

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM PROJETO E PROCESSOS DE  
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UMA  
SEMEADORA DE PRECISÃO AUTÔNOMA

Émerson de Mattos

Passo Fundo

2022



CIP – Catalogação na Publicação

M444d Mattos, Émerson de  
Desenvolvimento do conceito de uma semeadora de  
precisão autônoma [recurso eletrônico] / Émerson de Mattos. –  
2022.  
3,574 Kb ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber.  
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de  
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2022.

1. Robótica. 2. Máquinas automáticas. 3. Máquinas  
agrícolas. 4. Projeto de produto. I. Walber, Márcio, orientador.  
II. Título.

CDU: 631.3

**Émerson de Mattos**

**DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE  
UMA SEMEADORA DE PRECISÃO AUTÔNOMA**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2022

**Émerson de Mattos**

**DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE  
UMA SEMEADORA DE PRECISÃO AUTÔNOMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 06 de agosto de 2022.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Dr. Márcio Walber  
Orientador

Professor Dr. Patric Daniel Neis

Professor Dr. Agenor Dias de Meira Junior

Professor Dr. Carlos Edmundo Abreu Lima Ipar

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho. Ao meu orientador professor Dr. Márcio Walber, pela paciência e por me direcionar com muita sabedoria e conhecimento durante o desenvolvimento do projeto. A minha família por me incentivar sempre a buscar um caminho melhor através dos estudos, em especial ao meu pai que nos deixou durante essa caminhada, e a minha esposa, principal incentivadora nesse processo do mestrado, e que sem dúvida eu não teria conseguido finalizar esse trabalho sem o seu total apoio e compreensão.

## RESUMO

A agricultura de precisão já é uma realidade no Brasil e no mundo, por isso, empresas estão desenvolvendo cada vez mais máquinas e equipamentos que realizam trabalhos mais precisos e com mais tecnologia. A soja é a principal cultura agrícola do nosso país, e uma linha autônoma da semeadora de precisão, fará com que o trabalho do plantio da semente no campo seja realizado com o mínimo de interferência humana possível, apenas para eventuais calibrações, utilizando tecnologias que permitam o seu uso durante 24 horas por dia, com combustíveis que não poluam o meio ambiente. O equipamento projetado deve ser compacto e prático de ser utilizado, o que possibilita assim o seu uso por pequenos, médios e grandes produtores agrícolas, variando somente a quantidade de equipamentos que irão trabalhar nas lavouras. O desenvolvimento deste conceito baseou-se na metodologia proposta por Pahl et al. (2005), dividido em 3 principais fases: o esclarecimento de tarefa que apresenta o planejamento inicial para o desenvolvimento do conceito, foram pesquisadas ideias sistematicamente, e selecionadas as mais promissoras. A segunda fase, denominada projeto conceitual, na qual define a solução preliminar, e ocorre a concretização para a avaliação da estrutura de funcionamento. Tudo isso foi baseado na inclusão de fatores como materiais a serem empregados, dimensionamentos aproximados, e considerações de recursos tecnológicos. Já, a terceira e última fase, denominada estrutura do conceito, que apresenta o *layout* definitivo, juntamente com a estruturação do conceito, além de características primordiais como, dar seguimento ao projeto, permitindo apresentar o conceito de um produto com possibilidades de progredir para um projeto definitivo, prototipagem e fabricação em larga escala. Este estudo possibilitou documentar e sustentar o conceito de um equipamento viável, com características que já fazem parte da realidade na agricultura mundial, que visa melhorar a qualidade de trabalho do agricultor, além de possibilitar a geração de mais alimentos para a humanidade.

*Palavras-chave:* Robótica; Máquinas autônomas; Veículo autônomo agrícola; Agricultura de precisão;

## ABSTRACT

Precision agriculture is already a reality in Brazil and in the world, so companies are increasingly developing machines and equipment that perform more precise work and with more technology. Soybean is the main agricultural crop in our country, and an autonomous precision seeder line will ensure that the work of planting the seed in the field is carried out with as little human interference as possible, only for eventual calibrations, using technologies that allow its use 24 hours a day, with fuels that do not pollute the environment. The designed equipment must be compact and practical to be used, which allows its use by small, medium and large agricultural producers, varying only the amount of equipment that will work in the crops. The development of this concept was based on the methodology proposed by Pahl et al. (2005), divided into 3 main phases: task clarification that presents the initial planning for the development of the concept, ideas were systematically researched, and the most promising ones were selected. The second phase, called conceptual design, in which the preliminary solution is defined, and the implementation takes place for the evaluation of the operating structure. All of this was based on the inclusion of factors such as materials to be used, approximate sizing, and technological resource considerations. The third and final phase, called the concept structure, presents the final layout, together with the structuring of the concept, in addition to essential characteristics such as following up on the project, allowing the presentation of the concept of a product with possibilities of progressing to a definitive design, prototyping and large-scale manufacturing. This study made it possible to document and support the concept of a viable equipment, with characteristics that are already part of the reality in world agriculture, which aims to improve the quality of work of the farmer, in addition to enabling the generation of more food for humanity.

*Keywords:* Robotics; Autonomous machines; Agricultural autonomous vehicle; Precision agriculture;

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Como o ambiente afeta o sistema de robótica agrícola .....             | 14 |
| Figura 2 - Semeadora de precisão.....   | 19 |
| Figura 3 - Linha de plantio modelo pivotada .....                                 | 20 |
| Figura 4 - Linha de plantio modelo pantográfico .....                             | 21 |
| Figura 5 - O trator sem motorista .....   | 24 |
| Figura 6 - Componentes de um sistema de direção automática .....                  | 25 |
| Figura 7 - Robô transplante de arroz, robô trator e robô colheita de arroz .....  | 28 |
| Figura 8 - Robô projetado para colher morangos .....                              | 29 |
| Figura 9 - Tipos de sistemas de transporte .....                                  | 32 |
| Figura 10 - Plataforma robótica e método para executar múltiplas funções .....    | 35 |
| Figura 11 - Veículo de tração agrícola autônomo e suas variações.....             | 36 |
| Figura 12 - Veículo autônomo, veículo agrícola autônomo e sistema de veículo..... | 37 |
| Figura 13 - Robô autônomo aplicado na agricultura .....                           | 38 |
| Figura 14 - Veículo agrícola autônomo modular.....                                | 38 |
| Figura 15 - Montagem de veículo autônomo agrícola.....                            | 39 |
| Figura 16 - Fluxograma do método de desenvolvimento de projetos .....             | 40 |
| Figura 17 - Etapas de trabalho segundo a metodologia aplicada .....               | 43 |
| Figura 18 - Etapas de trabalho segundo a metodologia aplicada .....               | 44 |
| Figura 19 - Fluxograma das etapas do esclarecimento da tarefa.....                | 46 |
| Figura 20 - Modelo DOT e modelo FEND de semeadoras de precisão autônoma .....     | 48 |
| Figura 21 - Pulverizador autônomo Jacto Arbus 4000 .....                          | 48 |
| Figura 22 - Linha mestra .....  | 52 |
| Figura 23 - Fluxograma das etapas do projeto conceitual.....                      | 60 |
| Figura 24 - Função global da semeadora de precisão autônoma.....                  | 65 |
| Figura 25 - Estrutura de funções: subfunções relacionadas ao projeto .....        | 66 |
| Figura 26 - Funções secundárias devido ao emprego da microeletrônica.....         | 67 |
| Figura 27 - Esboço variante de solução A .....                                    | 79 |
| Figura 28 - Esboço variante de solução B .....                                    | 80 |
| Figura 29 - Organograma de objetivos .....  | 83 |
| Figura 30 - Fluxograma das etapas da estrutura do conceito .....                  | 86 |
| Figura 31 - Esquema de distribuição de componentes internos .....                 | 87 |
| Figura 32 - Painel semântico .....  | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 33 - Etapas do desenvolvimento do conceito final.....                | 94  |
| Figura 34 - Visão geral da semeadora de precisão autônoma .....             | 95  |
| Figura 35 - Sentido do deslocamento da semeadora de precisão autônoma ..... | 96  |
| Figura 36 - Vista em corte total do equipamento .....                       | 96  |
| Figura 37 - Características gerais do equipamento.....                      | 97  |
| Figura 38 - Modelos de carga do equipamento .....                           | 98  |
| Figura 39 - Conceito da arquitetura global do sistema.....                  | 99  |
| Figura 40 - Modelo de interface / menu do usuário/máquina.....              | 100 |
| Figura 41 - Dimensões da semeadora de precisão autônoma.....                | 101 |
| Figura 42 - Materiais para fabricação e dedução de custos.....              | 104 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 - Níveis de automação segundo norma SAE, J3016_201806.....                                 | 22  |
| Quadro 2 - Níveis de automação e suas características .....   | 23  |
| Quadro 3 - Sensores, algoritmos e estratégias de controle comuns em veículos agrícolas .....        | 24  |
| Quadro 4 - Histórico de avanços técnicos em veículos agrícolas autônomos .....                      | 26  |
| Quadro 5 - Diferença entre sistemas de transporte.....  | 33  |
| Quadro 6 - Lista de requisitos considerados fundamentais para o desenvolvimento do<br>conceito..... | 51  |
| Quadro 7 - Características do projeto .....   | 53  |
| Quadro 8 - Aplicação da técnica do cenário.....   | 54  |
| Quadro 9 - Lista de requisitos de projetos desenvolvidos a partir da linha mestra .....             | 55  |
| Quadro 10 - Lista de justificativas dos requisitos.....   | 57  |
| Quadro 11 - Técnica da abstração .....  | 62  |
| Quadro 12 - Relação de entradas e saídas do processo .....  | 64  |
| Quadro 13 - Matriz morfológica.....   | 69  |
| Quadro 14 - Seleção das variantes de solução.....   | 75  |
| Quadro 15 - Matriz morfológica com encontro de soluções .....                                       | 77  |
| Quadro 16 - Critérios avaliativos para a concretização das variantes .....                          | 81  |
| Quadro 17 - Catálogo de componentes .....   | 91  |
| Quadro 18 - Discussão da lista de requisitos .....  | 102 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Critérios de avaliação das soluções ..... | 83 |
| Tabela 2 - Avaliação das variantes .....             | 84 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|        |   |
|--------|---|
| FAO    | – Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| PIB    | – Produto interno bruto                                   |
| SPD    | – Sistema de plantio direto                               |
| CONBEA | – Congresso brasileiro de engenharia agrícola             |
| ABNT   | – Associação brasileira de normas técnicas                |
| VAA    | – Veículo autônomo Agrícola                               |
| SAE    | – Society of Automotive Engineers                         |
| RTK    | – Real time kinematic                                     |
| GDS    | – Global Distribution System                              |
| RF     | – Radio frequency   |
| PID    | – Proporcional Integral Derivativo                        |
| GPS    | – Global System Position                                  |
| DGPS   | – Differential Global System Position                     |
| LADAR  | – Laser detection and ranging                             |
| LIDAR  | – Light detection and ranging                             |
| LFR    | – Laser Rangefinder                                       |
| INPI   | – Instituto nacional de propriedade intelectual           |
| GHz    | – Gigahertz   |
| GB     | – Gigabyte  |
| GNSS   | – Sistema global de navegação por satélite                |
| INS    | – Sistema de navegação inercial                           |
| 2D     | – Duas dimensões  |
| 3D     | – Três dimensões  |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1 Justificativa.....  | 14        |
| 1.2 Objetivos do trabalho .....                                       | 15        |
| 1.2.1 Objetivo geral .....  | 15        |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                                      | 15        |
| 1.3 Metodologia da pesquisa .....                                     | 16        |
| 1.4 Estrutura do documento.....                                       | 17        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                  | <b>18</b> |
| 2.1 Semeadoras de precisão.....                                       | 18        |
| 2.2 Conceitos de automação .....                                      | 21        |
| 2.3 Veículos autônomos agrícolas .....                                | 23        |
| 2.4 Navegação autônoma em sistemas agrícolas.....                     | 29        |
| 2.5 Sistemas de transporte .....                                      | 32        |
| 2.6 Patentes de veículos autônomos agrícolas.....                     | 34        |
| 2.7 Metodologia do projeto .....                                      | 39        |
| 2.7.1 Conclusão da revisão .....                                      | 41        |
| <b>3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....</b>                              | <b>43</b> |
| 3.1 Esclarecimento da tarefa.....                                     | 46        |
| 3.1.1 Planejamento do produto .....                                   | 47        |
| 3.1.2 Elaboração dos requisitos do projeto.....                       | 49        |
| 3.1.2.1 Identificando requisitos .....                                | 50        |
| 3.1.3 Técnica da linha mestra .....                                   | 51        |
| 3.1.4 Técnica do cenário.....   | 53        |
| 3.1.5 Lista de requisitos.....  | 55        |
| <b>4 Projeto Conceitual .....</b>                                     | <b>60</b> |
| 4.1 Abstração para identificação dos problemas essenciais .....       | 61        |
| 4.1.1 Identificação de problemas a partir da lista de requisitos..... | 61        |
| 4.1.2 Elaboração da estrutura de funções .....                        | 63        |
| 4.1.2.1 Função global .....   | 63        |
| 4.1.2.2 Subfunções principais e auxiliares .....                      | 65        |
| 4.1.3 Princípios de solução para as subfunções.....                   | 69        |
| 4.1.3.1 Detalhamento e representação das concepções viáveis.....      | 78        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.1.3.2  | Materialização das variantes básicas da solução .....                 | 80         |
| 4.1.4    | Avaliação das variantes conceituais .....                             | 82         |
| <b>5</b> | <b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>                                 | <b>85</b>  |
| 5.1      | Estrutura do conceito .....   | 85         |
| 5.2      | Determinantes do conceito .....                                       | 86         |
| 5.2.1    | Identificação dos requisitos dominantes para o projeto de forma ..... | 86         |
| 5.2.2    | Esclarecimento das condicionantes espaciais.....                      | 88         |
| 5.2.3    | Evolução da variante de solução A.....                                | 92         |
| 5.2.3.1  | Evolução do Layout.....   | 93         |
| 5.3      | Apresentação da semeadora de precisão autônoma.....                   | 94         |
| 5.3.1    | Resumo e evolução do projeto.....                                     | 101        |
| 5.3.2    | Discussão da lista de requisitos .....                                | 102        |
| 5.3.3    | Materiais e viabilidade de fabricação .....                           | 103        |
| 5.3.4    | Formação para o projeto definitivo .....                              | 104        |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                      | <b>106</b> |
| 6.1      | Análise dos objetivos.....  | 106        |
| 6.2      | Contribuição científica .....   | 107        |
| 6.3      | Sugestão de trabalhos futuros .....                                   | 108        |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>109</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos principais impulsionadores da economia nacional e mundial, além de ser essencial para a sobrevivência do planeta. Segundo o último Anuário Estatístico da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), sete países concentram dois terços do número de pessoas que passam por fome no planeta. Apesar disso, em boa parte dos países em desenvolvimento, a agricultura continua sendo uma das atividades econômicas mais importantes, compreendendo até 30% do Produto Interno Bruto (PIB), sendo que, 821 milhões de pessoas no mundo ainda passam fome (1 em cada 9 pessoas). Ainda falta comida suficiente para a maior parte da população mundial manter uma vida saudável, de modo que 10% da população mundial está exposta à insegurança alimentar grave. Em 2007, 13,1% das pessoas do mundo se encontravam em estado de desnutrição. Segundo os últimos dados da FAO (2018), em 2017, esse percentual diminuiu para 10,9%, sendo que a maior parte reside na África.

Por isso, o investimento em desenvolvimento de máquinas agrícolas que venham a colaborar para o aumento na produção de alimentos no mundo é essencial neste momento, pois além de colaborar com a economia local, possibilita o aumento na produtividade e, dessa forma, contribui com a sociedade. Outro fator importante é o avanço tecnológico que vem em grande expansão e, na medida que avança, fica mais acessível para a população em geral.

Segundo a Embrapa Soja (2019), com dados de Junho de 2019, são produzidos no mundo 362.075 milhões de toneladas de soja, dessas 123.664 milhões são produzidas nos Estados Unidos (EUA), ocupando o primeiro lugar em produção, seguido pelo Brasil com 114,843 milhões de toneladas/ano, sendo que o Brasil possui a maior área plantada com 35,822 milhões de hectares. Como sendo a maior cultura agrícola do Brasil, a soja é plantada por plantadeiras tracionadas por tratores, principalmente pelo sistema de plantio direto (SPD), muito difundido na região Sul do Brasil, que vem se espalhando cada dia mais por todo o território nacional.

A indústria está sempre inovando o modo de trabalho na agricultura, sendo que os primeiros registros de autonomia nesse meio se dão na década de 20, de acordo com Ming et al. (2009), na tentativa de aplicar algo que se conhece atualmente como sistemas autônomos de guiagem em um trator. Esse foi o início para uma nova revolução no modo de como as máquinas agrícolas trabalham e interagem em nosso meio, como observado por Blackmore (2009), que declarou que as práticas agronômicas estão sendo modificadas, pois há grandes pesquisas em universidades na área da automação agrícola, correlacionando a interferência do ambiente sobre essa prática, conforme Figura 1. Ainda, segundo Blackmore (2009), “as mudanças de

paradigmas serão necessárias, pois o desenvolvimento das tarefas de campo com o auxílio de robôs autônomos agrícolas é diferente da rotina agrícola atual”, as atividades desenvolvidas na agricultura seriam automatizadas com sistemas computacionais dedicados para a racionalização da energia, insumos e mecanização, o que melhora o ambiente, a segurança, a gestão e a economia agrícola.

A criação desses novos dispositivos no ramo agrícola oferece possibilidades de aplicações em diversas áreas, conforme demonstra Figura 1. Além disso, esse sistema irá possibilitar novas técnicas agropecuárias, pois as decisões terão mais embasamento técnico (mais informações exatas em menor tempo), as atividades terão outra logística e os processos serão mais rápidos, já que muitos desses dispositivos trabalham em tempo integral, sem a necessidade de longas pausas para descanso.

