema de dosagem que pode ser mecânico ou pneumático, porém, independente do tipo do sistema, a automação está presente nesse mecanismo, substituindo o acionamento mecânico por eletro-hidráulico ou somente elétrico. Dessa forma, abrem-se inúmeras possibilidades de atuação, como por exemplo, a aplicação da semeadura a taxas variadas, sendo isso possível pela integração de dados contidos em mapas, os quais são georreferenciados e, por sua vez, esse é exequível através do *Global Navigation Satellite System* (GNSS). E o refinamento da lavoura, com relação a semeadora, acontece através do desligamento automático de seções ou até mesmo linha a linha da semeadora, os quais são executados por embreagens ou por motores elétricos. Esse refinamento proporciona a redução no desperdício de sementes, evitando assim a sobreposição de plantas.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo desenvolver automação em uma semeadora de precisão. Essa automação terá dois pontos principais, o primeiro será a aplicação de taxa variável e o segundo o desligamento linha a linha, ambos terão em comum a referência de um GNSS.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Desenvolver em parceria com a empresa Semeato S/A a estrutura mecânica do protótipo de simulação de uma semeadora de precisão com quatro linhas;
- b) Desenvolver toda a automação do acionamento do sistema mecânico de dosagem de semente, incluindo sensoriamento do implemento e controle dos motores;
- c) Desenvolver *firmware* que realize controle dos motores, leitura dos sensores, comunicação com GNSS, interpretação de mapas georreferenciados, geração de relatório de plantio. E que contenha também, uma interface amigável com o operador;
- d) Realizar testes estáticos através de simuladores e com isso realizado executar testes dinâmicos, sem simuladores, que comprovem o funcionamento.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A busca de maior produtividade na agricultura é um anseio do produtor, a partir da década de 1970, houve o início da mecanização e a produção começou a crescer, sendo assim o primeiro estágio da tecnologia aplicada na agricultura. Porém, somente com a mecanização, a taxa de produtividade se estabilizou, e assim, necessitava-se de mais área para haver mais produção. O segundo estágio dessa evolução é considerado a automação em implementos agrícolas (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008). Aplicando essa nova tecnologia, a taxa de produtividade se destacou com índices jamais obtidos. Com isso, o agricultor não somente estará produzindo mais, mas cuidando melhor do seu terreno, pois com a prática da taxa variada, na região onde o terreno é menos fértil, deposita-se menos sementes, ou aplica-se algum corretivo com nutrientes e, em razão disso, resulta também em menor desperdício, refletindo na produtividade. Outro benefício obtido com esse processo é a facilidade de execução da semeadura, pois se reduz, em comparação de um sistema mecânico, os pontos de lubrificação, os conjuntos de engrenagens da transmissão, a qual realiza o acionamento dos

dosadores de semente, as correntes, que necessitam de cuidados como lubrificação e correto alinhamento por exemplo, e o tempo para regulagem do implemento. Ainda a independência que a semeadora apresenta com relação ao trator, pois necessitará a força para o arrasto, um comando hidráulico para o levante do implemento e a alimentação da bateria. Também, a confiabilidade que a automação traz, já que torna o procedimento totalmente monitorado.

Tendo em vista o êxodo rural que houve na década passada, tornou-se ainda mais necessário buscar alternativas para suprir essa demanda. Solução encontrada, novamente, com a automação de processos no manejo, não somente na semeadura, mas também na adubação e na colheita. Porém, alguns equipamentos ainda são de difícil acesso para os pequenos e médios agricultores, pois tem um custo elevado para aplicação. Com isso, este trabalho visa aplicar essas melhorias para a agricultura de precisão e tornar viável a aquisição aos produtores com menor poder aquisitivo.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho se divide em quatro capítulos, o qual realiza a fundamentação teórica em torno do tema apresentado. No começo do trabalho apresentará o pré-textual. O capítulo inicial será feito a introdução do tema, contendo contexto, objetivo geral, objetivos específicos e justificativas.

No segundo capítulo se realizará a revisão da literatura dos assuntos que envolvem o tema. Nesse engloba o assunto geral, o qual se enquadra o tema, que é mecanização agrícola e agricultura de precisão. Procedendo, informações sobre controladores, em especial microcontroladores, sensores de diversos modelos como GNSS, encoder, fotoelétrico, efeito *hall*, acelerômetro e giroscópio. E finalizando, esse apresentará revisão sobre motores elétricos a corrente contínua.

No terceiro capítulo, será apresentado o desenvolvimento do projeto, inicialmente se mostrará as fases do projeto, subsequente, detalhes pertinentes a estrutura mecânica e especificações do projeto mecânico. Também sobre a parte elétrica e eletrônica, será especificado o *hardware*, envolvendo todos os seus componentes, relacionando-os em um diagrama de blocos. No *firmware*, será especificado a necessidade que o projeto exigirá, incluindo um diagrama que represente o seu funcionamento. No Quarto e último capítulo, será apresentado as considerações parciais referente ao projeto até então desenvolvido.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados assuntos pertinentes ao tema do projeto, os quais consistem no embasamento teórico ao trabalho. Divididas em tópicos principais, como revisão sobre o assunto principal, mecanização agrícola e agricultura de precisão, e componentes fundamentais como controlador, sensores e motores elétricos.

### 2.1 MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA

Após a Segunda Guerra Mundial, a economia brasileira se focou totalmente na industrialização, conhecida como *draft industrialization*, assim, outros setores tiveram menor destaque. Por esse fato, houve aumento no êxodo rural, conforme mostra a Tabela 1, nota-se que a partir desse período teve uma aceleração da urbanização, sendo as regiões Norte e Nordeste as principais contribuintes. Com isso, o êxodo e a industrialização tiveram grande importância à transformação da agricultura, tendo como base a tecnologia e a ciência (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008).

Tabela 1 – Taxa de urbanização da população brasileira

<b>Anos dos censos</b>	<b>%</b>
1940	31,2
1950	36,2
1960	44,7
1970	55,9
1980	67,6
1990	75,6
2000	81,2
2010 (previsão)	86,8

Fonte: Adaptado de <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122> (12/10/2017)

Essa transformação foi movimentada por ações de políticas públicas que alavancaram a modernização do campo. Essas medidas foram o crédito ao agricultor, a extensão rural e as pesquisas agropecuárias. Com relação a extensão rural, notou-se que aliando a isso, havendo o incremento da produtividade da terra e o uso de máquinas agrícolas haveria um aumento na

produção. Fato representado pela Tabela 2, a qual informa o aumento nas vendas do maquinário agrícola e rodoviário a partir dos anos 1970 (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008).

Tabela 2 – Vendas de máquinas agrícolas e rodoviárias

<b>Período das vendas</b>	<b>Número total de vendas no período</b>	<b>Média de vendas por ano no período</b>
1960 - 1969	91759	764,658333
1970 – 1979	505363	4211,358333
1980 – 1989	468274	3902,283333
1990 – 1999	245563	2046,358333
2000 – 2009	381953	3182,941667
2010 – 09/2017	480979	5171,817204

Fonte: Adaptado de <http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html> (12/10/2017)

### **2.1.1 Semeadoras**

Maquinário agrícola que tem por objetivo semear plantar de maneira uniforme, assegurar o espaçamento adequando entre as linhas do plantio e a profundidade da semente no solo. Essas podem distribuir sementes das seguintes maneiras: depositando uma massa determinada de semente no sulco, chamada de semeadora de fluxo contínuo e depositando a semente uma a uma no terreno de maneira precisa, chamada de semeadora de precisão (PORTELLA, 2001).

#### *2.1.1.1 Semeadoras de fluxo contínuo*

O implemento realiza a semeadura de forma contínua devido a sua maneira de distribuição de sementes. Cereais de inverno como trigo, aveia, centeio etc., e também sementes miúdas como pastagens, arroz e alguns espécies de leguminosas, necessitam que as plantas sejam semeadas de maneira próxima uma da outra, assim, esta semeadora atende as necessidades dessa aplicação. São caracterizadas por apresentar espaçamento entre linhas de 15 a 35 cm, reservatório de sementes, mecanismos dosadores de sementes, sulcadores, dispositivo para transmissão, entre outros. Semeadora representada na Figura 1 (SILVEIRA, 2001).

Figura 1 – Semeadora de fluxo contínuo



Fonte: Adaptado de <http://www.semeato.com.br/pt-br/produtos/tdng#conteudo> (12/10/2017)

### 2.1.1.2 Semeadoras de precisão

A qualificação semeadora de precisão é aplicada devida a maneira de como são depositadas as sementes no solo. Como destaca Silveira (2001),

A denominação “ de precisão” relaciona-se com o fato de o mecanismo dosador ter capacidade para apanhar uma semente ou um grupo delas por vez, e transferi-la (s) para o mecanismo de deposição. O objetivo é conseguir uma distribuição uniforme, em toda a superfície do terreno, numa mesma profundidade. (SILVEIRA, 2001, p. 105).

As sementes de grão graúdo como soja, milho, feijão, algodão, sorgo entre outras, necessitam deste implemento para serem semeadas. Essas semeadoras apresentam por característica espaçamento entre linha de 35 a 90 cm, reservatório de sementes, mecanismos dosadores de sementes, podendo destacar, os quais realizam a dosagem mecânica, como de disco horizontal e dedos preensores, e os que realizam por dosagem pneumática, como os dosadores pneumáticos, ainda oferecem sulcadores, dispositivo para transmissão, entre outros. Semeadora representada na Figura 2 (PORTELLA, 2001).