Figura 1 - Como o ambiente afeta o sistema de robótica agrícola



Fonte: Adaptado de Blackmore, 2009.

## 1.1 Justificativa

As plantadeiras passaram por várias inovações tecnológicas, principalmente nos últimos anos, focando em desenvolvimentos pontuais nos seus sistemas. Porém, elas seguem um mesmo padrão quando observadas as diferentes máquinas em comercialização, tracionadas por tratores, com todas as “linhas” juntas, com caixas únicas para grandes volumes, ou caixas individuais para pequeno porte, variando o tamanho em números de linhas solicitadas pelo produtor, que

podem ser encontradas a partir de 3 linhas até a maior semeadora de precisão do mundo, produzida pela empresa australiana MFS, com 48 metros de largura e 96 linhas.

Sendo assim, este trabalho de pesquisa e desenvolvimento, vai ao encontro de uma nova tendência mundial, muito difundida em congressos e fóruns de maquinários agrícolas, que é a diminuição do tamanho desses produtos, com maior inserção de tecnologia e, principalmente, autonomia durante o processo do plantio, facilitando a logística, diminuindo o tempo de manutenção e de máquina parada, menor número de operadores e de máquinas agregadas, necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

Nesse sentido, o desenvolvimento de um equipamento autônomo para realizar o plantio de sementes graúdas vai auxiliar o trabalho do homem do campo, pois através dele, o processo como um todo será mais independente e o operador poderá realizar outros trabalhos ao mesmo tempo. Com esse equipamento, será possível realizar mais horas de trabalho, já que efeitos como temperatura e mudanças climáticas são cruciais para uma lavoura, além de possibilitar o adiantamento desses trabalhos que hoje sofrem por depender de mão de obra humana.

Ademais, há outras tendências como a de operar por meio de uma energia mais limpa e a possibilidade de levar o mesmo equipamento para pequenos, médios e grandes agricultores, com linhas de plantio que trabalharão de modo totalmente independente.

## **1.2 Objetivos do trabalho**

A seguir, serão apresentados os objetivos gerais e específicos, os quais serão guias para o desenvolvimento deste trabalho.

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver o conceito de uma semeadora de precisão autônoma, a fim de se obter um produto prático e inovador ao mercado agrícola.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

1. Compreender as necessidades da atual agricultura para a diminuição da mão de obra no plantio, por meio de novas tecnologias e sistemas autônomos que possam ser aplicados no projeto;

2. Aplicar tecnologias que não poluam o meio ambiente e tenham eficiência para o funcionamento do equipamento;
3. Analisar os principais aspectos dos sistemas similares de plantios, a fim de compreender os diferentes tipos de funcionalidades e suas aplicações;
4. Desenvolver o projeto conceitual, aplicando um procedimento metodológico de projeto de produto, de maneira que o conceito produzido apresente subsídios consistentes para a realização do projeto definitivo de uma semeadora de precisão.

### 1.3 Metodologia da pesquisa

O desenvolvimento do conceito da semeadora de precisão autônoma foi concebido pelo emprego da metodologia proposta por Pahl et al. (2005), para projetos de engenharia. Essa metodologia de pesquisa é formada por quatro fases, porém aplicou-se as três primeiras: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual e a terceira fase será adaptada e denominada “estrutura do conceito”. As fases metodológicas deste trabalho desenvolvem-se da seguinte forma:

**Primeira fase (esclarecimento da tarefa):** nesta fase utilizam-se ferramentas de projeto que auxiliam na tomada de decisões, estabelecendo-se uma linha mestra que contribui para fundamentar a criação da lista de requisitos que nortearão o desenvolvimento do conceito da semeadora de precisão autônoma.

**Segunda fase (projeto conceitual):** nesta fase desenvolve-se a lista de concepções alternativas e as análises quantitativas e qualitativas das soluções das diferentes subfunções que cada parte do dispositivo deve realizar, concedendo assim, uma função preliminar à solução. A estrutura de funcionamento é apresentada para que se obtenha uma sustentação mais concreta, incluindo a ideia dos materiais a serem empregados, dimensionamentos aproximados e recursos tecnológicos a serem aplicados. Esta fase é julgada, preferencialmente com base em critérios técnicos, mas sob consideração aproximada dos critérios econômicos, tendo assim como objetivo, de escolher a melhor concepção final para o mesmo.

**Terceira fase (estrutura do conceito):** nesta fase serão correlacionados três fatores para que o conceito apresente de forma clara e completa a estrutura da construção de um produto, sendo esclarecidas a identificação dos requisitos dominantes do projeto, o esclarecimento das condicionantes espaciais e a identificação das funções principais para a determinação de forma.

## 1.4 Estrutura do documento

Este trabalho está dividido em cinco capítulos principais com seus respectivos subcapítulos:

**Capítulo 1** – Trata dos assuntos iniciais relacionados ao desenvolvimento deste trabalho, tais como justificativa e objetivos.

**Capítulo 2** – Contém a revisão bibliográfica, onde são apresentadas as características principais de semeadoras de precisão para o plantio direto existentes no mercado, e as propostas inovadoras com sistemas de automação para o ramo da agricultura.

**Capítulo 3** – Apresenta a aplicação da metodologia de desenvolvimento de produtos, proposta por Pahl et al. (2005), com suas respectivas etapas, apresentando as ações necessárias durante o desenvolvimento para que os objetivos sejam atingidos.

**Capítulo 4** – Apresenta o desenvolvimento do projeto conceitual e as principais avaliações das soluções encontradas.

**Capítulo 5** – Reservado às discussões dos resultados, com a estruturação do conceito selecionado;

**Capítulo 6** – Reservado às considerações finais, bem como às sugestões de trabalhos futuros oriundos do projeto conceitual realizado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta pesquisa tem por objetivo desenvolver o conceito de uma linha de semeadora de precisão autônoma, ao apresentar um equipamento inovador que visa facilitar o modelo de plantio de sementes graúdas conhecido na atualidade, sendo assim, este capítulo considera a base teórica necessária para o seu desenvolvimento.

Primeiramente é apresentado um resumo das principais características presentes em uma semeadora de precisão, que trabalham no sistema de plantio direto, seguido de conceitos de automação para veículos. Após esta etapa, o capítulo entrará em uma visão mais específica a respeito de veículos autônomos agrícolas e suas principais características, demonstrando alguns equipamentos derivados de pesquisas científicas, além de equipamentos patenteados. Na sequência, são apresentados os procedimentos metodológicos que serão utilizados para o desenvolvimento deste projeto.

### 2.1 Semeadoras de precisão

Para falar a respeito de máquinas que realizam o plantio, primeiro deve-se entender a diferença básica entre uma plantadora e uma semeadora. Segundo Toledo (2015), no Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, redigiu-se um documento que difere esses termos dos falados popularmente, apresentando da seguinte maneira:

- **Semeadora:** máquina agrícola que, quando acoplada em um trator agrícola, pode realizar a operação de semeadura.
- **Plantadora:** máquina agrícola que, quando acoplada em um trator agrícola, pode realizar a operação de plantio de culturas.

Se levada em consideração que a semeadura é a operação de introdução no solo de sementes de plantas, com vistas ao seu desenvolvimento cultural e plantio, se denomina como operação de introdução no solo de partes vegetativas de plantas, como toletes, manivas e tubérculos, com vistas ao seu desenvolvimento cultural, pode-se concluir que todas as máquinas das quais introduzem sementes no solo são denominadas semeadoras.

Para diferenciar os equipamentos existentes dentro desse contexto, pode-se definir as semeadoras da seguinte maneira, conforme Portella (1997):

- **Semeadoras de fluxo contínuo ABNT (1987):** são equipamentos que distribuem sementes no solo, de forma contínua, mais utilizadas para as chamadas sementes miúdas.
- **Semeadoras de precisão ABNT (1994):** são máquinas que distribuem sementes no sulco, uma a uma ou em grupos, em linhas e intervalos regulares, segundo a densidade de semeaduras pré-existentes. Nesse tipo de máquina são realizadas as semeaduras de feijão, milho e soja.

Segundo Mendes (2018), as semeadoras de precisão têm como principais funções: armazenar sementes, promover a liberação controlada de sementes, distribuir corretamente no terreno, preparar o leito da semeadura, cobrir e adensar o solo ao redor das sementes. Para que essas funções ocorram de maneira correta, deve-se levar em consideração os principais componentes dessas semeadoras, que podem ser divididos por: mecanismos dosadores de sementes, mecanismos dosadores de adubos (se houver), sulcadores, mecanismos de corte de palha e/ou discos de corte (sistema de plantio direto), controladores de profundidade, cobridores de sulco, mecanismos de compactação, reservatórios de sementes, mecanismos de transmissão, tubos condutores de sementes, marcadores de linha e rodados. Esses componentes, juntamente com os demais, contemplam as semeadoras de precisão (Figuras 2, 3 e 4), fabricadas até os dias atuais, tendo em vista algumas variações pois, esses produtos variam dependendo das regiões de comercialização e os variados sistemas de plantio.

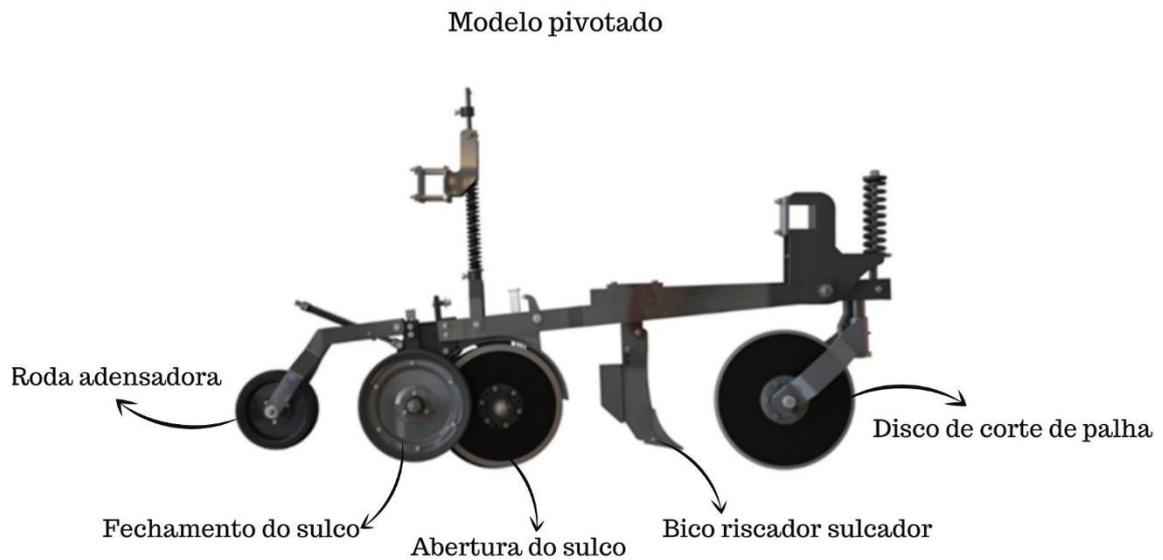
Figura 2 - Semeadora de precisão



Fonte: Grazmec (2020).

Uma semeadora de precisão contempla vários mecanismos para o seu funcionamento e, o principal deles, é o acoplamento de diversas linhas. Essas linhas são os componentes que realizam o carregamento da semente e fazem o plantio propriamente dito, isto é, nesse sistema ocorre a queda da semente no solo, a abertura e o fechamento do sulco, além da regulagem de profundidade (MIALHE, 2012). A linha de plantio é representada na Figura 3 para o modelo pivotado.

Figura 3 - Linha de plantio modelo pivotada



Fonte: Grazmec (2020).

A linha de plantio do modelo pantográfico, na qual apresenta algumas variações características de conjuntos e modelos de plantabilidade, conforme demonstra Figura 4.

Figura 4 - Linha de plantio modelo pantográfico



Fonte: Grazmec (2020).

São essas as linhas que contemplam boa parte do tamanho de uma semeadora de precisão. É por meio do dimensionamento (número de linhas e do espaçamento de plantio), que a compra é realizada, além do tipo de sistema da linha que pode ser pivotada ou de arrasto, como são popularmente conhecidas. Essas linhas são totalmente fixas no chassi da máquina, ideais para pequenos terrenos planos. As pantográficas, são linhas que possuem sistemas de articulações, são amplamente utilizadas, pois costumam copiar o terreno que trabalham, dando mais assertividade no momento do plantio pois, em terrenos mais acidentados, cada linha realiza o trabalho de forma individual. (MIALHE, 2012).

## 2.2 Conceitos de automação

A automação está cada dia mais presente em nosso vocabulário, e segundo o dicionário Aurélio, pode-se definir a automação da seguinte maneira: “sistema em que os processos operacionais em fábricas, estabelecimentos comerciais, hospitais, telecomunicações etc., são controlados e executados por meio de dispositivos mecânicos ou eletrônicos, substituindo o trabalho humano; automatização” (FERREIRA, 2010). Sistemas autônomos são uma forte tendência em diversas áreas, e muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas para que esse novo conceito esteja cada vez mais presente nos nosso dia a dia.

Atualmente, há carros autônomos nas estradas, porém, a automação para veículos se apresenta em diversos níveis. Segundo Martinesco (2020), a partir da publicação do Decreto nº 9.55710, de 8 de novembro de 2018, o Brasil passou a adotar formalmente a nomenclatura

“veículos autônomos”, bem como a norma da *Society of Automotive Engineers* (SAE), que propõe a automatização em níveis. Nos termos do decreto, “consideram-se veículos autônomos aqueles classificados a partir do nível três, segundo a regra J3016” (art.18, §4º). Observa-se no Quadro 1, os diferentes níveis de automação de veículos segundo a norma SAE, adotada pelo Brasil.

Quadro 1 - Níveis de automação segundo norma SAE, J3016\_201806

| SAE J3016 - Níveis de automação em dirigíveis             |   |   |  |  |   |  |
|---|---|---|--|--|---|--|
|   | SAE Level 0   | SAE Level 1   | SAE Level 2  | SAE Level 3  | SAE Level 4   | SAE Level 5  |
| <b>O que o humano no assento do motorista deve fazer?</b> | Você está dirigindo independentemente dos recursos de suporte do motorista estarem ativados - mesmo que seus pés estejam fora dos pedais e você não esteja dirigindo. |   |  | Você não está dirigindo quando o suporte autônomo ao motorista estiver acionado - mesmo se estiver no acento do motorista.                           |   |  |
|   | Você deve supervisionar constantemente os suportes para dirigir, você deve dirigir, frear e acelerar quando necessário para manter-se seguro.                         |   |  | Quando o suporte solicitar, você deve dirigir.   | Esse sistema de direção autônoma não irá solicitar que você assuma o controle da direção. |  |
|   | <b>Recursos quando há necessidade de motorista</b>  |   |  | <b>Recursos da direção autônoma</b>  |   |  |
| <b>O que esses recursos fazem?</b>                        | Esses recursos são limitados, irão acionar pequenos avisos e assistência momentânea   | Esses recursos irão acionar direção ou freio/acelerador como forma de suporte ao motorista. | Esses recursos irão acionar direção e freio/acelerador como forma de suporte ao motorista. | Esses recursos podem dirigir o veículo em condições limitadas, e não serão acionados ao menos que solicitados e todas as condições forem conhecidas. |   | Esses recursos podem dirigir o veículo em qualquer condição.             |
| <b>Exemplos de recursos</b>                               | *Freio automático de emergência.<br>*Avisos de pontos cegos.<br>*Aviso de partida do veículo.   | Centralização de pista ou controle de cruzeiro adaptativo.                                  | Centralização de pista e controle de cruzeiro adaptativo ao mesmo tempo.                   | Motorista autônomo em engarrafamentos.   | Direção autônoma "local".<br>Volante e pedais podem ou não estar instalados.              | O mesmo do nível 4, porém o motorista pode "guiar" em qualquer condição. |

Fonte: Adaptado de Martinesco (2020).

Nesse contexto, pode-se observar que são seis (6) os níveis de automação encontrados nos veículos, dos quais resume-se da seguinte maneira, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Níveis de automação e suas características

| Níveis de automação | Características   |
|---------------------|---|
| Nível 0             | Sem automação, controle total humano, veículos na maioria comercializados.  |
| Nível 1             | Veículos contêm o sistema de assistência a condução, auxiliando o motorista na direção e em eventuais frenagens e acelerações.                        |
| Nível 2             | Com condução semiautônoma, atuando em volantes e pedais.  |
| Nível 3             | Opera de forma autônoma em algumas situações de tráfego, porém o motorista ainda deve permanecer atento para assumir o controle em algumas situações. |
| Nível 4             | Parecido com o nível 03, mas, podendo atuar sozinho e diversas situações, elevando o nível de controle do automóvel.                                  |
| Nível 5             | Autonomia total do carro, fazendo tudo sozinho, o único comando do “condutor” será dizer o local que deseja ir.                                       |

Fonte: Adaptado de Martinesco (2020).

Quando esse conceito vem para a agricultura, ainda não se encontra nenhum órgão regulador no Brasil, com normas de níveis de autonomia como visto para os veículos de tráfego urbano, contudo, *sites* e *blogs* especializados em máquinas agrícolas, como o da fabricante Jacto, uma das pioneiras em veículos agrícolas autônomos no Brasil e no mundo, nos mostram que já existe uma nomenclatura dada a esses modelos, a VAA (Veículos Autônomos Agrícolas), ainda explica que esses equipamento são diferentes de máquinas com pilotos automáticos, modelos comuns na agricultura, os VAAs são veículos que dispensam até mesmo as cabines para o operador, e são capazes de realizar parte das suas tarefas com total autonomia, são operados remotamente, e um mesmo profissional pode supervisionar diversos equipamentos simultaneamente.

### 2.3 Veículos autônomos agrícolas

O desenvolvimento dos veículos autônomos agrícolas, se inicia pelo interesse da condição de conduzir de forma autônoma o veículo, desde os primeiros anos da década de 20, Ming et al. (2009), Rovira-Más (2009); Wilson (2000). Esse interesse se desenvolveu muito com o passar dos anos, e segundo Mousazadeh (2013) e Ming et al. (2009), nas décadas de 50 e 60, foram testados os primeiros protótipos de tratores autônomos, conforme mostra a Figura 5. Tornando esse o princípio da automatização de máquinas agrícolas, e seguindo essa tendência, foram sendo implementados sensores para mediar as distâncias laterais entre o veículo e a cultura agrícola.

Figura 5 - O trator sem motorista



Fonte: FWI (2020).

Wilson (2000) e Ming et al. (2009), relatam que durante a década de 1980 foi valorizado o potencial de combinar computadores e sensores de imagem, com o intuito de gerar sistemas de guiagem baseados em visão computacional. Essa tendência foi crescendo com o desenvolvimento de tecnologias que auxiliam nas locomoções, orientações e tarefas agrícolas, de formas totalmente autônomas. Mousazadeh (2013), conforme Quadro 3.

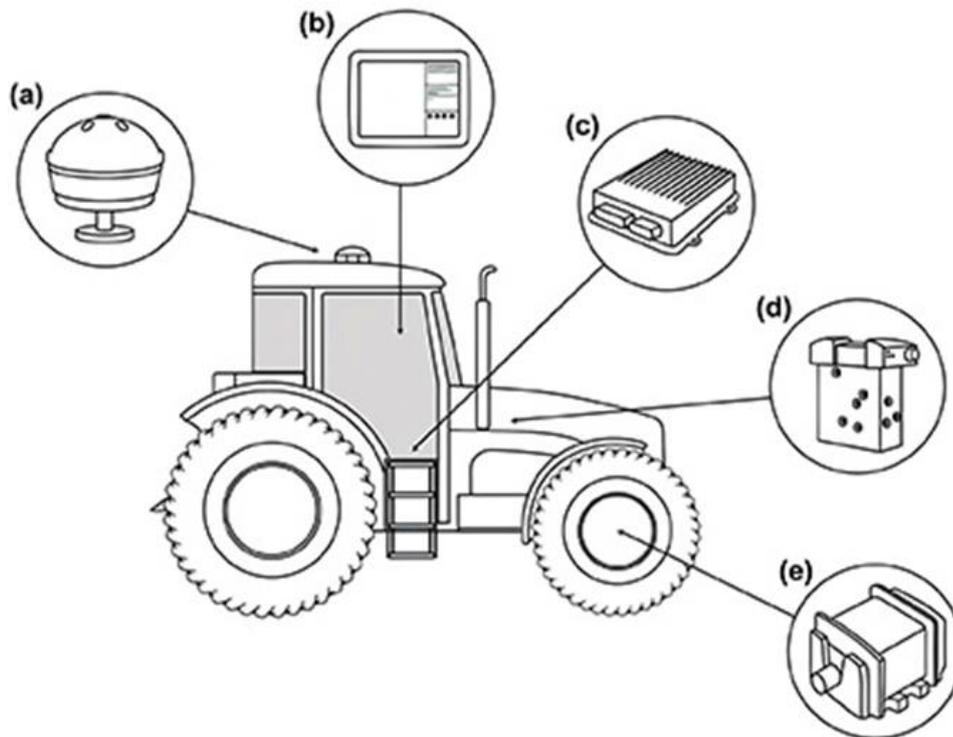
Quadro 3 - Sensores, algoritmos e estratégias de controle comuns em veículos agrícolas

| <b>Sensores</b>         | <b>Algoritmos</b>       | <b>Controle de esterçamento</b> |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| RTK-GPS                 | Dead Reckoning          | Controle de malha aberta        |
| Sensores mecânicos      | Métodos estatísticos    | Controle PID                    |
| Sensores inerciais      | Transformada Hough      | Controle Fuzzy                  |
| GDS                     | Lógica Fuzzy            | PID                             |
| Sensores ultrassônicos  | Algoritmos genéticos    | Controle adaptativo             |
| FOG                     | Filtro de Markov        |                                 |
| LADAR                   | Filtro de Kalman        |                                 |
| LIDAR                   | Processamento de imagem |                                 |
| Sensores óticos         |                         |                                 |
| Potenciômetros          |                         |                                 |
| Receptores RF           |                         |                                 |
| Sensores piezoelétricos |                         |                                 |
| NIR                     |                         |                                 |
| Sensores acústicos      |                         |                                 |

Fonte: Adaptado de Mousazadeh (2013).

Os mecanismos mais populares na automação de veículos agrícolas (sensores, algoritmos e controle de esterçamento) e suas variações dependendo da utilização, são os elementos que compõem máquinas autônomas até os dias atuais, contendo os principais elementos, (a) receptor GNSS; (b) computador; (c) sensor inercial; (d) válvula atuadora eletro-hidráulica da direção; (e) sensor de angulação do esterçamento, conforme mostra Figura 6.

Figura 6 - Componentes de um sistema de direção automática



Fonte: Revista Grupo Cultivar (2021).

Conforme Mousazadeh (2013), em um apanhado geral, apresentado por uma linha do tempo com diversos tipos de trabalhos realizados em universidades, (Quadro 4), a evolução pela qual os veículos autônomos agrícolas têm passado desde a primeira patente que se tem registro até o ano de 2012, destacando as tecnologias que foram testadas e implementadas nesses trabalhos, tratando-se de princípios básicos em um veículo agrícola autônomo.

Quadro 4 - Histórico de avanços técnicos em veículos agrícolas autônomos

| Ano  | Avanço   |
|------|--|
| 1924 | Primeira patente de trator com esterçamento automático (WILLROT, 1924).  |
| 1941 | Trator com controle de esterçamento usando um cabo guia (ANDREW, 1941).  |
| 1950 | Primeiros protótipos de tratores autônomos que usavam um cabo de referência para a guiagem (MING et al., 2009).  |
| 1968 | A ideia de usar cabos enterrados para auxiliar o esterçamento autônomo foi proposta pela primeira vez (AGHKHANI e ABBASPOUR, 2009).                                      |
| 1974 | Desenvolvimento de um trator com esterçamento autônomo baseado na traça dos sulcos (AGHKHANI e ABBASPOUR, 2009).   |
| 1978 | Modelos veiculares para um trator usando esterçamento articulado (WEISE et al., 2000).   |
| 1980 | O potencial para combinar computadores com sensores de imagem providenciou oportunidades para gerar sistemas de guiagem, usando visão computacional (MING et al., 2009). |
| 1991 | Uso de um par de rádio-balizas para triangular a posição em campo (STENTZ et al., 2001).   |
| 1997 | Uso de um algoritmo para realinhamento, baseado em filtro de Kalman (GUO et al., 2003).  |
| 2001 | Metodologia baseada em mapas para implementação de operações autônomas em campo (HAN et al., 2001).  |
| 2002 | Desenvolvimento de um trator autônomo para realização de todo tipo de tarefas em campo (KISE et al., 2002).  |
| 2003 | Uso do filtro de Kalman para estimar posição, velocidade e orientação (GUO et al., 2003).  |
| 2004 | Desenvolvimento de um Sistema de monitoramento de áreas de turfeira, usando um escâner laser em um robô agrícola (MIZUSHIMA; NOGUCHI; ISHII, 2004).                      |
| 2005 | Controle fuzzy para guiagem autônoma de um robô de floresta (ANDERSON et al., 2005).   |
| 2005 | Geração de mapas 3D usando escâner laser, GPS-RTK (YOKOTA et al., 2010).   |
| 2007 | Controle de seguimento de trajetória baseado em redes neurais BP e GIS, para mapeamento de caminhos, para um robô plantador de arroz (LUO e ZHANG, 2007).                |
| 2007 | Sincronização do deslocamento para frente de dois veículos experimentais (maestro – escravo) para autopropulsão em fileiras de árvores frutíferas (LEE et al., 2007).    |
| 2008 | Um sistema de detecção de fileiras em uma cultura de beterraba sacarina (BAKKER et al., 2008).   |
| 2010 | Avaliação da efetividade do sistema de medição baseado em laser na detecção de objetos externos em culturas em pé (DOER et al., 2009).                                   |
| 2011 | Projeto de uma plataforma robótica autônoma, usada para capinar (BAKKER et al., 2010).   |
| 2012 | Robô agrícola para seguimento de fileiras de cultura, usando visão computacional (XUE et al., 2012).   |

Fonte: Mousazadeh (2013), traduzido pelo autor.

Existem algumas classificações que podem ser usadas para separar os modelos de veículos autônomos usados na agricultura, como a proposta por Roshanianfard et al., (2020), que enfatiza a sua caracterização principal. Os veículos autônomos variam com base no tipo de *hardware* utilizado, que pode ser especificamente desenvolvido ou usado em plataformas equipadas com diferentes sensores e atuadores. Os VAAs são controlados em função de algoritmos de controle e *software*, além disso, quando desenvolvidos, otimizados e testados, podem trabalhar nos mais variados ambientes agrícolas. Esses três aspectos (*hardware*, controles e o ambiente) constituem a principal infraestrutura adotada para classificação e desenvolvimento de estudos, já que há muita variação em modelos de VAAs.

Bakker et al., (2011), realizou um estudo de navegação autônoma, usando uma plataforma de robô em um campo de plantação de beterrabas para açúcar, sendo esse um modelo que realiza a capina desse campo, e teve por objetivo avaliar um sistema de navegação autônoma baseado em RTK-DGPS (sistema de posicionamento global diferencial cinemático em tempo real) em dois modelos, um com o caminho pré-definido pelo usuário e outro por um mapeamento detectado, baseado em visão com informações do próprio conjunto. Através desse teste, observou-se que apesar dos erros apresentados, se obteve bons resultados, principalmente quando o campo se tratava de uma superfície uniforme, também foi capaz de navegar em superfícies irregulares, porém, com algumas compensações. Constatou-se que o modelo testado estava abaixo da velocidade considerada ideal para realizar o arranque das plantas, sendo necessária uma velocidade maior para que o modelo fosse aceito para a realização do trabalho. Em relação aos testes, constatou-se que a linha previamente descrita obteve um melhor resultado em relação aos erros de percurso, quando o mesmo foi desenhado somente pelo sistema, já que o primeiro teste apresentou menos erros em manobras de curvas e retornos nas linhas.

O mesmo sistema de navegação utilizado pela capinadeira em campos de beterraba para açúcar, foi utilizado no Japão em campos de arroz, com a ideia de testar três diferentes formas de trabalho e criar um conjunto de equipamentos que realizam todo o trabalho de forma autônoma. Tamaki et al., (2013), desenvolveram um robô trator, um robô de transplante de arroz e um terceiro para realizar a colheita, conforme demonstra Figura 7, todos interconectados. Os três robôs agrícolas apresentaram bons resultados nas realizações de seus trabalhos. A segurança foi um ponto observado, mesmo que durante o trabalho proposto não houve nenhum imprevisto, constatou-se que se fazem necessários meios para detecção de obstáculos, como sensores, já que no momento em que é realizado esse tipo de trabalho, os

robôs agrícolas podem se deparar com pessoas ou até mesmo objetos deixados nos locais sem nenhum aviso prévio.

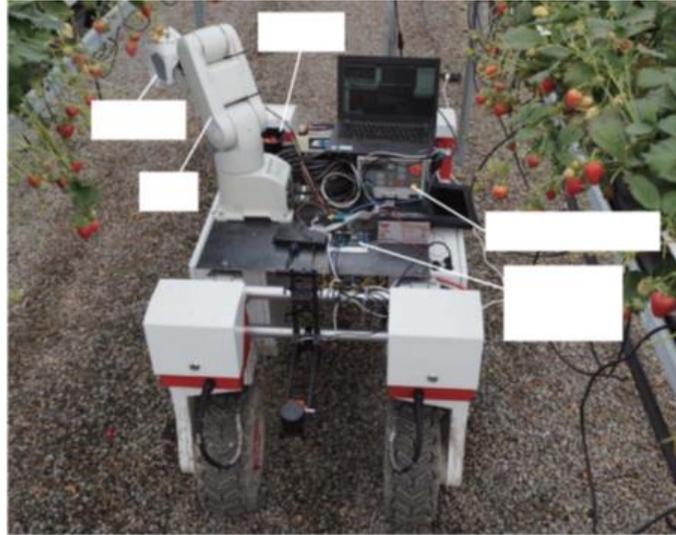
Figura 7 - Robô transplante de arroz, robô trator e robô colheita de arroz



Fonte: Adaptado de Tamaki et al., 2013.

A colheita de morangos, processo realizado manualmente, também serve como base de pesquisa para robôs autônomos. Xiong e Grimstad (2020), realizaram o projeto de um equipamento, o qual tem a capacidade de fazer a colheita de morangos maduros de forma autônoma em estufas, desviando de possíveis obstáculos e escolhendo as melhores frutas do pé através de modelos que detectam as diferentes cores de maturação, além de diferenciar os detalhes da planta para que ocorra a colheita segura, somente do morango maduro, e sem prejudicar os demais aspectos da planta, conforme demonstra Figura 8.

Figura 8 - Robô projetado para colher morangos



Fonte: Xiong; Grimstad, L. (2020).

Apesar de obter bons resultados, o projeto para realizar a colheita de morangos se mostrou relativamente lento quando comparado a uma colheita manual, e apresentou algumas falhas em locais que apresentavam difícil acesso.

Ainda há muitas outras variações de projetos de VAAs, os quais compreendem diferentes situações de trabalho, que podem ser executadas tanto no campo, quanto em ambientes fechados, como os coletores de pepinos (VAN HENTEN et al., 2009); um robô para colheita de aspargos (DONG et al., 2011); uma máquina de classificação móvel para frutas cítricas (KOHNO et al., 2011); uma colheitadeira de feijão (SAITO et al., 2013); um sistema robótico para cultivo de arrozais (TAMAKI et al., 2013), uma colhedora de pimentão (EIZICOVITS et al., 2016); uma colheitadeira robótica com vários braços (ZION et al., 2014), e robôs projetados para colher maçãs (DE-AN et al., 2011; ALI ROSHANIANFARD et al., 2020), sendo esses apenas alguns trabalhos que têm surgido nos últimos anos.

## **2.4 Navegação autônoma em sistemas agrícolas**

Conforme Widyartono e Rahmadian (2020), múltiplas soluções de automação estão sendo aplicadas nas mais diversas tarefas agrícolas, como no plantio, colheita, monitoramento, pulverização, entre outros e, enfatiza que a navegação é um dos principais pontos em comum para que essa automação tenha êxito. Essa etapa consiste em quatro requisitos conhecidos como localização, mapeamento, controle de movimento e planejamento do caminho, sendo que esse

último consiste em encontrar uma sequência de translação e rotação de um ponto de partida para um destino, evitando obstáculos em seu ambiente de trabalho.

Uma das alternativas é o Sistema de Navegação Global (GPS) monitorado por satélite, que fornece aos usuários a navegação e posição precisas. Esse sistema ajuda os diversos veículos a traçar seu curso e, é comumente utilizado para ajudar os usuários a navegar a partir de uma posição a outra. Os satélites GPS transmitem os sinais para receptores de solo, embora esses não transmitam sinais para os satélites e, dependendo de diversos fatores, muitas vezes há atrasos nos tempos dos sinais enviados dos satélites para o receptor. O sistema do GPS foi amplamente usado, principalmente em tratores, devido ao seu baixo custo e, estudos mostram que a sua utilização para guiar máquinas autônomas agrícolas pode-se obter bons resultados, conseguindo precisões de 10 a 2cm, precisões essas conseguidas em um experimento utilizando o GPS diferencial por satélite (S-DGPS). Outra técnica utilizada para se conseguir boas precisões na localização é a chamada GPS Cinemática em Tempo Real (RTK-GPS), conseguindo precisões de 2,5 a 1 cm, mostrando que a utilização do GPS para navegação pode fornecer bons resultados em diferentes áreas de navegação (WIDYARTONO; RAHMADIAN 2020).

Levando em consideração que uma lavoura pode apresentar vários obstáculos, somente a referência oferecida pelo sistema do GPS pode não ser suficiente para que se tenha êxito com a locomoção e a realização do trabalho pelo equipamento autônomo, por isso, outras técnicas subsequentes são utilizadas para auxiliar na locomoção, como a utilização de sensores de alcance baseados em visão. Segundo Widyartono e Rahmadian (2020), esse sistema tem sido comumente utilizado para a navegação de robôs, devido a sua capacidade de fornecer uma ampla gama de informações que podem ser processadas com dados para controlar o movimento do robô. Além disso, na área agrícola, esse sistema torna-se útil para guiar o equipamento ao longo das linhas de safras, o que evita eventuais obstáculos que se apresentar.

O sensoriamento através de visão baseia-se na utilização de câmeras para a obtenção de dados, tanto dimensionais quanto relacionados à características puramente visuais do ambiente como textura, cor, luminosidade etc. Em muitas situações, essas características apresentam importância fundamental para a correta modelagem do ambiente, sendo que sensores de alcance são incapazes de medi-las. Além disso, o custo de aquisição de câmeras com desempenho razoável é consideravelmente menor que o de lasers. Por esses motivos, as técnicas de navegação autônomas baseadas em visão têm sido amplamente desenvolvidas e, atualmente, aplicadas em diversos problemas relevantes (MENEZES, 2018).