Figura 2 – Semeadora de precisão



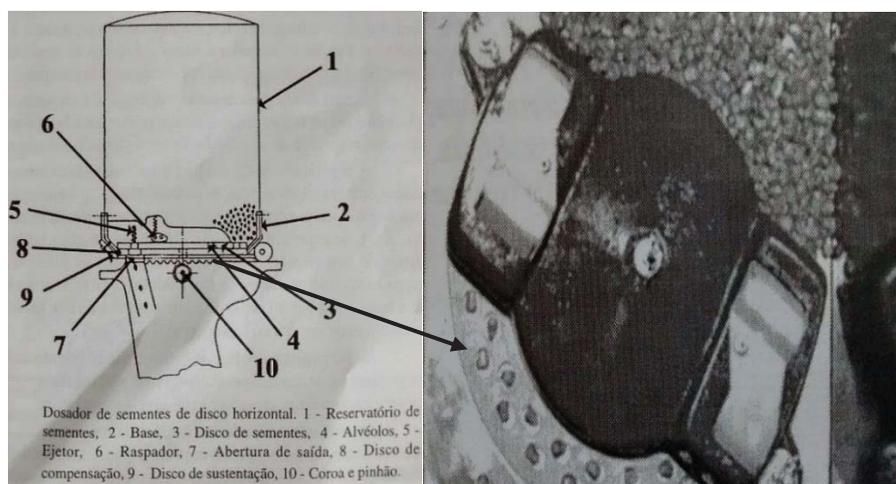
Fonte: <http://www.semeato.com.br/pt-br/produtos/sol-tower#conteudo> (12/10/2017)

Enfatizando os dosadores mecânicos, estes são equipamento simples e robustos, porém, necessitam de certos cuidados para aplicação, principalmente, com relação as sementes que serão utilizadas, pois essas não sendo uniformes e padronizadas poderão apresentar erros na dosagem (SILVEIRA, 2001). A forma mais utilizada é a distribuição por discos horizontais. Como caracteriza Portella (2001),

Os sistemas dosadores mecânicos de discos horizontais se constituem normalmente de uma base fundida que sustenta um eixo dotado de pinhão e engrenagem de acionamento. Este pinhão aciona uma coroa que possui um pino chanfrado de ambos os lados, o qual aciona o disco dosador. (PORTELLA, 2001, p. 53).

O disco de semente é o mecanismo responsável pela individualização e transporte de semente até a abertura e a saída. Possui alvéolos dispostos radialmente em sua superfície. A Figura 3 especifica os itens do sistema de dosagem de semente (PORTELLA, 2001)

Figura 3 – Dosador de sementes de disco horizontal



Fonte: Adaptado de PORTELLA, 2001

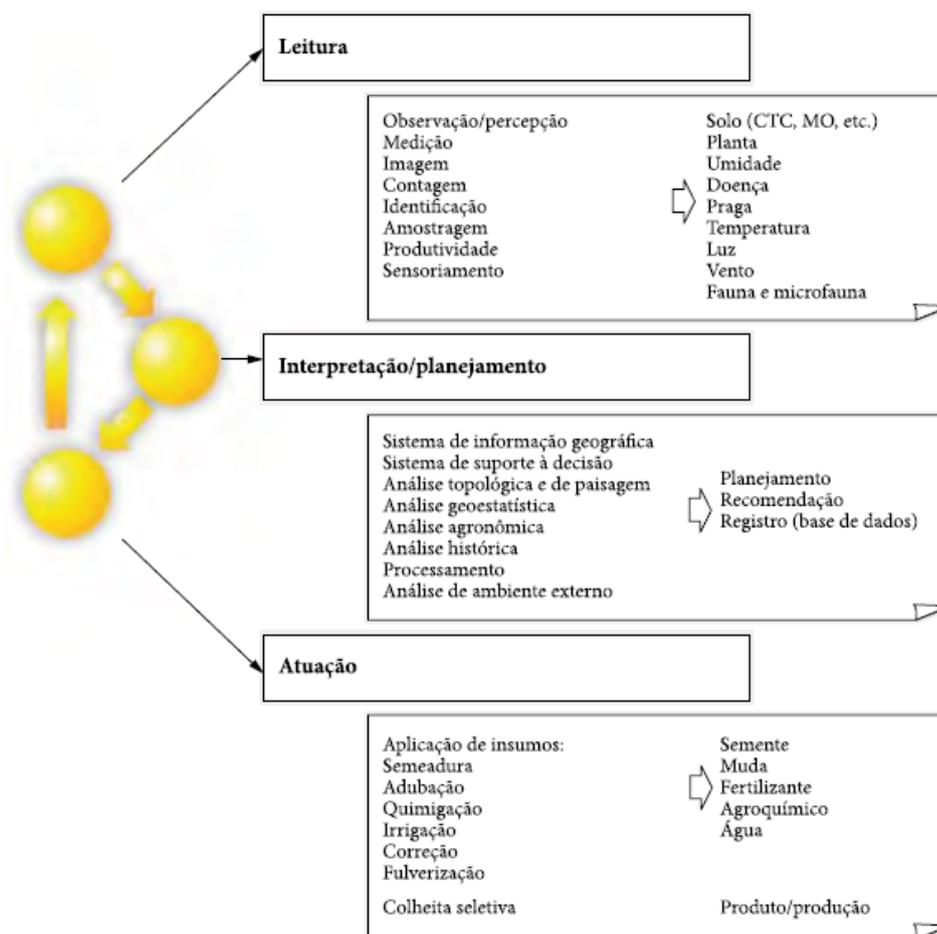
### 2.1.2 Plantio direto

O plantio direto surgiu na década de 1970 nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Inovação que foi uma das responsáveis pelo crescimento nas vendas de máquinas agrícolas nesse período. Devido ao fato de que no plantio convencional há a necessidade de diversas preparações no solo, com o uso de vários equipamentos como arado de disco, grade de disco, assim, foram substituídos por um único implemento mecanizado, o qual corta a palha, realiza o preparo reduzido do solo, somente no local do plantio, e realiza no mesmo tempo o plantio. (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008).

## 2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Por conceito, a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) definiu a agricultura de precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012, p. 6). Enquanto os sistemas tradicionais tratam a lavoura como uma área homogênea, tomando como condições médias para implementar ações corretivas dos fatores que limitam a produção, a agricultura de precisão leva em consideração a variabilidade do espaço-temporal desses fatores para tomada de decisão. Comumente nessa prática, trabalha-se com dois erros, o antrópico e o não antrópico. O primeiro acontece devida ação do homem em diversas aplicações, os quais podem ser reduzidos, ou até extinguidos. Já o segundo erro contempla a variabilidade, ambos são minimizados, ou até mesmo extinguidos, com o uso da automação. (BERNARDI et al., 2014). A Figura 4, mostra a ciclo que demonstrar como ocorre a agricultura de precisão.

Figura 4 – Ciclo da agricultura de precisão



Fonte: Adaptado de BERNARDI et al., 2014

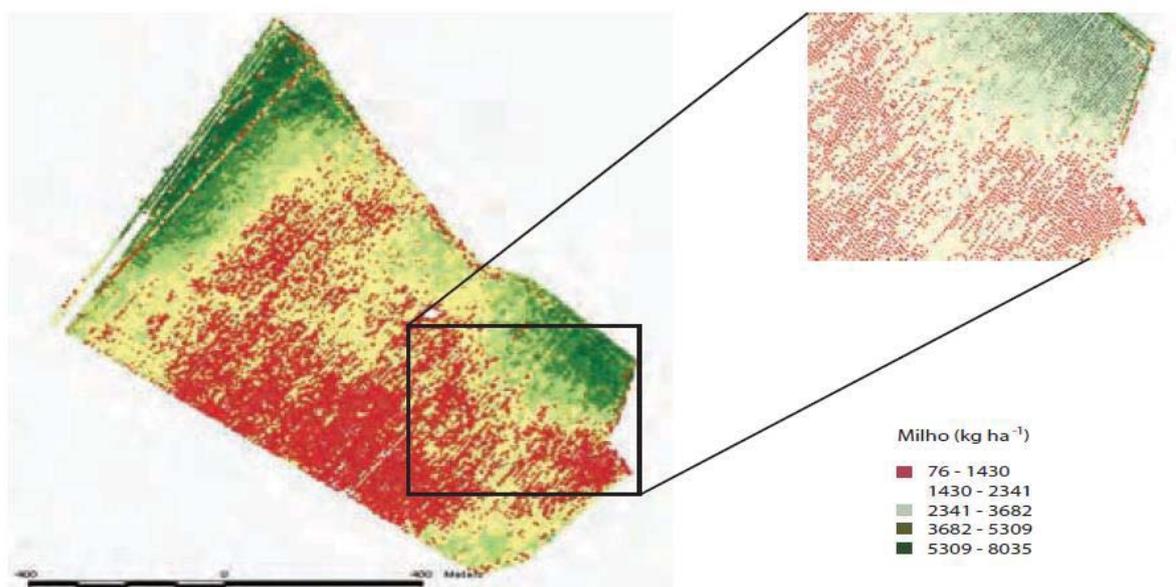
O início do ciclo acontece pela leitura, na qual são retiradas informações para posteriormente se aplicar nas seguintes etapas. Uma das principais formas de leitura acontece no último processo de atuação que é a colheita, pois nessa são extraídos dados sobre a produtividade. Outros importantes modos de captar dados são através da medição da condutividade elétrica, por amostragem de solo e por imagens aéreas. A segunda etapa acontece a interpretação/planejamento das informações colhidas na fase de leitura. Nessa, são realizadas interpolações dos elementos, com isso, é feito o preparo para a atuação. Como cita Bernardi et al. (2014, p. 28), “O que difere a AP dos demais ciclos de controle convencional é a localização da atuação e dos dados, ou seja, a análise e planejamento são realizados sobre mapas.”. E o término, acontece na atuação com ações corretivas, preventivas e que maximizem a produção, como aplicação de taxa variável (BERNARDI et al., 2014).

### 2.2.1 Mapas georreferenciados

A essência da agricultura de precisão é a variabilidade espaço-temporal e para demonstrar este fato, os mapas georreferenciados são ferramentas fundamentais. Os dois principais mapas são os de produtividade e os gerados por amostragem do solo, conhecidos como de prescrição.