O sensor de navegação baseado em laser tem sido comumente utilizado em pesquisas sobre navegação autônoma. Tem mais alcance, resolução superior e não é afetado por condições ambientais, como fortes mudanças de luz que pode afetar a visão da máquina ou sombreamento de micro-ondas, que pode afetar o sistema GPS (WIDYARTONO; RAHMADIAN, 2020). Entre os mais variados modelos desse sistema, existem alguns que se destacam e estão sendo utilizados no ramo agrícola, tais como:

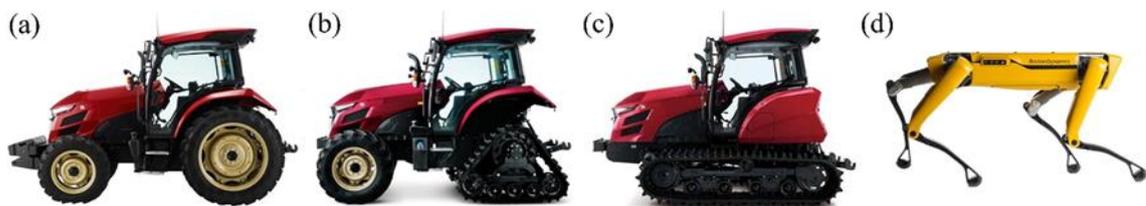
- **LIDAR (*Light Detection And Ranging*)**: é uma tecnologia usada principalmente pela comunidade de mapeamento geoespacial para produzir mapas de elevação de terreno denso e altamente precisos (CAMPBELL, J., 2003). Ramos (2016), comenta que o LIDAR é amplamente utilizado em sistemas autônomos por sua precisão, por ser um sistema de sensoriamento remoto que mede propriedades da luz refletida, para obter distância e outras informações a respeito de obstáculos e ou objetos que estão em seu caminho.
- **LFR (*Laser Rangefinder*)**: serve para medir a distância em um tempo muito curto, e realizar uma análise de dados rápida, sendo utilizado para posicionar o robô móvel e guiá-lo a fim de evitar obstáculos. Sua precisão pode chegar a milímetros (HSIA; SU, 2013). Esse sistema emite um pequeno impulso luminoso, que ao atingir um obstáculo retorna, fazendo com que a luz difusa seja coletada por um detector, o que permite calcular, dessa forma, a distância entre os dois pontos. Um experimento realizado mostrou que quando utilizado em uma colheitadeira, esse sistema evitou colisões e apresentou 90% de precisão (CHATEAU et al. 2000; NAGASAKA et al. 2004).
- **Laser Radar/Ladar**: é um dispositivo ativo que emite radiação laser modulada para os arredores da área do dispositivo, onde a radiação será ecoada de volta para o receptor na área colocalizada (RICHMOND; CAIN, 2010). Experimentos comprovam que o Ladar funciona extremamente bem em caminhos retos, sendo esse resultado adequado para becos típicos de pomares de frutas cítricas que são praticamente retos (SUBRAMANIAN; BURKS; AROYYO, 2006).

Muitos desses elementos podem trabalhar em conjunto, por isso o sistema de trabalho e o ambiente se tornam peças fundamentais para que o projetista escolha os melhores meios para que o equipamento tenha uma performance que satisfaça o trabalho proposto.

## 2.5 Sistemas de transporte

O sistema de transporte é o principal componente de plataformas móveis e VAAs. Os quatro tipos de sistemas de transporte usados atualmente são o tipo roda, meia esteira, esteira (trilha contínua) e perna robótica, conforme demonstra Figura 9. Cada um desses sistemas de transporte foi projetado para uma determinada aplicação e desempenho, e cada um tem vantagens e desvantagens. O projetista de um VAA deve considerar a capacidade de gerenciamento do veículo autônomo em diferentes ambientes agrícolas, antes de selecionar o sistema de transporte apropriado (ROSHANIANFARD et al., 2020).

Figura 9 - Tipos de sistemas de transporte



(a) rodas, (b) rodas e esteira, (c) esteira (d) pernas robóticas.

Fonte: Adaptado de Roshanianfard. et al. (2020).

O sistema de transporte tipo roda é o mais comum na atual sociedade e o modelo mais habitual na agricultura brasileira. Esse sistema traz facilidades como a locomoção no solo, além da agilidade que o sistema tem para efetuar curvas em curtos espaços. Entretanto, as rodas podem causar a compactação do solo, que foi intensificada pela modernização da agricultura, com o aumento do peso das máquinas e equipamentos e, da intensidade de uso do solo. Esse processo não foi acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo. RICHART, et al., (2005); MAZIERO et al., (1997), enfatizam que o tipo de construção do pneu também pode determinar a maior ou menor compactação do solo. Os pneus radiais, devido à disposição das lonas, tornam os flancos mais flexíveis, por isso obtêm maior área de contato que o pneu de construção diagonal. Segundo Davies; Finney; Richardson (1973), nas pesquisas sobre a compactação do solo provocada por tratores operando com diferentes lastragens e patinagens, a patinação foi a causa de compactação mais importante, o que comprova também que a patinação possui grande influência na compactação do solo.

Há também o sistema de transporte via esteira, segundo Roshanianfard. et al. (2020), as quais possuem mais atrito, o que reduz a possibilidade de patinação e, conseqüentemente, a

compactação do solo. Comparando-se o pneu com a esteira da mesma largura e carga, pode-se afirmar que, a certa profundidade no solo, a tensão causada pelo pneu é sempre maior que a causada pela esteira. Além disso, tratores agrícolas com esteira de borracha têm sido apresentados ao mercado consumidor nos últimos anos. Este sistema combina a mobilidade e velocidade dos pneus de borracha com a eficiência e o bom desempenho das esteiras. Esses tratores podem apresentar até cinco eixos de cada lado, os quais diminuem a carga por eixo e, conseqüentemente, causam menor compactação (CAMARGO; ALLEONI, 2006). Porém, ao relacionar com projetos, a esteira tem como desvantagem ser um sistema mais complexo, difícil de reparar, apresenta um grande número de componentes e a capacidade de manobra é reduzida, onde necessita de áreas maiores que os pneus para realizar certos tipos de manobras (ROSHANIANFARD et al., 2020).

O sistema de transporte por pernas robóticas raramente é utilizado, por tratar-se de um projeto extremamente complexo, com custo elevado, baixa rentabilidade e capacidade de manobras limitadas. Sua única grande vantagem é a sua locomoção ser possível em superfícies imprevisíveis, irregulares e complicadas (ROSHANIANFARD et al., 2020). As diferenças desses sistemas podem ser observadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Diferença entre sistemas de transporte

|   | <b>Rodas</b>    | <b>Esteiras</b>                 | <b>Pernas robóticas</b> |
|---|-----------------|---------------------------------|-------------------------|
| <b>Complexibilidade do design e desenvolvimento</b> | baixa           | alto                            | alto                    |
| <b>Manutenção</b>                                   | fácil           | Difícil (quebra com facilidade) | difícil                 |
| <b>Tempo uso</b>                                    | longo           | curto                           | curto                   |
| <b>Custo</b>  | baixo           | alto                            | alto                    |
| <b>Tipo de material</b>                             | vários          | vários                          | vários                  |
| <b>Peso</b>   | leve            | pesado                          | leve                    |
| <b>Pressão no solo</b>                              | alta            | baixa                           | alta                    |
| <b>Compactação com solo</b>                         | alta            | média                           | baixa                   |
| <b>Eficiência</b>                                   | baixo           | alto                            | média                   |
| <b>Atrito</b>                                       | Baixo           | alto                            | baixa                   |
| <b>Manobras em campo</b>                            | bom             | ruim                            | limitado                |
| <b>Ambiente de manobra</b>                          | seco e solido   | todas as superfícies            | limitado                |
| <b>Tração em chão molhado, escorregadio</b>         | ruim            | boa                             | ótima                   |
| <b>Dirigibilidade em obstáculos</b>                 | difícil         | fácil                           | médio                   |
| <b>Sistema de tração</b>                            | Não otimizado   | Fácil otimização                | Não otimizado           |
| <b>Direção</b>                                      | boa             | ruim                            | ruim                    |
| <b>Giro</b>   | grandes lugares | pequenos lugares                | complexo                |
| <b>Velocidade</b>                                   | alta            | baixo                           | baixo                   |
| <b>Precisão</b>                                     | boa             | ruim                            | baixo                   |

Fonte: adaptado de Roshanianfard. et al. 2020.

Um fator limitante de robôs de campo é o seu consumo de energia, que interfere no raio de ação. Embora os robôs possam ser alimentados por combustíveis fósseis, o adequado é a utilização de fontes disponíveis no local, como luz solar, energias renováveis ou biocombustíveis, para diminuir o impacto ambiental (HACKENHAAR et al., 2014).

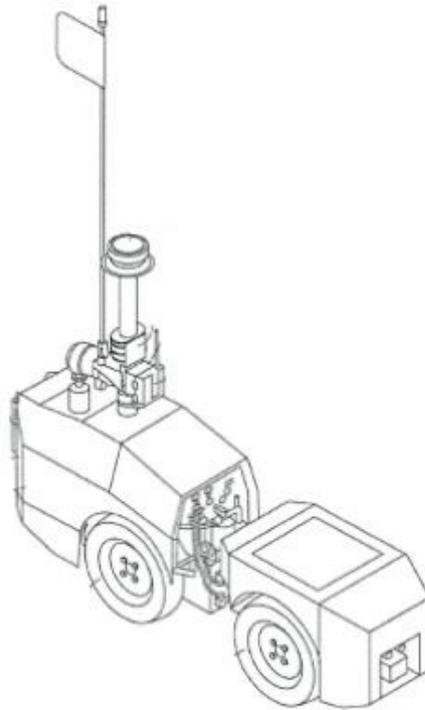
## **2.6 Patentes de veículos autônomos agrícolas**

Além da área da pesquisa e desenvolvimento, os VAAs já estão presentes na indústria, e observa-se um grande interesse na comercialização desses produtos, já que eles juntam alta tecnologia com maior eficiência nas estufas e/ou lavouras.

Ao pesquisar “*veículos autônomos agrícolas*” no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), observa-se um total de sete processos que correspondem a esses termos, sendo o primeiro com depósito no ano de 2014. Observa-se que entre os pedidos encontram-se depositantes independentes, engenheiros de indústrias e centros universitários e, se tem patentes de equipamentos, conjuntos de peças e até mesmo de sistemas para que os equipamentos possam vir a tornar-se autônomos.

Destacam-se entre as patentes nacionais a primeira patente depositada com os termos já mencionados, “PLATAFORMA ROBÓTICA E MÉTODO PARA EXECUTAR MÚLTIPLAS FUNÇÕES EM SISTEMAS AGRÍCOLAS”. Uma plataforma de veículo autônomo e sistema para realizar seletivamente uma tarefa de gestão em estação em um campo agrícola, enquanto a auto navegação entre as linhas de culturas plantadas, a plataforma de veículo autônomo, com um veículo base, com uma largura dimensionada de modo a ser inserida através do espaço entre duas fileiras de culturas plantadas, a base de veículo com uma estrutura de gerenciamento de tarefas em temporada configurada para executar várias tarefas, incluindo aplicação seletiva de fertilizantes, zonas de crescimento de mapeamento e cultura de semeadura de cobertura dentro de um campo agrícola. (BARES; LOFREN, 2021), conforme demonstra Figura 10.

Figura 10 - Plataforma robótica e método para executar múltiplas funções



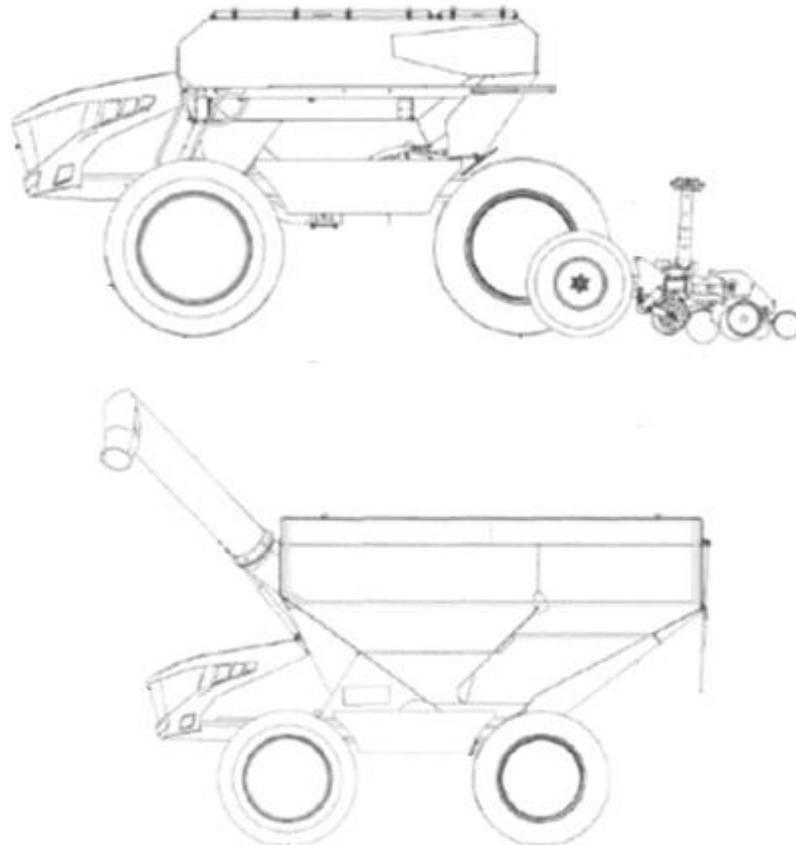
Fonte: Bares; Lofgren (2021).

Esse veículo tem por objetivo realizar coletas de solo, além de auxiliar na aplicação do adubo, quando detectada alguma deficiência no solo, que está impedindo o crescimento da planta.

O inventor Michael Horsch encaminhou o depósito de patente de um veículo autônomo que serve para tracionar e/ou acoplar equipamentos similares aos encontrados no mercado, porém funcionam de forma totalmente dependente de outros equipamentos, a sua patente contempla o seguinte relato: “VEÍCULO DE TRACÇÃO AGRÍCOLA AUTÔNOMO”. É divulgado um veículo de tração agrícola autônomo para tracionar pelo menos um implemento agrícola, com uma estrutura e um chassi fixado à estrutura de quadro, o chassi possuindo pelo menos duas rodas e/ou chassis de esteira esterçáveis, em que a estrutura de quadro é associada a pelo menos um dispositivo de montagem para a conexão com ao menos um implemento agrícola, e com um sistema de sensores de ambiente para detectar obstáculos e/ou elementos existentes no entorno do veículo de tração, bem como com um dispositivo de controle para o veículo de tração e/ou o pelo menos um implemento, em que o dispositivo de controle pode ser conectado a um sistema de determinação de posição que detecta e/ou emite uma posição a fim de criar um veículo de tração agrícola autônomo cuja eficácia não seja reduzida, em que nenhum veículo rebocador adicional seja necessário para os implementos e, além disso, para que nenhum operador seja obrigatoriamente necessário durante o trabalho no campo. No dispositivo

de controle são armazenadas, preferencialmente, instruções de trabalho dependentes da posição para o veículo de tração. A invenção também se refere a um método para controlar e/ou regular um veículo de tração autônomo (HORSCH, 2021). As diversas configurações podem ser observadas na Figura 11.

Figura 11 - Veículo de tração agrícola autônomo e suas variações

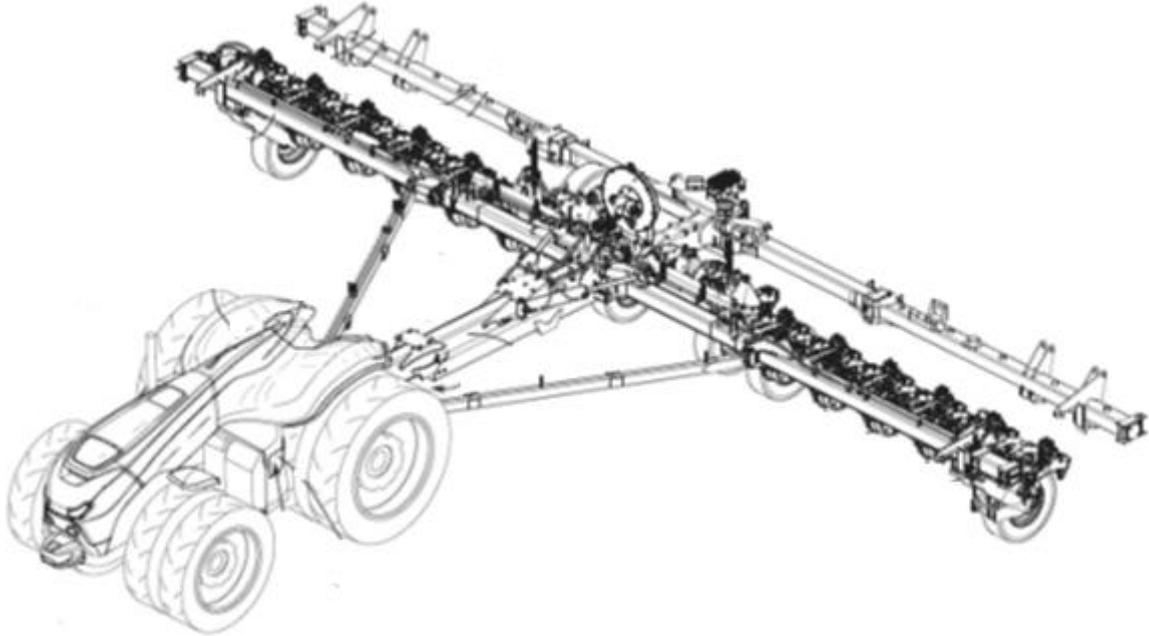


Fonte: Horsch (2021).

De uma maneira diferente, se encontra o modelo depositado por Dwayne ST. George Jackson, contemplando um trator autônomo, que não possui cabine, já que não se faz necessária a ação de um operador junto ao equipamento para mantê-lo em funcionamento. A patente que descreve “VEÍCULO AUTÔNOMO, VEÍCULO AGRÍCOLA AUTÔNOMO E SISTEMA DE VEÍCULO”. Em uma realização, um veículo agrícola autônomo inclui uma interface de controle disposta em um encerramento do veículo agrícola autônomo e é configurado para ajustar ou controlar a operação do veículo agrícola autônomo, um implemento preso ao veículo agrícola autônomo, ou uma combinação deles. O veículo agrícola autônomo inclui adicionalmente um painel removível acoplado pelo menos parcialmente e de forma removível ao longo do encerramento, em que o painel removível é posicionado para ser acessível por um

operador que esteja operando fora do veículo agrícola autônomo (JACKSON, 2017), conforme mostra Figura 12.