Mapa de produtividade, também conhecido como mapa de colheita. Esse é representado por vários pontos e cada ponto representa uma pequena porção da lavoura. Pontos que mostram o valor colhido, isso ocorre através de um GNSS, o qual informa a posição precisa da colheita, um sensor de fluxo, que mede a quantidade de grãos que passam pelo elevador de grãos da colhedora e um sensor específico que mede a umidade, pois o padrão comercial exige grãos secos. A Figura 5 mostra o mapa de produtividade, o qual cada ponto representa uma pequena área delimitada pela largura da plataforma da colhedora, com intervalos de 2 a 3 segundos (BRASIL, 2011).

Figura 5 – Mapa de produtividade



Fonte: Adaptado de BRASIL, 2011

Mapas gerados por amostragem de solo se caracterizam por representar a variabilidade espacial dos atributos do solo. São coletadas amostras georreferenciadas em grade amostral, essas amostras, assim, são analisadas em laboratório para determinar as informações de cada amostra como, por exemplo, a quantidade de fósforo, potássio e saturação de bases. Com isso, acontece a geração de um mapa de prescrição que, normalmente ocorre para aplicação de

corretivos referente aos elementos químicos citados. Assim, com esse artifício é possível fazer uso da tecnologia de aplicação a taxa variada (RESENDE, 2010).

### *2.2.1.1 Geoestatística*

Geoestatística é uma ferramenta que utiliza o conceito de variáveis regionalizadas na avaliação de variabilidade espacial, por meio da extração e organização espacial dos dados disponíveis, de acordo com a semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados. Não se limita apenas em obter um modelo de dependência espacial, estima-se valores nos locais não amostrados. Uma das aplicações desse tema é para caracterização e modelagem espaço temporal, a fim da produção de mapas precisos aplicáveis na área de produção. E para a obtenção desses mapas, são necessárias ferramentas como passos de cálculo da semivariância, construção de ajuste do semivariograma e a interpolação por krigagem. Destaca-se a interpolação por krigagem, o qual tem por objetivo estimar valores para qualquer local e a estimativa será uma combinação linear de valores medidos. (BERNARDI et al., 2014).

## **2.2.2 Tecnologia na agricultura de precisão**

As tecnologias vêm transformando o mundo nessas últimas décadas e na agricultura de precisão não foi diferente. Programas e computadores, GNSS, Sistema de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto, sensores e controladores eletrônicos de aplicação, fundamentaram essa modificação. Programas e computadores são de fundamental importância para a manipulação de dados colhidos em campo, os quais se transformarão em mapas (COELHO, 2005).

Sistemas de Informações Geográficas são definidos como um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e de pessoas (usuários), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação (Tozi, 2000) (COELHO, 2005, p. 12).

Sensoriamento remoto é definido como a aquisição de informações a respeito de algum objeto sem estar em contato físico com ele. O principal foco de dessa tecnologia na agricultura é a interação de solos e plantas com energia eletromagnética. Várias aplicações a utilizam, que vão desde a avaliação do estado nutricional e hídrico em plantas, até a detecção de plantas daninhas e insetos (COELHO, 2005). E os controladores eletrônicos de aplicação

são responsáveis por maximizar a utilização de insumos, pois tem capacidade de se regular automaticamente com a necessidade, para aplicar apenas a quantidade requerida naquele local.

## 2.3 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores, também chamados de microcomputadores de somente um chip. Nesse se reúne em apenas um componente os elementos de um microprocessador completo, antes desempenhados por diversos dispositivos, memória ROM, memória RAM, interface paralela, interface serial, temporizadores / contadores de eventos, controlador de interrupções, entre outros. Assim, um microcontrolador pode ser caracterizado por conter um microprocessador, tem função de interpretar funções de programa e processar dados, memória de dados, armazena valores das variáveis do programa, pinos de entrada/saída, destinados a se comunicar com o meio externo, e outros periféricos como interrupções, temporizadores, contadores, comunicação serial, *Pulse Width Modulation* (PWM), conversores analógico/digital etc., com isso, forma-se um *hardware* extremamente complexo (MARTINS, 2005).

### 2.3.1 Comunicação serial

O conceito de comunicação serial é simples. A porta serial envia e recebe bytes de informação, um bit de cada vez. Embora esta seja mais lenta que a comunicação paralela, que permite a transmissão de um byte inteiro por vez, ela é mais simples e pode ser utilizada em distâncias maiores. A comunicação é feita usando 3 linhas de transmissão: terra, transmissão e recepção. Pode ser síncrona ou assíncrona, o primeiro, depende de um sinal de *clock*, ou seja, cada bit ou conjunto de bits enviado depende de um pulso do *clock*, tendo como principal vantagem sua velocidade de transmissão de dados, em contrapartida é necessário um fio extra para o *clock*. O segundo, ao contrário do método anterior, não necessita de um sinal de *clock*, portanto o número de fios necessários é menor. As características importantes da serial assíncrona são taxa de transmissão (*baud rate*), bits de dados (*data bits*) e bits de parada (*stop bits*). Para duas portas de comunicação, estes parâmetros devem corresponder (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015):

- Taxa de Transmissão (*Baud rate*), uma medida de velocidade para comunicação. Isto indica o número de bits transmitidos por Segundo;
- Bits de Dados (*Data bits*), são as informações transferidas, dependendo do protocolo o tamanho dos dados variam, valores comuns são de 5, 7 e 8 bits;
- Bits de parada (*Stop bits*): usado para sinalizar o fim da comunicação para um único pacote. Os valores típicos são 1, 1.5, e 2 bits.

### 2.3.2 Protocolo CAN

Para se compreender o protocolo *Controller Area Network* (CAN), é necessário o entendimento de alguns conceitos de redes de comunicação. A estrutura de uma rede é dividida em camadas, as quais devem oferecer serviços de maneira hierárquica. Assim, uma camada é constituída por um conjunto de circuitos eletrônicos e/ou programas que implementam determinados serviços. Ou seja, a camada superior utiliza recursos da inferior sem a necessidade de saber como as foram executadas. Com isso, diferentes computadores podem trocar informações entre camadas análogas sem conhecerem de que forma foi implementado a comunicação entre as respectivas camadas inferiores. Essa organização na comunicação de dados da rede é determinada de protocolo (SOUSA et. al., 2007). O Quadro 1 traz informações referente a um modelo de camada.

A ISO International Organization for Standardization propôs um modelo para a estrutura de camadas de uma rede. Este modelo é denominado Modelo de Referência OSI (Open Systems Interconnection), ou simplesmente modelo OSI, e foi sugerido com o intuito de padronizar internacionalmente o projeto de redes. O modelo OSI foi definido com sete camadas, que são: Física, Enlace de Dados, Redes, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação. (SOUSA et. al., 2007, p. 11).

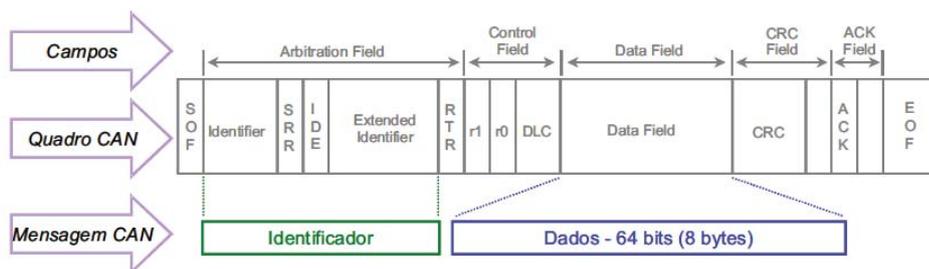
Quadro 1 – Sete camadas do modelo OSI

7 <sup>a</sup>	Aplicação	A aplicação serve como a janela onde os processos de aplicativos e usuários podem acessar serviços de rede.
6 <sup>a</sup>	Apresentação	Apresentação formata os dados a serem apresentados na camada de aplicação. Ela pode ser considerada o tradutor da rede. Essa camada pode converter dados de um formato usado pela camada de aplicação em um formato comum na estação de envio e, em seguida, converter esse formato comum em um formato conhecido pela camada de aplicação na estação de recepção.
5 <sup>a</sup>	Sessão	Permite o estabelecimento da sessão entre processos em execução em estações diferentes.
4 <sup>a</sup>	Transporte	A camada de transporte garante que as mensagens sejam entregues sem erros, em sequência e sem perdas ou duplicações. Ela elimina para os protocolos de camadas superiores qualquer preocupação a respeito da transferência de dados entre eles e seus pares.
3 <sup>a</sup>	Rede	Controla a operação da sub – rede, decidindo que caminho físico os dados devem seguir com base nas condições da rede, na prioridade do serviço e em outros fatores.
2 <sup>a</sup>	Ligação	Proporciona uma transferência de quadros de dados sem erros de um nó para outro através da camada física, permitindo que as camadas acima dela assumam a transmissão praticamente sem erros através do vínculo.
1 <sup>a</sup>	Física	Está encarregada da transmissão e recepção do fluxo de bits brutos não estruturados através de um meio físico. Ela descreve as interfaces elétricas/ópticas, mecânicas e funcionais com o meio físico e transporta os sinais para todas as camadas superiores.

Fonte: Adaptado de <https://support.microsoft.com/pt-br/help/103884/the-osi-model-s-seven-layers-defined-and-functions-explained> (17/10/2017)

Porém, nem todos os protocolos utilizam todas as camadas, mas sim somente o conceito do OSI (*Open Systems Interconnection*), que é o caso do protocolo CAN. Os protocolos normalmente, são inseridos em barramentos, os quais permitem a interconexão entre dispositivos de forma física, permitindo a troca de dados, que é feito por um único meio para a comunicação digital. E para a adequação de aparelhos com maior capacidade de processamento são utilizados Transdutores Digitais Inteligentes (TDI). O protocolo CAN é baseado em mensagens, que são transportadas em quadro de bits, que por sua vez são formados por campos de bits, os quais são conjuntos de bits com determinada função no quadro (SOUSA et. al., 2007). A Figura 6 descreve a mensagem CAN.