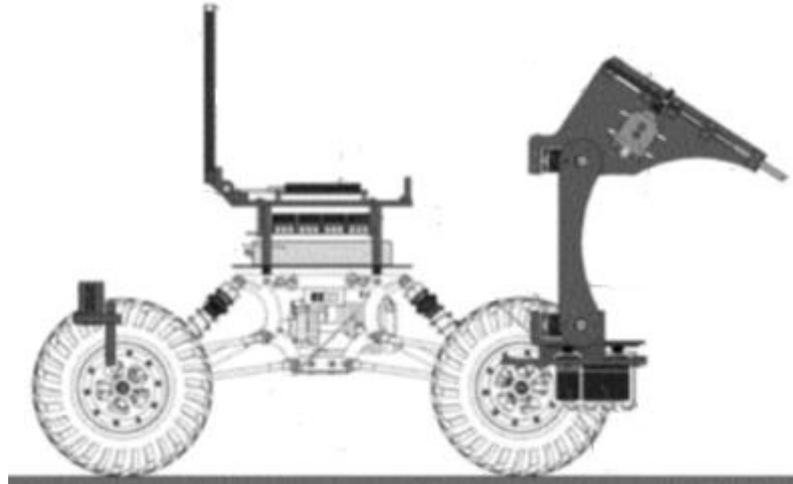
Figura 12 - Veículo autônomo, veículo agrícola autônomo e sistema de veículo



Fonte: Jackson (2017).

Além de empresas privadas, centros universitários também têm demonstrado interesse nesse assunto. Observa-se a solicitação de patentes para esses equipamentos, tendo como inventores Ariangelo Hauer Dias, Ivo Mario Mathias, Anderson Estevam da Rosa, Daurimar Mendes da Silva e Robson Fernando Duda, do Centro Universitário de Ponta Grossa - PR, o seguinte projeto patenteadado, “ROBÔ AUTÔNOMO APLICADO NA AGRICULTURA. O presente pedido de patente versa sobre a invenção do robô autônomo aplicado na agricultura, constituído por sistema computacional, algoritmos e estrutura robótica, montado sobre veículo com quatro rodas e tração 4x4, movido por energia elétrica, guiado e controlado pelo sistema computacional instalado em um *smartphone*, e com automatização da coleta de amostras do solo através do braço robótico, nas opções de tele operação ou autônomo, para áreas de cultivos agrícolas. (DIAS et al., 2015), Figura 13.

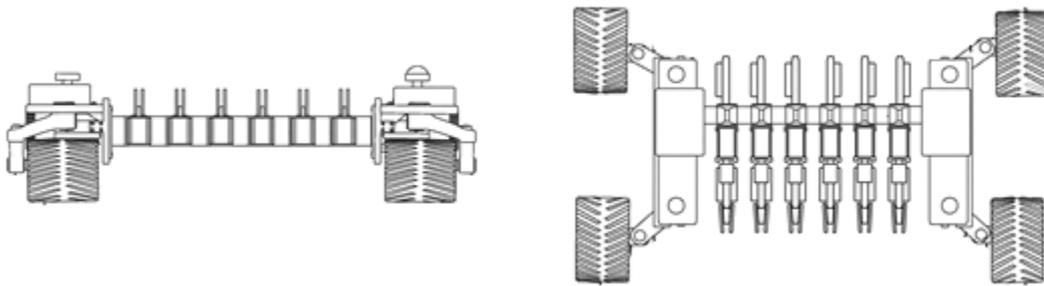
Figura 13 - Robô autônomo aplicado na agricultura



Fonte: Dias et al. (2015).

Por meio de pesquisas em bases de patentes internacionais, observa-se o aumento de registros por esses equipamentos, pesquisando o termo “*autonomous agricultural vehicle*” encontra-se algumas que se destacam, como o equipamento criado pelos inventores Bassett e Arthur (2019), “VEÍCULO AGRÍCOLA AUTÔNOMO MODULAR” e descrito como sendo um veículo agrícola autônomo modular, no qual inclui um módulo estrutural de acionamento, um elemento de engate no solo rotativo, acoplado à estrutura, uma fonte de energia e um motor de acionamento recebendo energia da fonte e acoplado ao elemento de engate no solo para deslocar o solo, conforme mostra Figura 14.

Figura 14 - Veículo agrícola autônomo modular

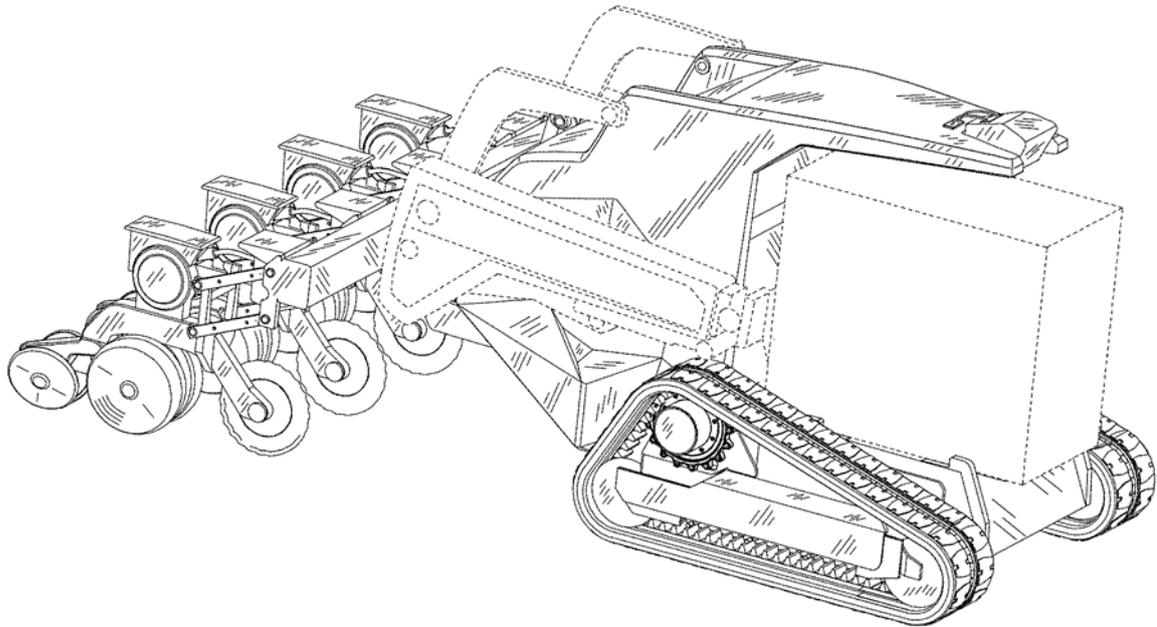


Fonte: Bassett; Arthur (2019).

Há também patentes de montagem de veículos autônomos, utilizados para realizar o trabalho com semeadoras de precisão já existentes no mercado. A patente requerida por Brueggen et al. (2018), com o título de “MONTAGEM DE VEÍCULO AUTÔNOMO

AGRÍCOLA” é descrito como um equipamento autônomo agrícola cujo auxilia equipamentos agrícolas de arrasto há realizarem tarefas de forma autônoma conforme mostra Figura 15.

Figura 15 - Montagem de veículo autônomo agrícola



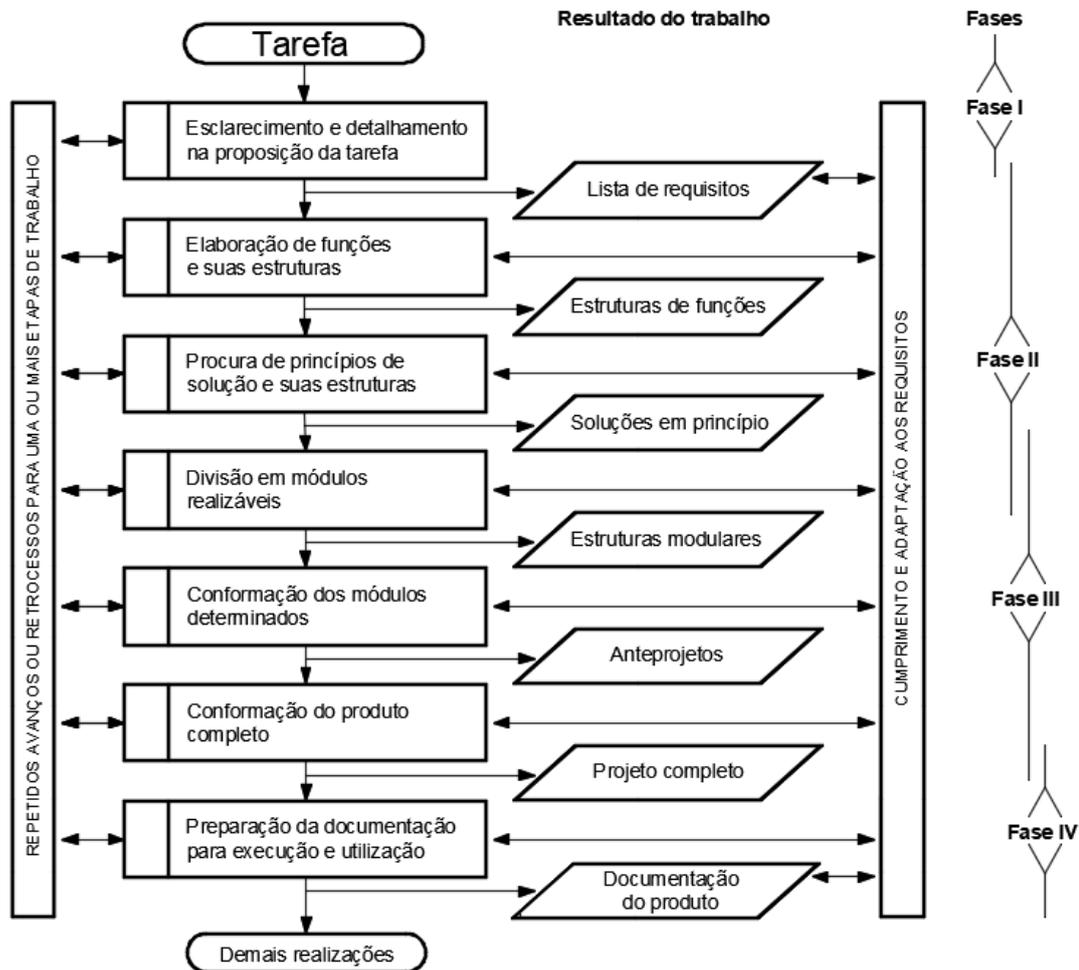
Fonte: Brueggen et al. (2018).

Portanto, observa-se que já há interesse por parte de indústrias, engenheiros e projetistas na área de veículos autônomos agrícolas, e o crescente número de patentes no passar dos anos, só confirma o fato de que essa nova tecnologia estará presente em todas as lavouras do Brasil.

## 2.7 Metodologia do projeto

O desenvolvimento de um conceito de uma semeadora de precisão autônoma, utiliza o método de desenvolvimento de projetos, conforme demonstra Figura 16, proposto por Pahl, et al. (2005), cujo método é desenvolvido em fases que permitem uma melhor organização para a redução de erros, além de permitir revisões que facilitam voltar para etapas anteriores quando necessário, sendo essa uma metodologia de cunho lógico e ordenado, que viabiliza melhorias e prioridades até o desenvolvimento do conceito. Portanto, é um método flexível, cujas etapas são de fácil entendimento, trazendo benefícios ao projetista para desenvolver algo de maneira rápida, objetiva e organizada.

Figura 16 - Fluxograma do método de desenvolvimento de projetos



Fonte: Pahl, et al. (2005).

As quatro fases que compõem a metodologia desenvolvida por Pahl et al. (2005), se definem da seguinte forma:

- A primeira esclarece o projeto, definindo a tarefa através de uma lista de requisitos, que será observada no decorrer do desenvolvimento.
- A segunda conceitua o projeto ou a ideia inicial do produto, analisando problemas, princípios de solução, concepções modificáveis, a concretização e avaliação de soluções, conforme critérios técnicos e econômicos.
- A terceira finaliza o projeto, trabalha a funcionalidade do produto: materiais, forma, dimensões, acabamentos e processos de fabricação, incluindo as soluções técnicas decorrentes.
- A quarta documenta o produto para viabilizar a sua fabricação e utilização.

Contudo, para o desenvolvimento do conceito deste projeto, serão utilizadas as três fases iniciais da metodologia de Pahl et al. (2005). Como é possível observar, as duas primeiras fases são métodos que auxiliam no desenvolvimento e estruturação para a escolha de um conceito que justifique o desenvolvimento do equipamento. Nessas fases são tomadas as decisões mais amplas de como o produto deve ser apresentado, e se há possibilidade do seu desenvolvimento dentro dos padrões que vão sendo estabelecidos no decorrer da metodologia.

Para a definição da tarefa, na primeira fase é importante que, com as pesquisas realizadas, se adquira um breve conhecimento e se obtenha o máximo de proveito das informações recolhidas. Todo um planejamento de conteúdo é feito nessa etapa, e realiza-se com isso uma análise de mercado, um esclarecimento da tarefa (funil de informações), e a elaboração da lista de requisitos que ditarão as características do projeto até a sua conclusão.

Na segunda fase, avalia-se o desenvolvimento do projeto como um todo, tendo como principal objetivo o desenvolvimento de um princípio de solução. Nessa fase ocorre a identificação de problemas, determinações de funções, estruturas de trabalhos e avaliações com base em critérios técnicos e econômicos e, tudo isso, juntamente com o desenvolvimento de esboços e ideias que serão filtradas com base em diversos critérios para se chegar a uma definição global de um conceito do equipamento.

Já na terceira fase, realiza-se o anteprojeto, que tem como característica realizar a apresentação de um equipamento mais detalhado, e observar as suas principais funcionalidades. Pode-se dizer que essa etapa auxilia no desenvolvimento de um conceito com maiores detalhes, determinando pontos como a estrutura da construção do produto técnico, podendo, até mesmo, ser necessária a representação de mais de um anteprojeto, sendo que isso auxilia em um melhor nível de informação quanto à vantagens e desvantagens, trazendo para o projeto, níveis de informações mais elevadas, auxiliando na apresentação de uma estruturação completa do equipamento (anteprojeto global), para que na próxima etapa deste desenvolvimento seja possível um detalhamento para a etapa de fabricação e testes.

### 2.7.1 Conclusão da revisão

Por fim deste capítulo, apresentou-se o referencial teórico de como está ocorrendo a evolução dos equipamentos na agricultura, focando em semeadoras de precisão e modelos de automação na agricultura, além de um breve estudo dos procedimentos metodológicos para o projeto do produto. Foi possível constatar que a agricultura no Brasil e no mundo está em constante evolução, e as máquinas possuem um papel fundamental para que se produza cada

vez mais e melhor, sem a necessidade de abertura de mais lavouras, o que ocasionaria mais desmatamento.

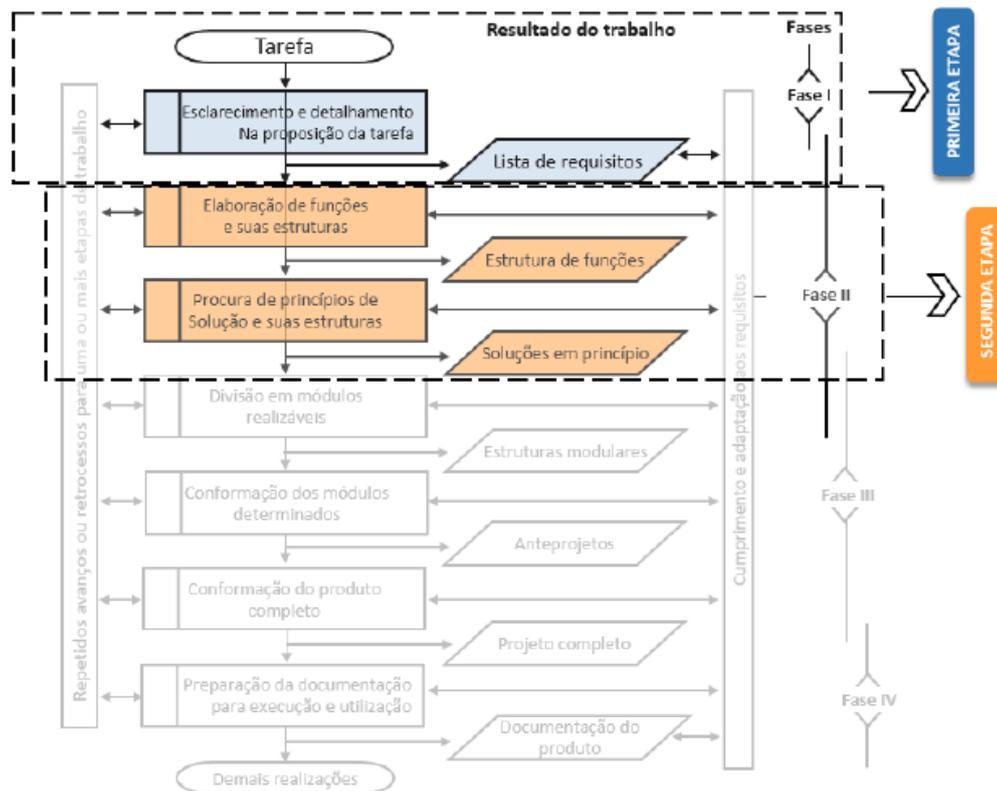
Por meio dessa revisão, foi possível compreender do que se tratam as semeadoras de precisão, suas principais funcionalidades, e qual o processo evolutivo que esse e outros equipamentos vem apresentando com o passar dos anos, além disso, houve também um enfoque em automatização na agricultura, demonstrando alguns modelos e estudos de equipamentos que já trabalham de maneira autônoma em outros processos agrícolas, sendo que a automatização de semeadoras de precisão ainda é algo muito novo, havendo assim, uma escassez desse conteúdo no meio acadêmico.

Sendo assim, essa revisão apresenta várias características de outros equipamentos autônomos, os quais irão auxiliar no desenvolvimento desse conceito e que serão observadas no decorrer do projeto, juntamente com a metodologia selecionada.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto conceitual do produto será estruturado seguindo o conceito de metodologia de projeto descrito por Pahl et al. (2005) conforme demonstra Figura 17, havendo em alguns momentos bases desenvolvidas por outros autores, apenas para complementação e melhor compreensão da etapa que está sendo desenvolvida. A decisão pela utilização desse método, se dá por sua organização, pois a estruturação dos problemas e das tarefas facilita a percepção das possibilidades de emprego de soluções consolidadas, provenientes de desenvolvimentos anteriores e a utilização de catálogo de soluções (PAHL et al., 2005), apresentando também de maneira clara e objetiva, todas as etapas para o desenvolvimento de um projeto mecânico.

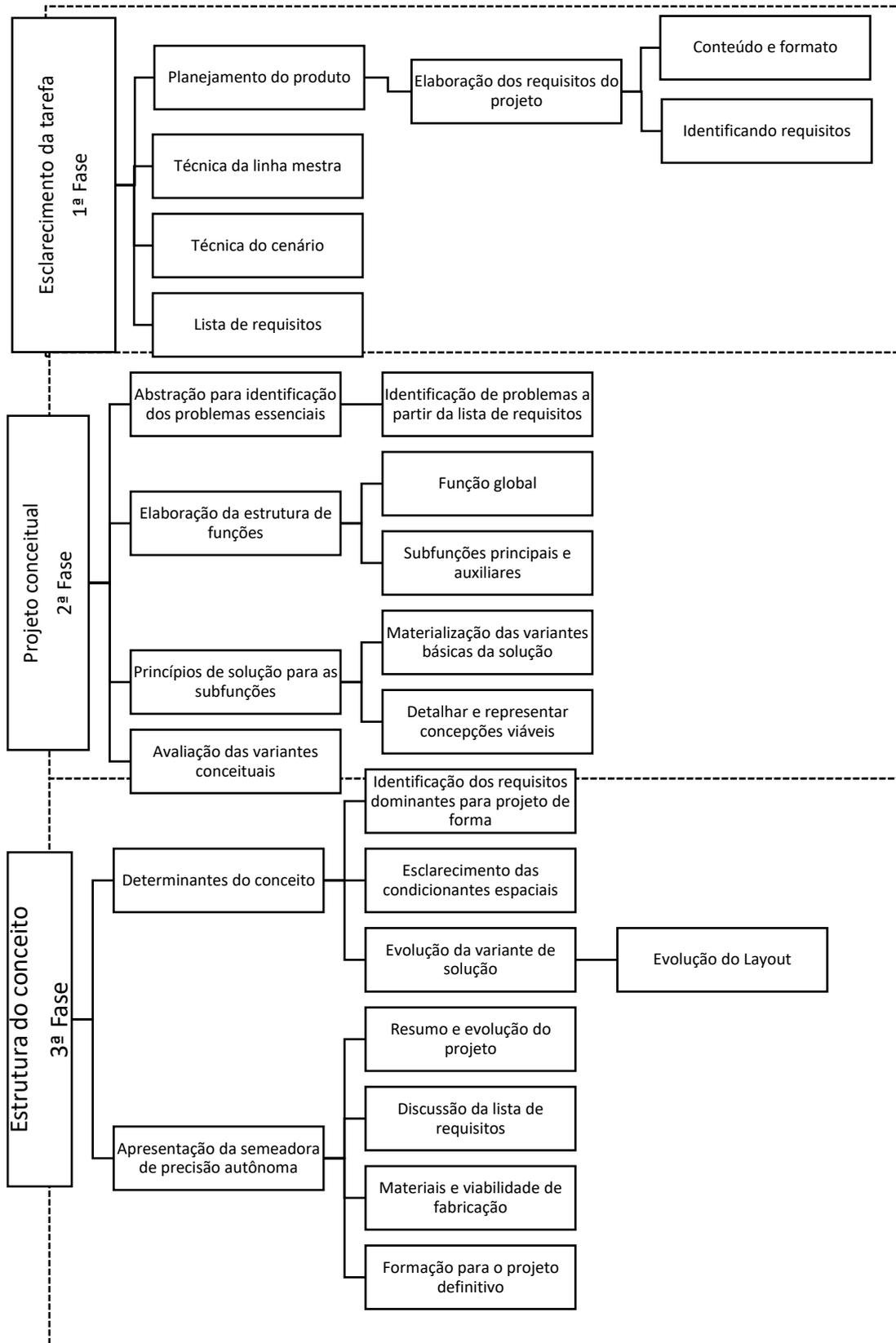
Figura 17 - Etapas de trabalho segundo a metodologia aplicada



Fonte: Adaptada pelo autor (2021).

Para a realização do projeto, denominou-se a terceira fase como a estrutura do conceito. Essa fase ainda segue o modelo de metodologia desenvolvida por Pahl et al. (2005), porém com algumas adaptações, pois visa uma representação mais detalhada do conceito, para um melhor entendimento do equipamento, além de fornecer informações que facilitarão o desenvolvimento total da sementeira de precisão autônoma em trabalhos futuros. Sendo assim, as fases da metodologia utilizada são representadas conforme mostra Figura 18.

Figura 18 - Etapas de trabalho segundo a metodologia aplicada



Fonte: Adaptada pelo autor (2021).

A Figura 18 destaca as três etapas presentes nas três fases utilizadas para o desenvolvimento conceitual do projeto. Iniciando pelo esclarecimento de tarefa, essa fase tem por objetivo apresentar um esclarecimento a respeito do projeto a ser executado, pois o planejamento do produto é uma atividade que procede e prepara o desenvolvimento de um produto específico, envolve pesquisas de mercado, análise da concorrência e elaboração das especificações do projeto. Nesta fase são pesquisadas ideias sistematicamente, e selecionadas as mais promissoras. Para que isso seja realizado de maneira fundamentada, será utilizada a linha de pensamento de Leif (1997), realizando o planejamento de um produto por meio de diversos questionamentos que organizam a ideia inicial do projeto. Assim, facilita a entrada para a especificação do projeto, que coleta as informações exploradas anteriormente, e documenta as configurações do futuro projeto, levando essas informações para a elaboração da técnica da linha mestra, na qual objetiva o atendimento da necessidade principal da tarefa e a elaboração da lista de requisitos, sendo essa a última etapa da primeira fase. Por isso, são documentados os requisitos absolutamente necessários para a execução da respectiva etapa de trabalho do processo de projeto.

A segunda fase, denominada como projeto conceitual, é a etapa que define a solução preliminar. Nessa etapa é possível decidir a respeito de algumas questões como:

- A tarefa está clara para o início da definição do projeto?
- É realmente necessário elaborar a concepção, ou as soluções são conhecidas?
- Como e com que extensão essa etapa será formatada, e qual será o procedimento sistemático?

Nessa fase ocorre uma concretização para a avaliação da estrutura de funcionamento, e para que isso ocorra, se faz necessária a inclusão de fatores como materiais a serem empregados, dimensionamentos aproximados, e considerações de recursos tecnológicos. Se obtém um princípio de solução passível à avaliação, e em determinadas circunstâncias são imagináveis diversas variantes básicas de soluções. A fase conceitual é subdividida em diversas etapas de trabalho, sendo que todas deverão ser executadas para que se obtenha a melhor solução preliminar possível. Nesta fase julga-se preferencialmente com base em critérios técnicos, porém já sob consideração aproximada de critérios econômicos, e com base nessa avaliação, decide-se pelo conceito, cujo desenvolvimento deverá ser continuado.

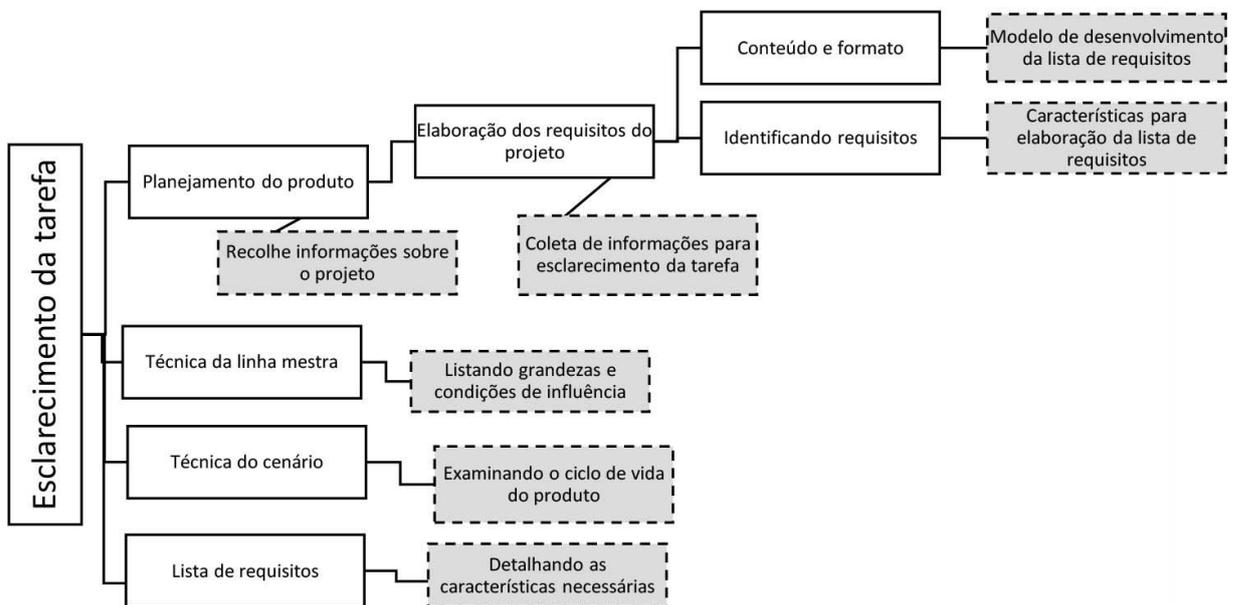
Por fim, chega-se a terceira fase, denominada estrutura do conceito, neste ponto é realizada uma avaliação sucinta da definição global do projeto, podendo até mesmo serem incorporadas subsoluções que tragam relevância para o projeto que está sendo analisado, para que se consiga de uma maneira clara e objetiva, se chegar a uma solução final e ser tomada a

decisão à configuração definitiva do projeto completo. A estrutura do conceito apresenta um controle da função, da durabilidade, da compatibilidade espacial e de diversos outros fatores, além dos detalhes a respeito da estruturação geral (tamanhos e conjuntos apresentados com desenhos) e conclusiva que se busca para esse trabalho, sendo que, após essa etapa finalizada e revisada, é admissível iniciar o detalhamento como uma próxima etapa.

### 3.1 Esclarecimento da tarefa

Essa fase consiste na coleta de várias informações das quais tem por objetivo o esclarecimento da tarefa e a identificação das especificações do projeto, que serão determinantes para se obter uma solução de forma organizada e documentada de todas as configurações que o futuro projeto deva apresentar. Todo esse processo se inicia no planejamento do produto, onde utilizou-se o auxílio de Leif (1997) para complementar o início dessa fase. Após, define-se a especificação do projeto que acabará resultando em uma lista de requisitos, ilustradas na Figura 19.

Figura 19 - Fluxograma das etapas do esclarecimento da tarefa



Fonte: Pahl et al. (2005).

### 3.1.1 Planejamento do produto

O planejamento do produto é uma atividade que procede e prepara o desenvolvimento de um produto específico, que envolve a pesquisa de mercado, a análise de concorrentes e a elaboração das especificações do projeto. Por isso, planejar um produto consiste essencialmente em pesquisar ideias sistematicamente e selecionar a mais promissora, inclui atividades para esclarecer as funções da empresa, seu mercado alvo e objetivos. Seguindo alguns dos critérios desenvolvidos por Leif (1997), permite-se nortear esse planejamento e analisar os dados através de algumas sugestões levantadas, tais como:

1. **Análise de mercado:** levantar a situação atual de produtos da empresa e concorrentes. Identificar aplicações alternativas ou segmentos de mercado. Investigar e descrever os problemas e as deficiências relacionados aos produtos da empresa.
2. **Análise das tecnologias:** levantar a situação atual das tecnologias dos produtos e de produção da empresa e dos concorrentes. Descrever problemas e deficiências relacionadas às próprias tecnologias.
3. **Análise do consumidor:** identificar as necessidades (declaradas e implícitas) e os desejos dos consumidores. Levantamento das categorias de usuários.
4. **Integração dos conhecimentos:** Avaliar as possibilidades de integrar novos conhecimentos àqueles existentes.
5. **Descrições dos requisitos:** Identificar os requisitos do mercado e o potencial da empresa. Utilizar informações sobre os consumidores, mercado, os próprios produtos da empresa (novos e antigos), produtos concorrentes, patentes, requisitos específicos em diferentes mercados.
6. **Recomendação de viabilidade:** Compilar as recomendações e decisões para resumir as propostas de produtos e suas possibilidades de realização.

No Brasil, apesar da grande expansão no setor de máquinas e equipamentos agrícolas, essa alternativa para a evolução desse produto (semeadora de precisão), ainda não se faz presente em patentes aqui depositadas (dados obtidos através de pesquisas no site do INPI no ano de 2021). Quando se observa internacionalmente, as empresas já realizam testes e a comercialização de produtos similares, exemplo da empresa DOT do Canadá com o projeto *Seed Master*, e a FEND da Europa, com o projeto Xaver, (Figura 20), as quais revelam cada um com a sua particularidade e diferencial.

Figura 20 - Modelo DOT e modelo FEND de semeadoras de precisão autônoma



Fonte: empresas Dot e Fend (2021).

Em relação a veículos autônomos agrícolas, Brasil e exterior já apresentam alternativas para modelos que trabalham com análise de dados em lavouras, pulverização e colheita. Tratores com total autonomia, identificação de pragas, capina, seleção de plantas etc., sendo que muitos desses equipamentos, já são comercializados e se encontram como uma alternativa para a falta de mão de obra que diversos setores apresentam, inclusive na agricultura, como o pulverizador autônomo da empresa brasileira Jacto, conforme Figura 21.

Figura 21 - Pulverizador autônomo Jacto Arbus 4000



Fonte: [www.jacto.com.br](http://www.jacto.com.br) (2021).

Portanto, torna-se importante buscar modelos de tecnologias que já estão presentes em no mercado, a fim de facilitar o processo de desenvolvimento do produto, uma vez que não há necessidade de se iniciar pela etapa zero do desenvolvimento para todos os conjuntos que estão

presentes no equipamento. Diante das características levantadas por meio do planejamento do produto, filtram-se as informações como volumetrias, propostas que já estão em uso e estratégias de concepção desse produto, podendo assim dar sequência ao desenvolvimento, realizando a especificação do projeto.

### 3.1.2 Elaboração dos requisitos do projeto

Essa fase é caracterizada pelas especificações do projeto, na qual serão coletadas informações para esclarecer a tarefa e, identificadas as especificações do projeto determinantes para a solução e configuração. Nesse contexto, são levados em consideração os objetivos de realizar o projeto de uma semeadora de precisão autônoma.

A elaboração de uma lista de requisitos pode parecer complexa e demanda de esforço quando não se é habituado a esse procedimento, por isso, separar esse processo por etapas pode deixá-lo mais simples e organizado, o que leva a se ter uma lista mais coesa com a proposta de projeto desejado, sendo que para a elaboração dessa lista, utilizou-se os passos descritos por Pahl et al (2005), além disso, utiliza-se algumas premissas básicas para que se consiga um conteúdo bem objetivo, por isso os requisitos podem ser desdobrados em:

- Necessidades: elementos que devem ser contemplados em qualquer circunstância, sendo inaceitável o seu não atendimento dentro do projeto.
- Vontades: esses elementos podem ser considerados na medida do possível, mesmo que para entrar no projeto seja necessário um limitado trabalho adicional (podem ser classificadas como alta, média e baixa relevância).

Após a definição de determinadas soluções, se faz necessária a formulação dessas necessidades e vontades em dois diferentes aspectos:

- Quantitativo: apresenta informações sobre quantidades necessárias para o desdobramento do projeto, tais como, número de peças, vazão, volumes etc.
- Qualitativo: informações sobre desvios admissíveis e requisitos especiais, como condições tropicais, garantias contra choques etc.

Os aspectos citados podem ser conferidos na lista elaborada para a semeadora de precisão representada no Quadro 8.

Já, o formato da lista de requisitos, pode ser definido por norma interna da fábrica, porém, para uma boa organização, deve conter as seguintes informações: usuário (empresa e/ou

departamento), denominação do projeto/produto, requisitos classificados em necessidades e vontades, data da elaboração da lista completa, data da última revisão, número da edição como identificação e número de páginas, conforme modelo apresentado na Figura 22.

Se o projeto demandar de vários subconjuntos, é aconselhável efetuar uma decomposição, até mesmo para que sejam possíveis diferentes grupos de desenvolvimento trabalhem em subconjuntos separados. Além de apontamentos em alguns requisitos, que mesmo sendo julgados como importantes, não se nota uma correlação de um motivo aparente para o revisor ou posterior leitura pelos demais membros da equipe.

### *3.1.2.1 Identificando requisitos*

É de suma importância que se conheça o cliente que está gerando a solicitação do novo produto ou a melhoria em desenvolvimento ou, até mesmo, o segmento do mercado que esse novo produto estará inserido, além de aspectos legais como as leis, normas e aplicação de diretrizes. Assim, fica de fácil identificação os requisitos básicos que são necessários para que se obtenha um produto inovador e competitivo no mercado.