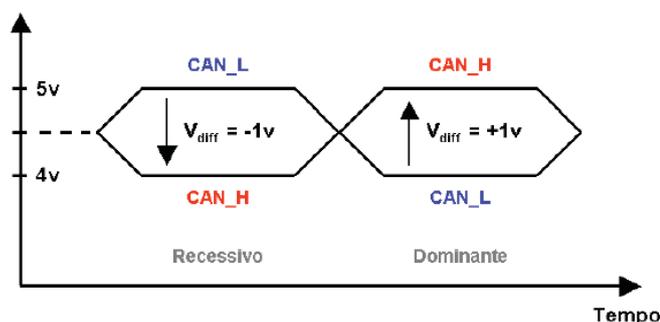
Figura 6 – Mensagem CAN



Fonte: SOUSA et. al, 2007

Referente a ligação elétrica, é constituída de dois ou quatro fios, os quais são transados e não blindados. Dessa forma os dados enviados através da rede devem ser interpretados como uma diferença de potencial entre a CAN – H e CAN – L. Essa maneira de ligação deixa a comunicação livre de interferências eletromagnéticas, devido a esse fato, o módulo interpretará a diferença de potencial entre os condutores, assim a comunicação estará imune. E essa tem a particularidade de não ser representada por nível “0” ou nível “1”, mas como dominantes e recessivos. Na norma *International Organization for Standardization (ISO) 11783*, o bit dominante é representado pela diferença de tensão igual a +1 volt e o bit recessivo igual -1 volt, a Figura 7 mostra os níveis de tensão aplicados (GUIMARÃES, 2003).

Figura 7 – Níveis de tensão conforme a norma ISO 11783



Fonte: GUIMARÃES, 2003

Existem dois formatos de mensagens no protocolo, CAN 2.0A e CAN 2.0B. A diferença básica entre esses formatos é que o primeiro possui um identificador de 11 bits, executando até 2048 mensagens em uma rede, já a segunda possui um identificador de 29 bits, executando até 537 milhões mensagens em uma rede. A 2.0B possui a vantagem de ter um número suficientemente grande de mensagens, porém esse fluxo de mensagens pode acarretar em atrasos nas transmissões. (GUIMARÃES, 2003).

### 2.3.2.1 Norma ISO 11783

É um padrão de comunicação agrícola baseado no protocolo CAN 2.0B. Tem como características trabalhar com até 8672 mensagens diferentes, interligando até 256 nós a uma rede de no máximo de 40 metros e uma taxa de transmissão de 250 Kbps. Com o intuito de facilitar o entendimento da norma foram divididas em 14 partes, conforme mostra o Quadro 2. (GUIMARÃES, 2003).

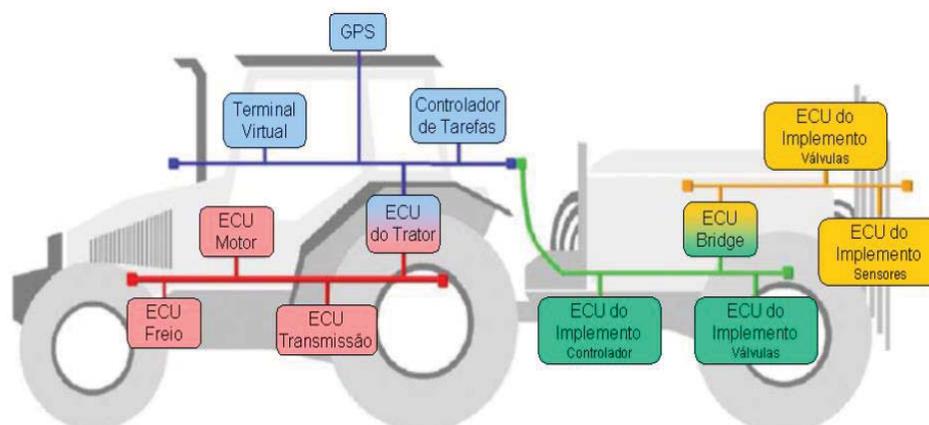
Quadro 2 – Partes da norma ISO 11783

Parte	Título	Escopo
Parte 1	General Standard	Visão geral sobre o padrão e da aplicação de cada parte;
Parte 2	Physical Layer	Cabos, conectores, sinais elétricos e características mecânicas e elétricas gerais do barramento;
Parte 3	Data Link Layer	Implementação do CAN e especificação da estrutura das mensagens
Parte 4	Network Layer	Interconexão de sub-redes
Parte 5	Network Management Layer	Processo de inicialização e endereçamento de ECU's
Parte 6	Virtual terminal	Especificações do terminal de controle e operação
Parte 7	Implement Messages Application Layer	Definição de mensagens básicas dos implementos e da máquina
Parte 8	Power Train Message	Definição de mensagens automotivas
Parte 9	Tractor ECU	Especificações da Tractor ECU
Parte 10	Task Controller	Especificação de interfaces para dispositivos e programas computacionais de controle e administração com o barramento
Parte 11	Mobile Agricultural Data Dictionary	Definições relativas à norma
Parte 12	Diagnostics	Serviço de diagnóstico
Parte 13	File Server	Servidor de arquivo
Parte 14	Sequence Control	Controle Seqüencial (das funções automatizadas)

Fonte: Adaptado de SOUSA et. al, 2007

A ISO 11783 tem como propósito “prover um padrão aberto para interconexão de sistemas eletrônicos embarcáveis. O sistema eletrônico que promove a interconexão de um dispositivo ao barramento é denominado *Electronic Control Unit* (ECU) ou Unidade Eletrônica de Controle. ” (SOUSA et. al, 2007, p. 29). O conjunto formado por ECU e barramento é definido como nó CAN. É basicamente composta pelas seguintes unidades controladoras: GNSS, terminal virtual, unidade de controle eletrônico do trator e controlador de tarefas (PEREIRA, 2008). Na Figura 8, mostra-se uma aplicação com trator e implemento.

Figura 8 – Exemplo de aplicação da ISO 11783



Fonte: GUIMARÃES, 2003

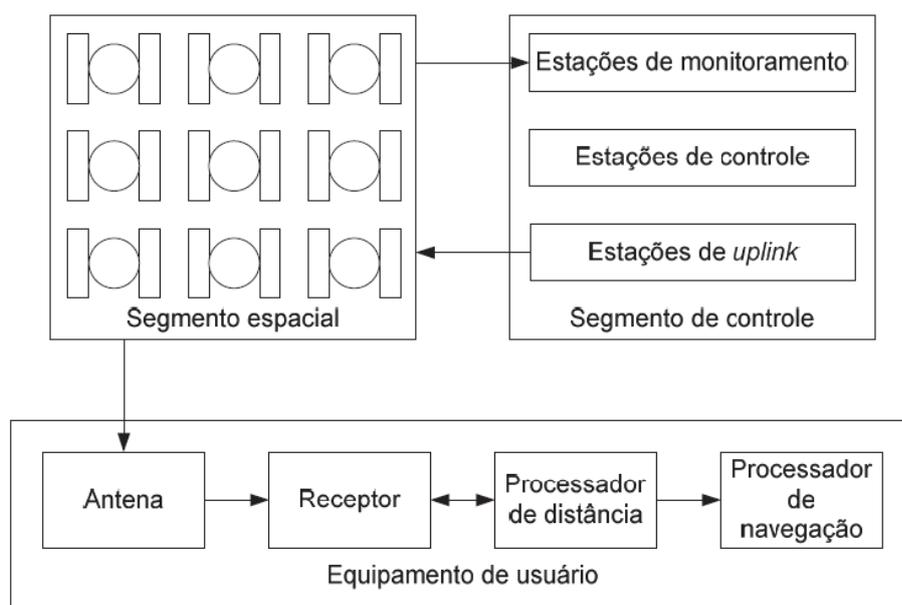
## 2.4 SENSORES

Elementos responsáveis por converter estímulos de diversas naturezas, como mecânicos, elétricos, térmicos, radiação, magnéticos, químicos etc., em sinais analógicos ou digitais. Em um sistema de controle, são destinados a trazer informações do meio externo. Os tipos mais comuns de sensores são: chaves de contato, indutivos, capacitivos, óticos, ultrassônicos, *hall*, encoders, acelerômetros, giroscópios e até mesmo GNSS, pois converte a posição de um objeto localizado na superfície da terra em um código digital.

### 2.4.1 GNSS

Os GNSS são sistemas que trazem como resposta as referências de posição em altitude, latitude e longitude, de velocidade e de tempo, indicativo ao utilizador situado na superfície terrestre. Normalmente o termo *Global Positioning System* (GPS) é utilizado para se referenciar ao GNSS, porém é um equívoco, pois GPS é um sistema específico, enquanto GNSS faz menção a qualquer sistema de posicionamento por satélite, sendo assim, GPS, GLONASS e Galileo são sistemas do GNSS. Esses sistemas são compostos por três estruturas básicas, o segmento espacial, o segmento de controle e o sistema de usuários, os quais são totalmente passivos, somente recebem sinais dos satélites. A Figura 9 traz uma representação esquemática. (GONÇALVES, 2011).

Figura 9 – Estrutura GNSS



Fonte: GONÇALVES, 2011

Os satélites enviam sinais eletromagnéticos, os quais são recebidos pelas antenas dos receptores e transformando em sinal elétrico. Os sinais são demodulados e decodificados para serem determinadas referências citadas.