Deve-se ouvir todos os tipos de clientes, conforme Pahl et al. (2005), os clientes anônimos, que se enquadram na logística e distribuição dentro da própria empresa, ou na segmentação do mercado, isto é, as ideias e características de requisitos estão implícitas e são essenciais para a fabricação do produto e para a sua aceitação no mercado proposto. Já os clientes específicos, se enquadram em clientes propriamente dito, que realizam uma solicitação do produto, ou até mesmo na segmentação em relação à semelhança com produtos existentes, que já são atendidos pela concorrência com diferentes performances.

Para a elaboração da lista de requisitos da semeadora autônoma de precisão foram seguidos os seguintes critérios:

- **Segmentação (mercado em que o produto estará inserido):** agrícola.
- **Modelo de máquina no mercado:** semeadora de precisão.
- **Fabricação do produto:** indústria metal mecânica.
- **Clientes:** agricultores focados na produção de culturas de grãos graúdos.

Contudo, para uma melhor identificação dos requisitos, ainda é possível realizar uma subdivisão em 3 conceitos específicos:

1. Requisitos básicos: entendimento considerado natural e de maior importância para o cliente, porque além disso, são essenciais para o setor de desenvolvimento, pois são os requisitos que decidem sobre o sucesso ou o fracasso do produto.
2. Requisitos técnicos e específicos: geralmente manifestado por clientes, são especificados de forma precisa, sendo possível realizar comparações com a concorrência.
3. Requisitos de atratividade: são implícitos e utilizados como diferenciação da concorrência.

O Quadro 6 demonstra a identificação dos requisitos fundamentais seguindo os critérios das subdivisões 1, 2 e 3.

Quadro 6 - Lista de requisitos considerados fundamentais para o desenvolvimento do conceito

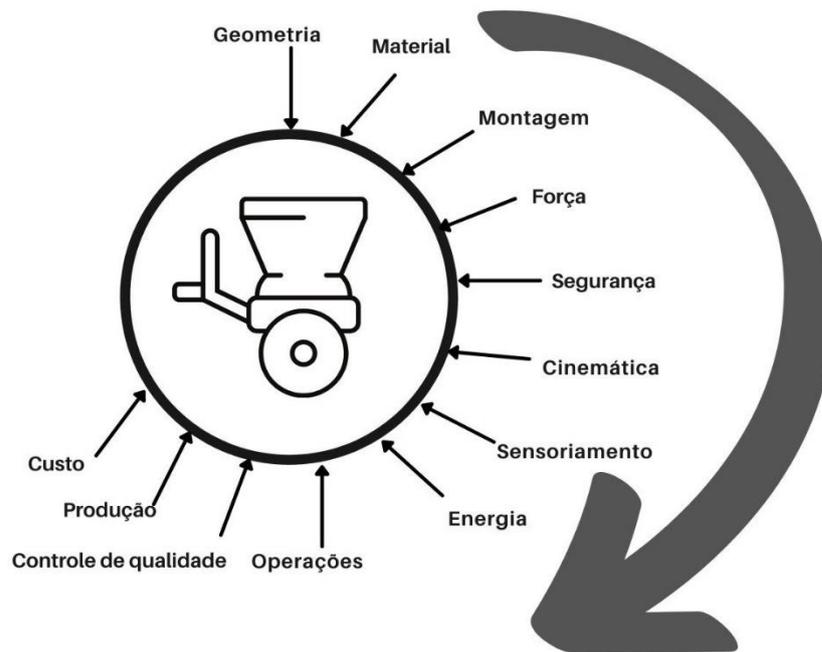
| <b>Identificação de requisitos indispensáveis na lista de requisitos da semeadora de precisão autônoma</b> |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
| <b>1 – Básicos</b>   | <b>2 -Técnicos e específicos</b>                     | <b>3 - Atratividade</b>     |
| Garantir a segurança dos usuários  | Capacidade mínima de armazenamento de sementes 45 kg | Acionamento elétrico        |
| Resistente à variações climáticas e não poluente   | Capacidade mínima de armazenamento de adubo 45 kg    | Não poluente                |
| Atender as normas vigentes   | Peso máximo 500 kg                                   | Sistema autônomo            |
| Realizar adubação e plantio de sementes graúdas  | Velocidade mínima de 6 km/h                          | Sistema de simples operação |

Fonte: Autor (2021).

### 3.1.3 Técnica da linha mestra

Para a elaboração da linha mestra, realiza-se um levantamento inicial a fim de que a necessidade seja atendida de maneira clara e objetiva, sendo ela: *“a elaboração de uma semeadora de precisão autônoma”*. Por isso, leva-se em consideração que, segundo a metodologia empregada por Pahl et al. (2005), demonstra que a primeira fase é caracterizada pela elaboração de uma lista de requisitos do produto, contendo aspectos relativos à funcionalidade e o desempenho do produto, além de prazos e custos, esses requisitos são pré-definidos por uma linha mestra, conforme demonstra Figura 22.

Figura 22 - Linha mestra



Fonte: adaptado de Pahl, et al. (2005).

As características apresentadas na linha mestra norteiam os requisitos para o projeto. Consideraram-se algumas das características propostas pelo autor e outras novas que atendem especificidades para o produto que está sendo desenvolvido, levando em consideração as condições principais que influenciam em todo o seu desenvolvimento. Foram levadas em consideração características de forma como geometria, material, montagem e força, por se tratar de um ponto de forte impacto no produto, tanto em seu funcional em matéria de estruturas quanto no visual. Quando se trata de segurança, sinal, sensoriamento, energia, cinemática e operações são características de automação, sendo essas cruciais para o desenvolvimento da semeadora de precisão, características essas que definem qual será o comportamento perante a sua usabilidade e, para finalizar, controle de qualidade, produção e custo, são critérios que estarão mais presentes em seu desenvolvimento, comercialização e produção em massa.

O Quadro 7 apresenta através dessas características o que se deseja, para assim se obter a primeira direção em relação ao projeto propriamente dito. Além disso, esse levantamento é realizado por meio de pesquisas em artigos nacionais e internacionais, revistas e sites especializados, além de uma consulta no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) e, com ele pode-se embasar todas as condições que se quer satisfazer, como as exigências do produto e os possíveis desejos.

Quadro 7 - Características do projeto

| <b>Característica principal</b> | <b>Características desejadas</b>   |
|---------------------------------|--|
| <b>Geometria</b>                | Tamanho, altura, largura, comprimento, quantidade, demanda de espaço, peso   |
| <b>Cinemática</b>               | Tipo de movimento, direção do movimento, velocidade, aceleração  |
| <b>Sensoriamento</b>            | Capacidade, alcance, tempo de resposta, sinais de entrada e saída, tipo de mostrador, forma de sinal                 |
| <b>Energia</b>                  | Potência, eficiência, variáveis de estado como pressão, temperatura, humidade, calor, frio, energia de abastecimento |
| <b>Material</b>                 | Resistente, não poluente   |
| <b>Segurança</b>                | Princípios de segurança, sistemas protetores, segurança durante o trabalho, segurança ambiental                      |
| <b>Operações</b>                | Condições de uso, taxa de desgaste   |
| <b>Ergonomia</b>                | Relação homem máquina: operações, facilidades, modelos de operação e manutenção                                      |
| <b>Custo</b>                    | Econômico, custo de fabricação, custo de insumos   |
| <b>Produção</b>                 | Limitações no local de produção, fabricável empresa metal mecânica, qualidade possível e tolerâncias                 |
| <b>Montagem</b>                 | Execução de montagem que possibilite produção em série.  |
| <b>Controle de qualidade</b>    | Possibilidade de testes, normas, durabilidade  |
| <b>Forças</b>                   | Carregamento, rigidez, estabilidade  |

Fonte: Autor (2021).

Com as características bem definidas, é possível partir para a elaboração da lista de requisitos. Nesta etapa, importantes características e desejos são filtrados, para que se conduza o desenvolvimento do produto de uma maneira mais clara e objetiva, portanto, transformam-se esses desejos em características quantitativas e técnicas das quais serão selecionadas as mais adequadas para o projeto.

### 3.1.4 Técnica do cenário

Segundo Pahl et al. (2005), a técnica do cenário consiste em examinar e esquematizar o ciclo de vida do produto, desde a sua produção até o seu sucateamento. Para cada fase de vida é então desenvolvido um cenário, e em cada um destes cenários são desenvolvidas perguntas, das quais se originam os requisitos dos produtos. Segundo Venzke (2002) e Hauschild; Jeswiet; Alting (2005), o ciclo de vida de um produto é formado pelas seguintes etapas: extração das matérias-primas, produção, transporte, uso e descarte após o uso. Já, nesse caso, para o desenvolvimento do conceito, será considerado como ciclo de vida do produto: produção, uso e pós uso/descarte.

Para o desenvolvimento da lista de requisitos, com a colaboração da técnica de cenário, utilizou-se as características desejadas, encontradas com o auxílio da linha mestra, sendo elas subdivididas nas etapas do ciclo de vida do produto (algumas características se repetem durante o ciclo), e com perguntas realizadas em cada etapa, obteve-se respostas que geraram requisitos para complementar a lista e somatizar aos requisitos indispensáveis, conforme Quadro 8.

Quadro 8 - Aplicação da técnica do cenário

| <b>Técnica do cenário</b>                       |  |
|---|--|
| <b>Representação no ciclo e características</b> | <b>Perguntas e respostas (requisitos)</b>  |
| <b>Produção</b>                                 | <b>1 - Como vai ser produzido?</b>   |
| Material  | Materiais usuais e comuns na indústria agrícola.<br>Fabricação simples e larga escala.<br>Baixo tempo de fabricação.<br>Utilizar componentes e operações padronizados.   |
| Custo   | <b>2 - Como será a montagem?</b>   |
| Produção  | Montagem rápida e simples.   |
| Montagem  | Fácil acesso.  |
|   | <b>3 - Quais os padrões de materiais?</b>  |
|   | Mais econômico, possível média de R\$100.000,00.<br>Materiais baratos para fabricação.<br>Rodado de borracha (máximo de 4 rodas ou duas esteiras).   |
| <b>Uso</b>                                      | <b>4 - Quais são as características fundamentais para seu funcionamento?</b>   |
| Geometria                                       | Sendo o mais compacto possível.<br>Recuo do equipamento para manobras fora da linha.<br>Avanço somente sentido de linhas de plantio pré-estabelecidas.<br>Corte de palha através de fonte aquecida.<br>Cortar a palha.<br>Abrir e fechar o sulco.<br>Capacidade de deslocamento independente da carga. |
| Cinemática                                      | Tração para diferentes tipos de solo.  |
| Sensoriamento                                   | Fácil abastecimento de sementes e adubos.  |
| Energia   | Solicitar o reabastecimento de sementes e energia.   |
| Segurança                                       | <b>5 - Como podem ser eliminados prováveis riscos?</b>   |
| Operações                                       | Sistema que impeça acidentes.  |
| Ergonomia                                       | Testes a campo de no mínimo 2 horas.<br>Inspeção de segurança.   |
| Controle de qualidade                           | Revisão do sensoriamento (segurança, funcionamento e autonomia).<br>Sensor para avisar a quantidade de insumos que estão nas caixas.<br>Sensor de obstáculos, avisos de interferências no caminho.<br>Baixo ruído conforme normas técnicas.  |
| Forças  | Sensor de falha, aviso de mau funcionamento de algum dispositivo ou parada total.  |
|   | <b>6 - Como haverá energia para realizar o trabalho?</b>   |
|   | Baterias de armazenagem de energia não poluentes, duas no máximo.<br>Fotovoltaica com placas solares (dimensionamento do equipamento montado).   |
| <b>Pós uso / Descarte</b>                       | <b>7 - Quais são as características para prolongar a vida do produto?</b>  |
| Material  | Componentes de grande vida útil e durabilidade.  |
| Operações                                       | Acesso rápido à manutenção.  |

Fonte: Autor (2021).

### 3.1.5 Lista de requisitos

A lista de requisitos foi elaborada a partir de necessidades do projeto, visando a sua utilização, a fim de simplificar o seu desenvolvimento, fabricação e comercialização. Através da linha mestra elaborada pelo autor, foram mesclados conceitos básicos que devem estar presentes no projeto para o bom funcionamento do produto, além de especificações técnicas das quais trarão mais assertividade e qualidade ao produto. Ao todo, a lista foi classificada com as letras E (exigencia) e D (desejáveis), e subdividida em 13 itens que são: geometria, cinemática, sensoriamento, energia, material, segurança, operações, ergonomia, custo, produção montagem, controle de qualidade e forças.

Quadro 9 - Lista de requisitos de projetos desenvolvidos a partir da linha mestra

| Usuário:<br>Émerson |     | Lista de requisitos para semeadora de precisão autônoma                          |  | Página: 01<br>Folha: 01 |
|---------------------|-----|--|--|-------------------------|
| Data                | E/D | Exigências   |  | Responsável             |
|                     |     | <b>1- Geometria</b>  |  | Emerson                 |
| 15/10/2020          | E   | Capacidade mínima de armazenamento de sementes 45 kg                             |  |                         |
| 15/10/2020          | E   | Capacidade mínima de armazenamento de adubo 45 kg                                |  |                         |
| 15/10/2020          | E   | Peso máximo 500 kg   |  |                         |
| 15/10/2020          | D   | Mais compacta possível   |  |                         |
|                     |     | <b>2- Cinemática</b>   |  |                         |
| 16/10/2020          | E   | Velocidade mínima de 6 km/h  |  |                         |
| 16/10/2020          | E   | Recuo do equipamento para manobras fora da linha                                 |  |                         |
| 16/10/2020          | E   | Acionamento elétrico   |  |                         |
| 16/10/2020          | E   | Avanço somente sentido de linhas de plantio pré-estabelecidas                    |  |                         |
|                     |     | <b>3-Sensoriamento</b>   |  |                         |
| 15/10/2020          | E   | Sensor para avisar a quantidade de insumos que estão nas caixas                  |  |                         |
| 15/10/2020          | E   | Sensor de obstáculos, avisos de interferências no caminho                        |  |                         |
| 15/10/2020          | E   | Sensor de falha, aviso de mau funcionamento de algum dispositivo ou parada total |  |                         |
|                     |     | <b>4-Energia</b>   |  |                         |
| 20/10/2020          | E   | Elétrica e não poluente  |  |                         |
| 20/10/2020          | E   | Baterias de armazenagem de energia não poluentes, duas no máximo.                |  |                         |
| 20/10/2020          | D   | Fotovoltaica com placas solares (dimensionamento do equipamento montado)         |  |                         |
| 20/10/2020          | D   | Corte de palha através de fonte aquecida   |  |                         |
|                     |     | <b>5- Material</b>   |  |                         |
| 15/10/2020          | D   | Componentes de grande vida útil e durabilidade                                   |  |                         |
| 15/10/2020          | E   | Resistente à variações climáticas e não poluente                                 |  |                         |
| 15/10/2020          | D   | Usuais e comuns na indústria agrícola  |  |                         |

## Conclusão

|            |   |   |
|------------|---|---|
| 15/10/2020 | E | Rodado de borracha (máximo de 4 rodas ou duas esteiras)         |
|            |   | <b>6- Segurança</b>   |
| 22/10/2020 | E | Garantir a segurança dos usuários                               |
| 22/10/2020 | E | Atender as normas vigentes                                      |
| 22/10/2020 | E | Sistema que impeça acidentes                                    |
|            |   | <b>7 – Operações</b>  |
| 15/10/2020 | E | Sistema autônomo  |
| 15/10/2020 | E | Realizar adubação e plantio de sementes graúdas                 |
| 15/10/2020 | E | Cortar a palha  |
| 15/10/2020 | E | Abrir e fechar o sulco  |
| 15/10/2020 | E | Solicitar o reabastecimento de sementes e energia               |
|            |   | <b>8- Ergonomia</b>   |
| 15/10/2020 | E | Fácil abastecimento de sementes e adubo                         |
| 15/10/2020 | D | Acesso rápido à manutenção                                      |
| 15/10/2020 | E | Sistema de simples operação para o usuário                      |
| 15/10/2020 | D | Baixo ruído conforme normas técnicas                            |
|            |   | <b>9-Custo</b>  |
| 16/10/2020 | D | Mais econômico, possível média de R\$ 100.000,00                |
| 16/10/2020 | D | Materiais baratos para fabricação                               |
|            |   | <b>10-Produção</b>  |
| 15/10/2020 | D | Fabricação simples e larga escala                               |
| 15/10/2020 | D | Baixo tempo de fabricação.                                      |
| 15/10/2020 | E | Utilizar componentes e operações padronizados                   |
|            |   | <b>11-Montagem</b>  |
| 15/10/2020 | D | Rápida e simples.   |
| 15/10/2020 | D | Fácil acesso  |
|            |   | <b>12 - Controle de qualidade</b>                               |
| 22/10/2020 | E | Testes a campo de no mínimo 2 horas                             |
| 22/10/2020 | E | Inspeção de segurança   |
| 22/10/2020 | E | Revisão do sensoriamento (segurança, funcionamento e autonomia) |
|            |   | <b>13 - Forças</b>  |
| 15/10/2020 | D | Capacidade de deslocamento independente da carga                |
| 15/10/2020 | E | Tração para diferentes tipos de solo                            |

Fonte: Autor (2021).

Observa-se que a lista do Quadro 9 apresenta 43 fatores, sendo que 14 estão classificados como desejáveis “D” e 29 como exigência “E”. Fatores como geometria e material, foram selecionados através de produtos já existentes no mercado, pois apresentam alguns padrões dos quais ainda poderão ser utilizados dentro desse novo conceito, não havendo

grandes necessidades de adaptações por parte dos usuários. Além disso, há o desejo de manter o já conhecido conceito de semeadora de precisão, como mostra o item 7 de operações, pois o novo produto deve realizar todas as tarefas habituais de uma semeadora de forma autônoma.