#### 2.4.1.1 GPS

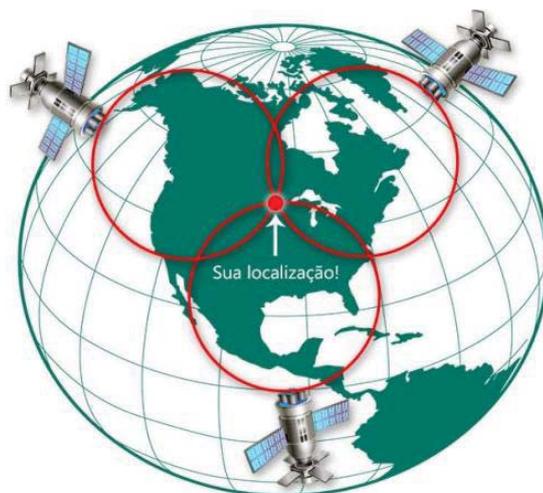
O sinal do GPS tem por característica receber de cada satélite duas ondas portadoras, L1 e L2, as quais são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz e multiplicadas por 154 e 120, tendo o comprimento de onda igual a 19 cm e 24 cm, respectivamente. Pelo fato de serem geradas simultaneamente, há a possibilidade de correção de erros em razão da refração da ionosfera. A partir da modulação dos esquemas de numeração dos satélites, *Space Vehicle Number* (SVN), ou *PseudoRandom-Noise* (PRN) ou *Space Vehicle Identification* (SVID), é possível realizar a medida do tempo de propagação da modulação, o qual se transforma em uma sequência binária com características aleatórias, trata-se dos códigos *Coarse/Acquisition* (C/A) e *Precise or Protected* (P) (MONICO, 2000).

Na fase de controle, as principais tarefas são, monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites, determinar o sistema de tempo GPS, prever as posições dos satélites, calcular as correções dos relógios dos satélites e atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite. Os controles são feitos por estações monitoras localizadas ao redor do mundo. O segmento de usuário é basicamente representado pelo receptor GPS, o

qual constitui antena com pré-amplificador, seção de rádio frequência, para identificação e processamento do sinal, microprocessador para o controle, amostragem e processamento, entre outros (MONICO, 2000).

O princípio de funcionamento é definido como, “ O conceito básico para posicionamento por GPS é através do uso da distância da antena do receptor até cada satélite rastreado. Como se conhece a posição de cada satélite no espaço, calcula-se a posição do receptor através da trilateração 3D.” (GONÇALVES, 2011, p. 55). Quando se obtém a posição de um satélite, determina-se que o receptor está em um ponto na superfície de uma esfera, com mais um satélite, determina-se que duas esferas se cruzarão, assim a interseção dessas representará a posição do receptor, com mais outro satélite, haverá a interseção de três esferas, a qual determinará o ponto que estará o receptor, porém com uma margem de erro. Um quarto satélite é necessário para corrigir o erro de sincronismo (GONÇALVES, 2011). A Figura 10 representa a trilateração 3D.

Figura 10 – Trilateração 3D



Fonte: <http://ectjoinville.com/AttractionsAndEquips/HowWorksDetail/8651> (20/10/2017)

#### 2.4.2 Acelerômetro

Os acelerômetros são sensores para medição de aceleração, a qual ocorre devido ao emprego de uma aceleração externa em uma massa de prova, localizada no interior do acelerômetro, assim, a resposta da saída é determinada pelo deslocamento dessa. Também, a ação externa que desloca o corpo sustentador da massa de prova, por sua vez, modifica a tensão na mola de suspensão e juntamente com o deslocamento relativo podem ser usados como medição de aceleração externa. Devido a sua estrutura, essa pode ser modelada como

um sistema massa-mola de segunda ordem (MORI, 2013). O acelerômetro é constituído por uma massa e uma suspensão, já citadas, um transdutor, reproduz a aceleração através de um sinal, e um torqueador que mantém a massa de prova em equilíbrio. Há três tipos de classificação: pelo tipo de detecção da massa de prova, pelo modo de operação e pelo processo de fabricação dos elementos sensores. A primeira são os tipos de transdutores, os quais podem ser de sinal piezoelétrico, piezoresistivo, capacitivo, ótico e de corrente de tunelamento. A segunda é o modo de operação que pode ser em malha aberta ou fechada e a terceira pelo processo de fabricação dos elementos sensores, os quais se destacam micro usinagem de superfície, micro usinagem de volume e processos litográficos (FILHO, 2005). Esses sensores são especificados devido a sua sensibilidade, faixa máxima de operação, resposta em frequência, resolução, não linearidade no fundo de escala, *offset*, sensibilidade fora de eixo e resistência a choque. No Quadro 3 são descritos os parâmetros típicos de acelerômetros com resolução média. (MORI, 2013).

Quadro 3 – Especificações de alguns acelerômetros

<b>Parâmetro</b>	<b>Automotivo</b>	<b>Navegação</b>
<b>Faixa</b>	±50 Gal (airbag) ±2 Gal (sistema de estabilidade de veículos)	±1 Gal
<b>Faixa de Frequência</b>	DC – 400Hz	DC – 100Hz
<b>Resolução</b>	< 100 mGal (airbag) <10 mGal (sistema de estabilidade de veículos)	<4 µGal
<b>Sensibilidade <i>Off-Axis</i></b>	< 5%	< 0,1%
<b>Não Linearidade</b>	< 2%	< 0,1%
<b>Choque Máximo em 1ms</b>	-40°C – 85°C	-40°C – 80°C
<b><i>Offset</i> devido ao coeficiente de temperatura</b>	< 60 mGal /°C	< 50 µGal /°C
<b>Sensibilidade em relação à temperatura</b>	< 900ppm/°C	±50 ppm / °C

Fonte: YAZDI, AYAZI e NAJAFI, 1998

### 2.4.3 Giroscópio

Elemento caracterizado por medir velocidade angular referenciada a um dos três eixos de medição. Tem por aplicações típicas em câmeras digitais para corrigir o movimento das

mãos e para medição da taxa de guinada, rotação sobre o próprio eixo, para controle dinâmico de veículos. A tecnologia de giroscópios possui três gerações. A primeira geração, denominada giroscópios mecânicos, tem como princípio de funcionamento as propriedades de um disco girante. A segunda geração, a dos giroscópios ópticos, tem seu funcionamento baseado nas propriedades da luz. A terceira geração é formada pelos sensores baseados na tecnologia *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS). A tecnologia MEMS para medida da rotação consiste em placas cerâmicas vibrantes que utilizam a força de *Coriolis* para medir a taxa independente da aceleração. (MORI, 2013). A aceleração *Coriolis* é uma aceleração aparente que surge em um referencial rotacional e é proporcional a taxa de rotação (YAZDI, AYAZI e NAJAFI, 1998). A resolução do giroscópio depende da taxa zero de saída (ZRO) e do fator de escala. Quando não haver rotação, a saída é representada como a soma de um ruído branco com uma função de variação lenta. O ruído branco é o desvio padrão da taxa de rotação pela raiz quadrada da largura de banda de detecção. A função de variação mais lenta é expressa pelo valor de pico-a-pico que define a deriva, medida de desvio em relação ao funcionamento normal, de longo ou curto prazo do giroscópio (MORI, 2013). O Quadro 4 mostra três categorias de giroscópios.

Quadro 4 – Especificações de alguns giroscópios

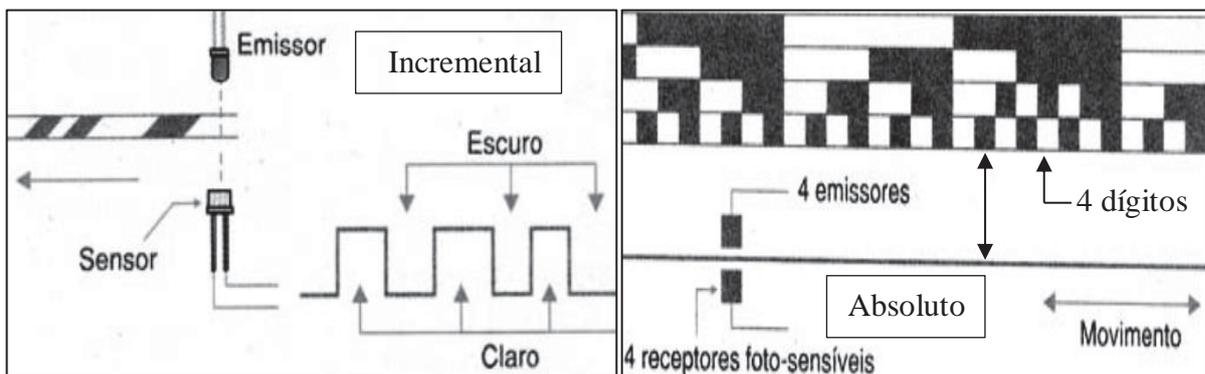
Parâmetro	<i>Rate Grade</i>	Grau Tático	Grau inercial
Passeio Aleatório do Ângulo ( $^{\circ}/\sqrt{h}$ )	> 0,5	0,5 – 0,05	< 0,001
Deriva de <i>bias</i> , $^{\circ}/h$	10 – 1000	0,1 – 10	< 0,01
Acurácia do Fator de escala, %	0,1 – 1	0,001 – 0,1	< 0,001
Intervalo de Fundo de Escala ( $^{\circ}/S$ )	50 – 1000	> 500	<0,001
Choque Max. em 1 ms, $g's$	$10^3$	$10^3 - 10^4$	$10^3$
Largura de banda, Hz	> 70	- 100	- 100

Fonte: Adaptado de YAZDI, AYAZI e NAJAFI, 1998

### 2.4.4 Encoder

Encoder é um sensor que basicamente converte o movimento rotacional ou linear em pulsos digitais, sendo a base para realimentação de sistemas de controle a malha fechada como velocidade e posição (ALLEN-BRADLEY, 2017). Esse é qualificado como um transdutor codificado, podendo ser absoluto ou relativo/incremental. O incremental tem funcionamento simples, esse somente fornece pulsos, a uma determinada precisão angular, e necessita que o controlador realize contagem de pulsos para determinar a posição ou velocidade, no caso da posição, esse indica a mudança de posição e não a posição real. O absoluto tem o seu funcionamento mecânico muito parecido com o do incremental, que se constitui de um disco rotativo perfurado onde em suas faces são posicionados, fixos a estrutura do sensor, de um lado um led emissor e no outro um led receptor. Assim, com a rotação do disco será interrompida a luz entre os leds resultando em um pulso. Porém, a diferença principal é que o absoluto informa a posição real, devido ao código GRAY, BCD ou binário encontrado no disco, sendo assim, cada posição se refere a um bit específico. Para uma resposta de velocidade a única vantagem é a maior precisão que esse apresenta. A Figura 11 traz a representação dos funcionamentos dos encoders (NEWTON BRAGA, 2014).

Figura 11 – Funcionamento dos encoders



Fonte: Adaptado de <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/5454-mec128> (21/10/2017)

### 2.4.5 Sensor fotoelétrico

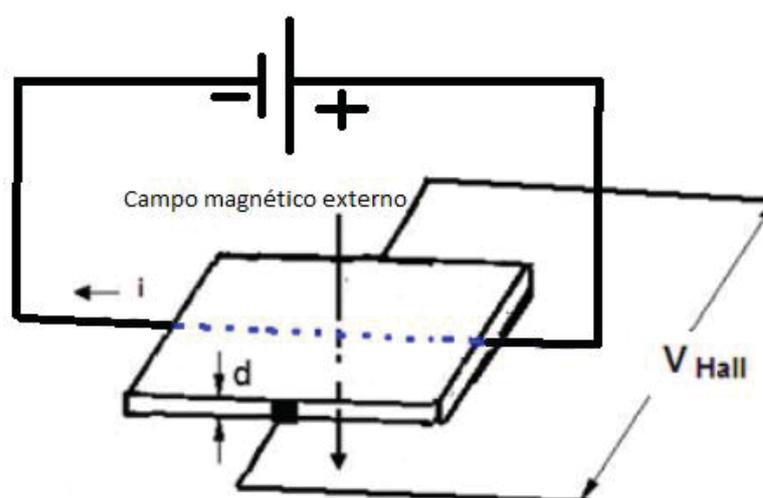
Esse sensor tem diversas aplicações em sistemas de segurança, controle, máquinas industriais, equipamento médico e eletrônica embarcada. Pode ser considerado um transdutor, pois alguns podem converter energia luminosa em energia elétrica e um sensor propriamente dito, pois convertem luz em uma variação de uma grandeza elétrica qualquer como corrente

ou resistência. Funcionam basicamente com dois componentes independentes: um transmissor e um receptor. O transmissor emite um feixe infravermelho ou visível. O receptor detecta este feixe e imediatamente converte, uma interrupção do feixe causada por um objeto na zona de detecção, em um sinal de comutação. Três características marcam esses sensores. Primeiramente, a sensibilidade, representa com que intensidade de luz a saída é comutada. A resposta espectral, demonstra a capacidade de detectar diferentes comprimento de ondas, ou seja, detectar radiação infravermelha e ultravioleta por exemplo. E por fim, a velocidade de resposta a detecção de luz ou sombra. (SALOMAN, 2012).

#### 2.4.6 Sensor *Hall*

Também conhecidos como sensores magnéticos, tem por característica essencial a comutação através da aproximação de um ímã a sua face sensora. O funcionamento, de maneira simplificada, ocorre da seguinte forma: na face do sensor, constituída de um semicondutor, onde ocorre a detecção do evento, é aplicado uma corrente contínua e com a ação de um campo magnético é gerada uma corrente em outro sentido, consequentemente uma diferença de potencial, tensão *Hall*, este efeito é o resultado da força de Lorentz no movimento de elétrons sujeitos a um campo magnético. (CASSIOLATO, 2003). A Figura 12 demonstra esse fato.

Figura 12 – Do funcionamento simplificado do sensor *Hall*



Fonte: Adaptado de <http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sensor-hall-a-tecnologia-dos-posicionadores-inteligentes-de-ultima-geracao> (21/10/2017)

## 2.5 MOTORES ELÉTRICOS A CORRENTE CONTÍNUA

Na indústria, motores a corrente contínua (CC), no geral, vêm perdendo espaço para os motores a indução, com exceções dos motores de passo e servo motores CC, os quais são aplicados em Controle Numérico Computadorizado (CNC), porém ainda tem grande aplicação na área automotiva, área médica, área aeroespacial, em produtos da linha branca, em brinquedos infantis, etc. O princípio essencial de um motor CC é converter energia elétrica em energia mecânica. As grandezas fundamentais de um motor é o torque e a velocidade, e as grandezas análogas são a corrente e tensão, respectivamente. É gerada a ação motora quando uma corrente elétrica circula através dos condutores que são colocados em um campo magnético, resultando em uma força atuante no condutor. Dessa forma, com os condutores cortando o campo magnético, ocorre o aparecimento de uma tensão induzida. A primeira e a segunda afirmação são expressas nas equações 1 e 2, respectivamente (TORO, 1994).

$$F_c = B \cdot l \cdot i \quad (1)$$

$$e = Z \cdot B \cdot l \cdot v \quad (2)$$

### 2.5.1 Motor a CC de ímãs permanentes com escovas

Os elementos que formam um motor a CC de ímãs permanentes com escovas é o estator, o rotor, o qual compreende o enrolamento da armadura, o comutador e o eixo, e ainda as escovas. O estator é responsável por gerar o campo magnético, o qual é formado por ímãs permanente, assim o campo magnético que atuará no rotor será constante. O rotor é responsável por aplicar o torque para a carga, o qual é desenvolvido devido a ação da equação 1 e relacionada com o fato de que essa força atua como um braço de alavanca ao rotor, com o seu raio  $r$  e  $z$  o número de espiras, tem-se a equação 3 (TORO, 1994).

$$T = Z \cdot B \cdot l \cdot r \cdot i \quad (3)$$

Sabendo que:

$$\omega_m = \frac{v}{r} \quad (4)$$

Relacionando as equações 4, 3 e 2, obtêm-se a equação 5:

$$\frac{e}{T} = \frac{Z \cdot B \cdot l \cdot v}{Z \cdot B \cdot l \cdot r \cdot i} = \frac{v}{r \cdot i} = \frac{\omega_m}{i} \therefore e \cdot i = T \cdot \omega_m \quad (5)$$

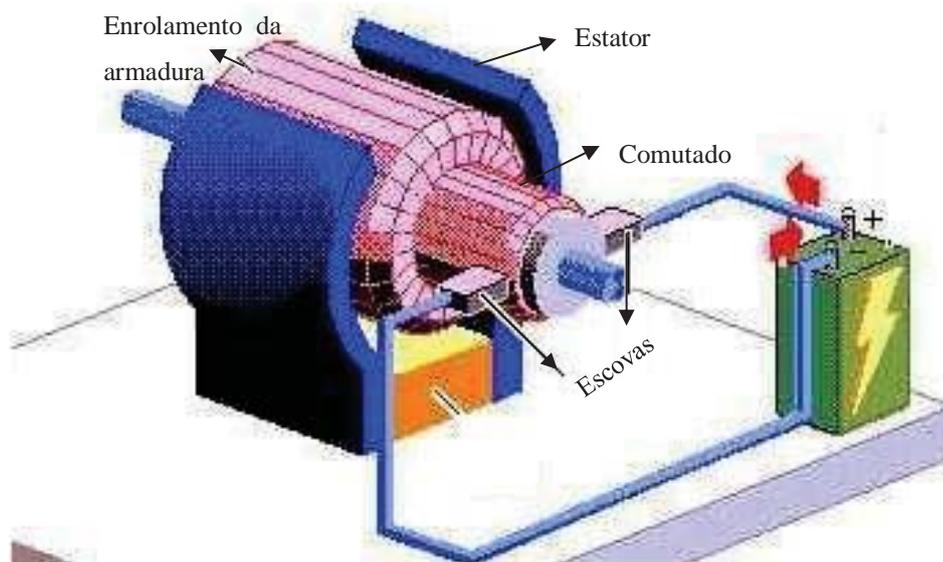
E ainda considerando que  $Z, B, l, r$  são constantes, podem-ser reescrita como uma única constante  $K$ , assim se obtêm as equações 6 e 7.

$$T = K \cdot i \quad (6)$$

$$e = K \cdot \omega_m \quad (7)$$

O comutador é o local onde são alojadas as pontas das bobinas do enrolamento do rotor. É o elemento por onde passa a corrente elétrica, o qual é comutada pelas escovas. A Figura 13 representa o motor.

Figura 13 – Motor a CC de ímãs permanentes com escovas



Fonte: Adaptado de <http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrotecnia/ap2/motores04.jpg> (22/10/2017)

### 2.5.2 Motor a CC de ímãs permanentes sem escovas (*Brushless*)

Motores a CC sem escovas não podem ser designado a um projeto específico, pois com o desenvolvimento da tecnologia, uma série de projetos foram desenvolvidos. Desses, podem-se destacar os seguintes tipos gerais: Motores a CC sem escovas com comutação eletrônica e motores a CC sem escovas de rotação limitada. Será enfatizado o primeiro tipo citado.

Esses motores apresentam vantagens em relação aos similares com escovas. Conforme pontua Kosow (2005):

- Requer pouca manutenção;
- Maior vida útil;
- Não há o surgimento de faísca, eliminado possibilidade de explosão e radiação em rádio frequência;
- Podem operar submersos em fluidos;
- São mais eficientes que motores a CC com escovas;
- Possuem uma resposta mais rápida e característica razoavelmente constante na relação torque versus a corrente de entrada.

Este motor a CC com comutação eletrônica é um motor síncrono. No estator é encontrado o enrolamento de campo, o qual é bobinado e é responsável por realizar a comutação. Essa comutação é sincronizada, normalmente por sensor de posição alocado no rotor. A maioria dos estatores são constituídos de três enrolamentos conectados em estrela. São caracterizados por possuir dois tipos de enrolamentos, o trapezoidal e o senoidal. O trapezoidal gera  $f_{cem}$  na forma de um trapézio e são considerados *Brushless* DC, indicados para sistemas de controle de velocidade. Contudo o senoidal gera uma  $f_{cem}$  na forma de uma senóide e são considerados *Brushless* AC, indicados para sistemas de controle de posição. O rotor é onde estão alocados os ímãs permanentes, e como citado, os sensores de posição (KOSOW, 2005). O fato de serem controlados eletronicamente, requerem métodos de acionamento dos enrolamentos, podendo ser trapezoidal e vetorial, sendo a forma de controle a maior desvantagem em relação ao motor com escovas.

### 2.5.3 Motor de passo

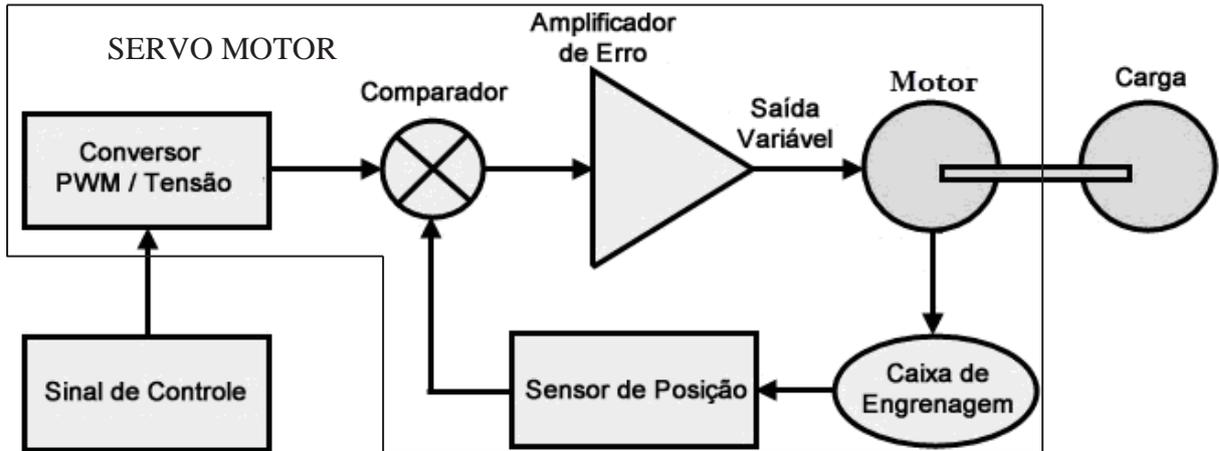
Motores de passo são muito utilizados em equipamentos de informática, como impressoras, *plotters* e também máquinas operatrizes, as quais realizam controle numérico computadorizado. A grande vantagem do motor de passo se dá pelo fato de não necessitar de realimentação para atuar em um sistema de controle, principalmente, de posição, e isso decorre do aspecto construtivo desse motor.

O motor de passo tem características de um motor síncrono. Consiste em um estator com ranhuras e nessas são alocadas bobinas individuais e um rotor sem enrolamento, o qual classifica o motor de passo, determinado pelo projeto do rotor. Os tipos de motores são: motor de relutância variável, motor unipolar, motor bipolar, motor bifilar e motor de fase múltipla. O controle desses motores pode ocorrer de maneira mais básica, com a comutação dos enrolamentos e métodos mais avançados que fazem o controle da corrente dos enrolamentos (TORO, 1994).

### 2.5.4 Servo motor CC

Servo motor é um conjunto de elementos que une o controle e o motor propriamente dito. O controle é feito a partir de um sinal de entrada, esse sinal é amplificado, acionando o motor e com um sensor de realimentação, é fechada a malha de controle, isso em um único dispositivo. São motores com alta precisão de velocidade e posição. Busca-se com esse tipo de motor torque de saída praticamente proporcional a sua tensão de controle aplicada e que o sentido do torque seja determinado pela polaridade instantânea da tensão de controle. Utilizam-se alguns tipos de servos motores: motor-derivação (controle pelo campo ou pela armadura), motor-série e motor-derivação de campo permanente (excitação de campo fixa) (KOSOW, 2005). A Figura 14 representa o controle realizado por um servo motor.

Figura 14 – Controle servo motor



Fonte: Adaptado de <https://www.citissystems.com.br/servo-motor/> (23/10/2017)

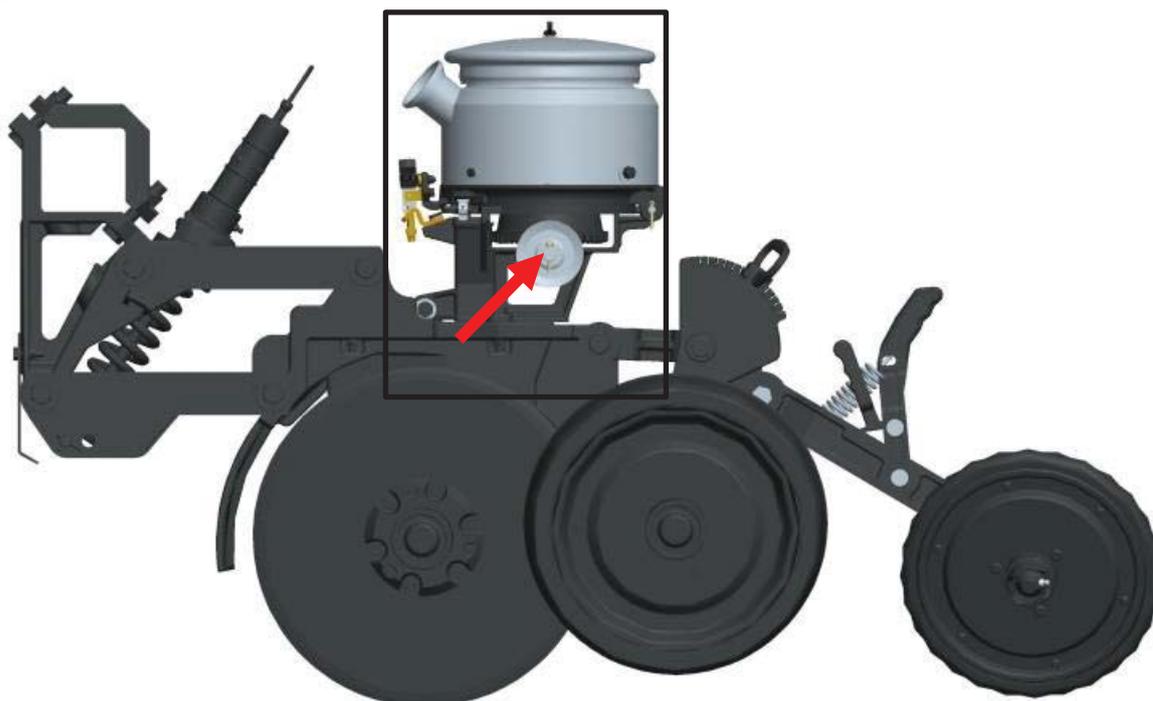
### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentadas as especificações e características relacionadas a estrutura mecânica do projeto, do *hardware*, sendo explicado o seu funcionamento em um diagrama de blocos, o qual se relaciona com a parte mecânica, com isso, determinar os componentes necessários, e do *firmware*, explicar na forma de um diagrama as estruturas principais do código. Os componentes especificados estarão sujeitos a modificações conforme o decorrer do desenvolvimento do protótipo.

#### 3.1 ESTRUTURA MECÂNICA

A estrutura mecânica será similar à de uma semeadora de precisão, porém, sem os componentes necessários para realizar a semeadura, somente o dosador de semente, no qual será realizada a automação. Constituído de um chassi, cabeçalho, peça que realiza a conexão entre o trator e o implemento, rodas, reservatório, dosadores e condutores de semente, assim se formará o protótipo. A Figura 15 mostra o sistema dosador de semente de disco horizontal que terá o sistema de acionamento automatizado. A seta indica o local onde se posicionará o motor elétrico.

Figura 15 – Sistema dosador de semente de disco horizontal a ser automatizado



Especificações recomendadas pelo fabricante do dosador:

- Torque solicitado:  $3 N \cdot m$ ;
- Rotação máxima:  $50 RPM$  ;
- Rotação mínima: quanto mais baixa rotação mais precisa ficará a distribuição.

A estrutura mecânica será desenvolvida em parceria com a empresa Semeato, fabricante de máquinas e implementos agrícolas.

### 3.2 HARDWARE

O componente central do *hardware* é o microcontrolador, que realizará o processamento de informações e executará as devidas instruções programadas. No implemento, encontram-se o sensoriamento e os motores. Conforme observadas as características dos componentes na revisão da literatura, alguns desses já serão definidos ou indicados. O sensoriamento que irá monitorar parâmetros relacionados à semeadura, os quais são:

- Um sensor de estado do implemento, ou seja, tem a função de informar ao microcontrolador se a semeadora está erguida ou abaixada. Não exige um sensor sofisticado, um *reed switch* poderá ser utilizado.
- Um sensor de velocidade, o sinal de velocidade poderia ser captado pelo GPS do trator, porém para maior precisão do sistema de controle se optou por esse método. Deverá ser capaz de realizar mais de 1000 amostras por segundo, para assim ter uma precisão considerável.
- Quatro sensores de rotação, irão monitorar as rotações dos motores para realimentar o sistema de controle. Será utilizado um encoder incremental, pois não serão necessários os recursos do encoder absoluto;
- Quatro sensores de contagem de semente, irão informar ao microcontrolador se há queda de semente ou não na semeadura. Necessitará ser um sensor imune a poeira, e também com a capacidade de realizar mais de 1000 contagens por segundo, visto que assim se poderá identificar um duplo (anormalidade na semeadura).

Devida a característica mecânica do dosador e do controle que será exigido (controle de velocidade), poderão ser empregados os motores a CC de ímãs permanentes com escovas, sem escovas ou ainda servomotores. A seleção do motor irá implicar no projeto do driver de potência. O custo destes itens, motor e driver, será requisito essencial para a escolha.

O GPS, a princípio, deverá ser com a maior precisão que se consiga adquirir. No entanto, serão realizados testes com equipamentos inferiores, até se estabelecer o equipamento adequado aliando custo e benefício, e também outra especificação importante é a comunicação, deverá ser a comunicação serial, para que se consiga estabelecer trocas de informações com o microcontrolador. Com relação ao display, para realizar a interface gráfica, serão iniciados testes com display de LCD 16x4, podendo haver evolução para um display maior, associado a esse, botões de comandos. E ainda uma unidade de memória externa, a qual consiste em um cartão de memória ou *pendrive* via USB, para salvar os dados referente à sementeira e enviar os mapas de aplicação para o microcontrolador. O Apêndice A apresenta o diagrama de blocos do *hardware*.

Com esse levantamento feito, pode-se definir alguns requisitos do *hardware* para determinar o microcontrolador:

- 25 entradas digitais;
- Comunicação UART, SPI e I2C;
- A princípio 12 saídas PWM caso seja usado motores *brushless* DC;
- Processamento em DSP para realização de controle em tempo real;

Opção que satisfaz essas condições é a placa de desenvolvimento da *Texas Instruments*, Tiva Launchpad TM4C123GH6PM. A qual apresenta os seguintes recursos:

- 80MHz 32-bit ARM Cortex-M4;
- 256KB Flash, 32KB SRAM, 2KB EEPROM;
- Two Controller Area Network (CAN) modules;
- USB 2.0 Host/Device/OTG + PHY;;
- Dual 12-bit 2MSPS ADCs, motion control PWMs
- 8 UART, 6 I2C, 4 SPI;
- Podendo chegar até 43 entradas/saídas digitais;

### 3.3 FIRMWARE

O *firmware* será executado em linguagem C, a qual é utilizada no microcontrolador sugerido. Esse tem como objetivo realizar administração da automação, executando a leitura dos sensores, do GPS, dos botões de comando, da unidade de memória e atuará no controle dos motores, o método de controle dependerá do tipo do motor escolhido, também enviará informações para exibição no *display*. As instruções do código seguirão as necessidades da automação. Inicialmente, será dividido em duas partes, sistemas desligado e ligado. No sistema desligado, serão inseridas as configurações, entre elas, características da semeadora, mapas, o qual nesse se carrega o mapa para o microcontrolador, sendo possível verificar quais estão disponíveis para utilização, velocidade, nessa se destina a calibrar o sensor, dosagem, item que seleciona qual o tipo de controle aplicado à semeadura, taxa fixa ou variável (esses termos se referem a densidade da semeadura, ou seja, quantidade de sementes por hectare que serão depositadas no solo) e ainda outras informações sobre a semeadora. A segunda parte é referente ao sistema em operação, executando a semeadura. Para haver o acionamento dos motores e inicialização, o microcontrolador terá que receber informações de velocidade, e do estado do implemento, o qual deverá estar acionado. Dependendo do controle selecionado no item de configuração, o mapa não será considerado. Há a necessidade do GPS estar informando suas coordenadas para ocorrer a execução.

Com o acionamento, informações referentes a leitura dos sensores serão salvas na unidade de memória externa, para a geração de relatório e mapa da semeadura. Ainda, contendo as informações das coordenadas, e as salvando, realizará, caso houver sobreposição de linhas da semeadora, o desligamento automático individual dessas. Funcionamento representado no Apêndice B.

#### 4 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

A revisão em torno do assunto, possibilitou a integração das necessidades que apresentam as lavouras e os anseios dos agricultores, com a tecnologia que nos circunda. A agricultura de precisão e suas diversas variáveis, concentradas na variabilidade espacial e temporal, serviram de referência para a atuação da tecnologia na agricultura de precisão. Assim, investigou-se como essa é tratada por empresas atuantes no setor. Controladores de plantio, de adubação, de corretivos agrícolas, tiveram grande crescimento nos anos 1990, porém, com certa desordem, pois não havia interação entre equipamentos, cada um desses realizava tarefas, as quais poderiam ser instaladas em um único aparelho. Com isso, criou-se normas que padronizam os equipamentos para se comunicarem com outras centrais de comando, a utilizada na agricultura é a ISO 11783.

E desse modo, buscou-se mais informações sobre essa padronização para fins de incorporar ao projeto, porém, a princípio, se percebeu complexidade na execução, da norma citada, de um protótipo que realize todos os objetivos que foram propostos. Entretanto, diferentemente do início dessa tecnologia, a proposta de trabalho de conclusão de curso, inclui um equipamento robusto, que realize várias tarefas com relação à semeadura. As quais foram fundamentadas para haver clareza na execução do desenvolvimento, pesquisando-se diversas possibilidades de dispositivos à aplicação na automação. E ainda aprimorando conhecimentos desenvolvido ao decorrer do curso e até mesmo explorando a área de telecomunicações, através do estudo de comunicações.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Ana Christina Sagebin; SILVA, Aliomar Gabriel da. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2008.

ALLEN-BRADLEY. **Encoders**. 2017. Disponível em: <<http://ab.rockwellautomation.com/pt/Motion-Control/Encoders>>. Acesso em: 21 de outubro de 2017.

ALVES, Roberto de Andrade; SOUZA, Geraldo da Silva e; GOMES, Eliane Gonçalves. **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2013.

ANFAVEA. **Séries históricas**. 2017. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>>. Acesso em: 12 de outubro de 2017.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos et. al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Precisão**. Brasília: MAPA/ACS, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184.

CASSIOLATO, César. Sensor Hall – A tecnologia dos Posicionadores Inteligentes de última geração. **Revista Controle & Instrumentação**, Edição nº 81. Junho de 2003

COELHO, Antonio Marcos. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

FÍSICANET. **Motores**. Disponível em: <<http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrotecnia/ap2/motores04.jpg>>. Acesso em: 22 de outubro de 2017.

FILHO, Edmundo Alberto Marques. **Navegação através de um sistema integrado GPS-INS baseado em IMU não-giroscópica**. 2005. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Mecânica Espacial e Controle). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

GONÇALVES, Luiz Felipe Sartori. **Desenvolvimento de sistema de navegação autônoma por GNSS**. 2011. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Análise da norma ISO11783 e sua utilização na implementação do barramento do implemento de um monitor de semeadora**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

IBGE. **Taxa de urbanização**. 2010. Disponível em:

<<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>. Acesso em: 12 de outubro de 2017.

KOSOW, Irwing L. **Máquinas elétricas e transformadores**. Tradução de Felipe Luiz Ribeiro Daiello e Percy Antônio Pinto Soares. São Paulo: Globo, 2005.

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados: Uma abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. São Paulo: Novatec, 2005.

MICROSOFT. **Definição das sete camadas do modelo OSI e explicação de suas funções**. 2017. Disponível em <<https://support.microsoft.com/pt-br/help/103884/the-osi-model-seven-layers-defined-and-functions-explained>>. Acesso em: 17 de outubro de 2017.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

MORI, Anderson Moraes. **O uso de sistema inercial para apoiar a navegação autônoma**. 2013. 180 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Conceitos Gerais de Comunicação Serial**. 2015. Disponível em <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/32679C566F4B9700862576A20051FE8F>>. Acesso em: 27 de outubro de 2017.

NEWTON BRAGA. **Como funcionam os encoders (MEC128)**. 2014. Disponível em <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/5454-mec128>>. Acesso em: 21 de outubro de 2017.

PEREIRA, Robson Rogério Dutra. **Protocolo ISO 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o Controlador de Tarefas**. 2008. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PORTELLA, José Antonio. **Semeadoras para Plantio Direto**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

RESENDE, Álvaro V. et. al. **Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. Novos caminhos para agricultura conservacionista no Brasil: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010.

RESENDE, Álvaro V. et. al. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2. São Pedro – SP, 2006. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006.

SALOMAN, Sabrie. **Sensores e sistemas de controle na indústria**. Tradução e revisão técnica Sérgio Gilberto Taboada. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

SEMEATO. **Sol Tower**. 2014. Disponível < <http://www.semeato.com.br/pt-br/produtos/sol-tower#conteudo> >. Acesso em: 12 de outubro de 2017.

SEMEATO. **Tdng**. 2014. Disponível < <http://www.semeato.com.br/pt-br/produtos/tdng#conteudo> >. Acesso em: 12 de outubro de 2017.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Servo Motor: Veja como Funciona e Quais os Tipos**. 2017. Disponível <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>>. Acesso em: 23 de outubro de 2017.

SILVEIRA, Gastão Moraes da. **Máquinas para plantio e condução das culturas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

SOUSA, Rafael Vieira de et. al. **Redes embarcadas em máquinas e implementos agrícolas: o Protocolo CAN (Controller Area Network) e a ISO11783 (ISOBus)**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007.

TORO, Vicente Del. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Tradução Onofre de Andrade Martins. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

UFSC. **Como funciona o GPS**. 2014. Disponível < <http://ectjoinville.com/AttractionsAndEquips/HowWorksDetail/8651> >. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

YAZDI, N.; AYAZI, F.; NAJAFI, K. Micromachined Inertial Sensors. **Proceedings of the IEEE**, vol. 86 n° 8, 08 Agosto 1998.

APÊNDICE A – DIAGRAMA DE BLOCOS DO *HARWARE*