Quadro 10 - Lista de justificativas dos requisitos

Continua

| Requisitos  | Justificativas   |
|---|--|
| <b>Geometria</b>  |  |
| Capacidade mínima de armazenamento de sementes 45 kg          | Capacidade mínima habitual encontrada no armazenamento do adubo em semeadoras de precisão.   |
| Capacidade mínima de armazenamento de adubo 45 kg             | Capacidade mínima habitual encontrada no armazenamento de sementes em semeadoras de precisão.  |
| Peso máximo 500 kg  | Esse valor se faz necessário para evitar a compactação do solo que traz prejuízos para a lavoura.  |
| Mais compacta possível  | Como é um conceito de linha única, deve ser de fácil transporte e que se locomova entre as linhas pré-determinadas na lavoura (1500 x 1000 x 1300)   |
| <b>Cinemática</b>   |  |
| Velocidade mínima de 6 km/h                                   | Velocidade média utilizada pelos atuais sistemas de plantio.   |
| Recuo do equipamento para manobras fora da linha              | Evitar ao máximo que o equipamento passe por cima de locais onde o plantio já foi realizado, compactando o menos possível.   |
| Acionamento elétrico  | Preferência por esse sistema de acionamento, que já se encontra no mercado, e se adaptaria bem a proposta do equipamento autônomo.   |
| Avanço somente sentido de linhas de plantio pré-estabelecidas | Padrão para que o plantio ocorra de forma correta, podendo assim, posteriormente, realizar a colheita.   |
| <b>Sensoriamento</b>  |  |
| Aviso do tanque de sementes e adubo                           | Sempre que necessitar recarregar os tanques, o equipamento deverá avisar para que essa recarga ocorra de forma sincronizada com os usuários e ou demais equipamentos.  |
| Sensor de obstáculos  | Muitas vezes há grandes obstáculos em lavouras, por isso há necessidade de que o equipamento compreenda o terreno e tenha capacidade de desviar sem atrapalhar o seu trabalho.   |
| Sensor de falha   | Quando ocorrer alguma falha, o usuário deve ser alertado, para corrigir o mais breve possível, e ter a possibilidade de retornar ao trabalho, ou até mesmo substituir o equipamento.   |
| <b>Energia</b>  |  |
| Elétrica  | Por ser a energia mais limpa atualmente, além de apresentar boas médias de consumo.  |
| Baterias de armazenagem de energia                            | Evitar ao máximo paradas para recargas, além de armazenar grande parte da energia para a realização do trabalho.   |
| Fotovoltaica  | Na maioria das vezes as lavouras estão em locais remotos, de difícil acesso e sem abastecimento de energia elétrica.   |
| Geração de laser para corte de palha                          | Possível solução para um antigo problema encontrado em lavouras com palhas de difícil corte por máquinas atuais no mercado.  |
| <b>Material</b>   |  |
| Componentes de grande vida útil                               | Os materiais devem ser resistentes e duráveis para que o equipamento tenha uma vida útil longa, pois irá trabalhar em diversos modelos de lavouras, além de serem de fácil descarte para que não ocorra poluição.                      |
| Resistente à variações climáticas                             | Por ser um projeto com o objetivo de trabalho nas mais variadas intempéries climáticas, além de funcionar durante o dia e a noite.   |
| Usuais na indústria agrícola                                  | Para a fabricação ser o mais fácil possível, além de já serem materiais que comprovaram ser resistentes, há trabalhos nos mais variados campos e lavouras.   |
| Rodado de borracha  | Por ser um material usual nos equipamentos agrícolas, não agride o solo e tem capacidade de adaptação nos mais variados modelos de rodados.  |
| <b>Segurança</b>  |  |
| Garantir a segurança dos usuários                             | Primordial para um equipamento autônomo, que tem por objetivo de realizar grande parte do trabalho sozinho com total segurança.  |
| Atender as normas vigentes                                    | Requisito mínimo para os equipamentos agrícolas estarem em operação nas lavouras de maneira mais segura e eficaz.  |
| Sistema que impeça acidentes                                  | Por ser autônomo, o equipamento deve ter um sistema que preveja e impeça que acidentes ocorram durante o processo de trabalho e abastecimento, tanto de insumos quanto de carga, para o deslocamento, independente do sistema adotado. |

## Conclusão

| <b>Operações</b>                                  |  |
|---|--|
| Sistema autônomo                                  | Principal inovação do projeto na linha do plantio.   |
| Realizar adubação e plantio de sementes graúdas   | Principal operação de uma linha de semeadora de precisão.  |
| Cortar a palha                                    | Devido ao modelo de plantio direto, há a necessidade do corte da palha para que a operação de plantio ocorra de forma correta.   |
| Abrir e fechar o sulco                            | Operação que se dá antes e depois da semente ser colocada no solo, é essencial para o seu desenvolvimento.   |
| Solicitar o reabastecimento de sementes e energia | Sendo um equipamento autônomo, ele deve solicitar e/ou realizar a operação de reabastecimento de semente, adubo e energia.   |
| <b>Ergonomia</b>                                  |  |
| Fácil abastecimento de sementes e adubo           | A operação deve ser facilitada, pois o processo deve ser rápido e eficiente devido a logística de uma lavoura, independente se o processo for autônomo ou não.   |
| Acesso rápido à manutenção                        | Por trabalhar nas mais variadas condições, o equipamento deve ser de fácil manutenção, pois poderá trabalhar em lugares remotos com poucas condições de manutenções complexas.   |
| Sistema de simples operação                       | Quanto mais simples o sistema operacional, mais fácil de entrar no mercado e, além disso, não haverá grande necessidade por parte dos usuários para se adaptar a esse novo sistema de trabalho.  |
| Baixo ruído                                       | O equipamento não deve emitir grandes ruídos, pois deve atender as normas, apesar de realizar trabalhos ao ar livre, se muitos equipamentos trabalharem em um mesmo espaço, ocorre uma somatória desses sons, o que pode vir a ocasionar sérios problemas.   |
| <b>Custo</b>                                      |  |
| Mais econômico possível                           | Por ser um modelo que irá colaborar com todos os tamanhos de lavouras, com a possibilidade de atingir os mais variados públicos no meio agro.  |
| Materiais baratos para fabricação                 | Possibilidade de fabricação em empresas metalmeccânica que já estão no mercado, sem a necessidade de grandes investimentos para a adaptação da fabricação do produto.  |
| <b>Produção</b>                                   |  |
| Fabricação simples e larga escala                 | O processo de fabricação deve ser simples, no sentido de ser o menos artesanal possível, para produções em empresas metalmeccânica em largas escalas.  |
| Tempo de fabricação menor que 15 horas            | Para realizar produções em largas escalas, e com volumes, espera-se que todo o processo fabril não seja muito demorado e complicado.   |
| Utilizar componentes e operações padronizados     | Além de facilitar o processo fabril, se o projeto já for pensado em processos e componentes com possíveis padronizações, isso torna-se um facilitador de manutenção à campo.   |
| <b>Montagem</b>                                   |  |
| Rápida e simples                                  | O processo de montagem muitas vezes pode envolver vários processos complicados, ainda mais quando se trata de algo que possui componentes eletrônicos, facilitar esse tipo de processo agiliza no momento da fabricação e a manutenção no campo.   |
| Fácil acesso                                      | Esse cuidado deve ser tomado durante o desenvolvimento do projeto, pois facilitar acessos ao equipamento agiliza a sua utilização no campo e traz benefícios no momento da manutenção, tanto periódica quanto emergencial.   |
| <b>Controle de qualidade</b>                      |  |
| Testes a campo de no mínimo 2 horas               | Há a necessidade da realização de testes antes do produto ser comercializado, pois, por mais organizado e simples que seja o processo de fabricação e montagem, muitas vezes os produtos podem apresentar pequenas falhas durante a sua utilização, fatores esses que podem ser atacados com tempos de testes. |
| Inspecção de segurança                            | Item de extrema importância, por ser uma tecnologia autônoma, pois apesar de trabalhar sozinha, é algo relativamente novo no mercado, então esse tipo de inspecção nesse equipamento deve ser um item bem avaliado.  |
| Revisão do sensoriamento                          | Sensores ainda são produtos entrantes em alguns mercados, e por esse ser um equipamento que irá utilizar uma grande variedade, sempre devem estar aptos a serem utilizados, além de serem considerados itens de segurança.   |
| <b>Forças</b>                                     |  |
| Capacidade de deslocamento independente da carga  | Apesar da carga ser regulada, o equipamento deverá manter um padrão de deslocamento, independente se o usuário optar por variações de cargas dentro dos limites pré-estabelecidos.   |
| Tração para diferentes tipos de solo              | Devido à grande extensão do Brasil, há muita variedade de solos em que o plantio ocorre, além de fatores climáticos e geográficos que interferem no deslocamento   |

Fonte: Autor (2021).

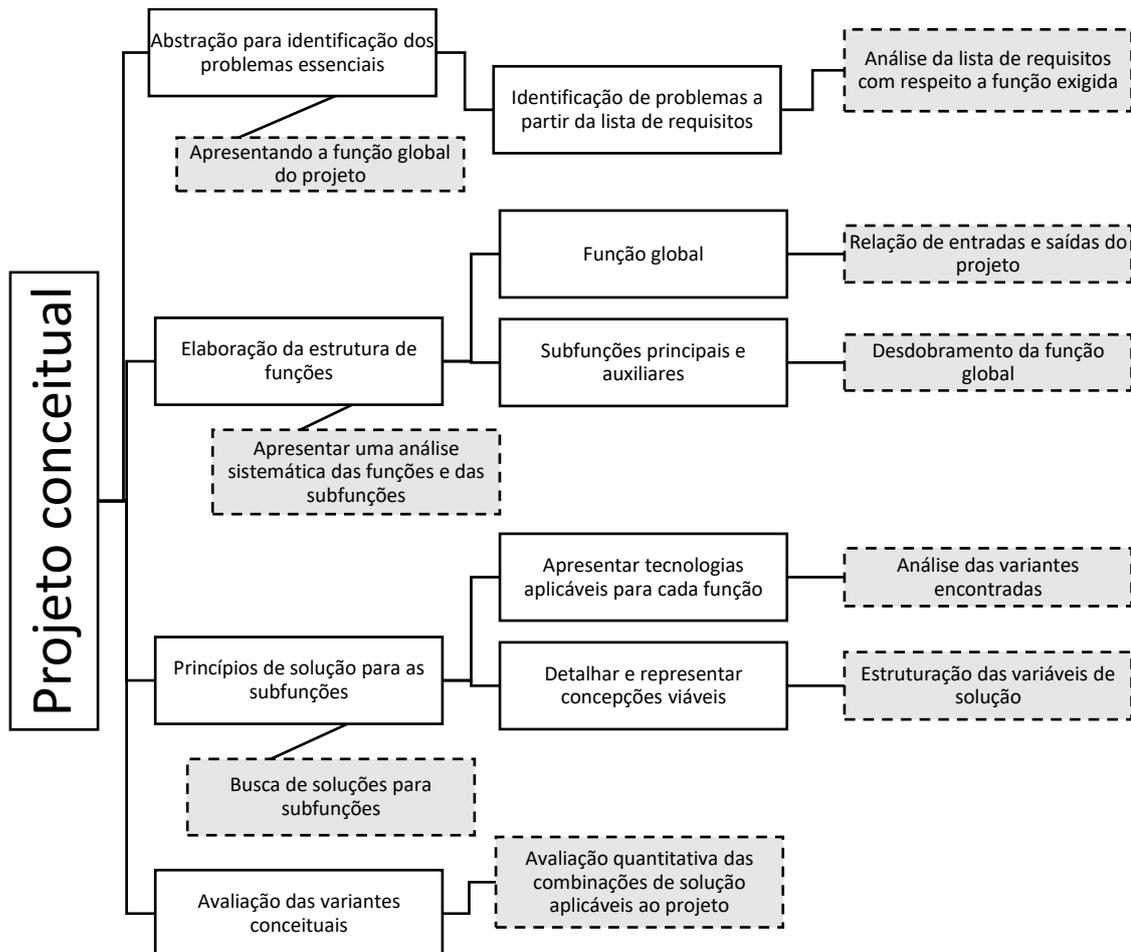
A lista de requisitos (Quadro 10) precisa obedecer ao princípio de comprometimento e da integralidade, sendo que é um fator fundamental da qual será analisada em todo o decorrer do projeto, pois nela são documentados somente os requisitos absolutamente necessários, tanto requisitos técnicos que são fundamentais na estruturação do equipamento, como requisitos listados por clientes dos quais viabilizam um equipamento mais atrativo aos olhos do mercado, para a execução da respectiva etapa de trabalho do processo de projeto e colabora para o esclarecimento das especificações das variáveis e dos atributos que são essenciais para o conceito, influenciam o desdobramento e determinam o *layout* básico do produto.

Portanto, a elaboração desta lista é um recurso eficiente para o desenvolvimento de soluções, além de ter encontrado uma ampla aceitação na prática industrial, atingindo assim o seu objetivo proposto, que é de auxiliar para que se consiga progredir para o projeto conceitual de forma mais objetiva, sem que se encontre maiores dificuldades em todo o decorrer do desenvolvimento projetual.

## 4 PROJETO CONCEITUAL

Após a elaboração da lista de requisitos, correspondente a primeira fase de desenvolvimento proposta pelo autor, tem-se na sequência, o desenvolvimento do projeto conceitual (segunda fase), conforme mostra Figura 23. Esta fase tem como objetivo o estabelecimento da estrutura funcional, subdividida em uma função global e subfunções principais e auxiliares, que norteará a busca de soluções, que através de combinações, possibilitarão o estabelecimento de variantes de soluções para o projeto. Desse modo, buscam-se informações claras para que essa etapa seja concebida, na qual estabelecem as principais características do equipamento, sendo uma etapa preliminar da solução final, de extrema importância, pois é por meio de sua elaboração que todos os requisitos fundamentais irão ser desenvolvidos, tendo no final dela um equipamento com todas as variáveis bem definidas para um posterior anteprojetado.

Figura 23 - Fluxograma das etapas do projeto conceitual



Fonte: Adaptada pelo autor de Pahl et. al., (2005).

## 4.1 Abstração para identificação dos problemas essenciais

A etapa de estrutura de funções do produto, que segundo Pahl. et al. (2005), é tida como a definição preliminar de uma solução. Contudo, para dar início a essa estruturação, utiliza-se a técnica da abstração para não se deixar conduzir por ideias fixas e convencionais, pois prescinde-se do individual e do fortuito e busca-se conhecer o geral e principal, permitindo salientar o principal para levar ao ponto fulcral do problema.

### 4.1.1 Identificação de problemas a partir da lista de requisitos

O primeiro passo para a solução consiste em analisar a lista de requisitos com respeito a função exigida e as principais condicionantes, a fim de ressaltar mais claramente o núcleo da questão. (PAHL et al. 2005).

Esse processo é realizado por 5 passos, os quais criam uma estrutura de pensamento que auxilia para chegar na formulação desse problema, que nada mais é do que a principal função do equipamento e/ou a função global, ele se dá da seguinte maneira:

- a) Primeira etapa: suprimir as vontades mentalmente;
- b) Segunda etapa: destacar apenas requisitos que afetam as funções principais;
- c) Terceira etapa: reverter os requisitos qualitativos em quantitativos;
- d) Quarta etapa: ampliar o que foi percebido;
- e) Quinta etapa: formular o problema de forma neutra, relacionando diretamente com a solução.

O Quadro 11 apresenta as aplicações das técnicas para o desenvolvimento da semeadora de precisão autônoma.

Quadro 11 - Técnica da abstração

|  |
|--|
| <b>1º e 2ª etapa - Suprimir vontades e considerar requisitos mais importantes:</b> |
| • Acionamento elétrico.  |
| • Sistema autônomo.  |
| • Realizar plantio e adubação.   |
| • Cortar a palhada.  |
| • Abrir e fechar o sulco adequadamente.  |
| • Fácil abastecimento.   |
| • Capacidade mínima de semente e adubo de 45 kg.                                   |
| • Sensor de obstáculo.   |
| • Sensor de volume.  |
| <b>3ª etapa – Converter dados quantitativos em qualitativos:</b>                   |
| • Diferentes tipos de acionamento.   |
| • Sistema autônomo.  |
| • Diferentes tipos de capacidades de armazenamento.                                |
| • Diferentes tipos de sensoriamento.   |
| • Realizar o trabalho proposto de plantio de sementes graúdas.                     |
| <b>4ª etapa – Se amplia de forma adequada ao que é importante:</b>                 |
| • Autonomia.   |
| • Sensoriamentos.  |
| • Diferentes capacidades de armazenamento.   |
| • Realizar o trabalho de plantio em sementes graúdas.                              |
| <b>5ª etapa - Formulação do problema:</b>  |
| • Realizar o plantio de forma autônoma.  |

Fonte: Autor (2021).

As etapas um e dois, concentraram-se nas principais soluções do projeto, pensando em sua funcionalidade. Várias vontades surgem no decorrer do desenvolvimento de um produto, porém nem todas irão agregar ao equipamento funções realmente importantes, por isso foi necessária a realização de uma análise, mesmo que mentalmente, para afunilar ao máximo essas características. Após, deve-se suprimir as vontades, para se conseguir chegar à uma solução, focou-se apenas nos requisitos considerados essenciais para atender ao usuário. É importante que nesta etapa se tenha em mente todas as características indispensáveis do projeto, pois assim facilita o processo de afunilamento de informações para se chegar no problema a ser resolvido.

Na terceira etapa, foi dada a atenção na conversão das quantidades em qualidades, observando qualidades correspondentes entre os fatores listados anteriormente. É possível observar que houve uma significativa redução, pois questões vistas como mecânicas (corte de palha e abertura e fechamento de sulco), serão provenientes de diferentes tipos de

acionamentos. Já, questões de deslocamentos são dependentes do sistema autônomo, sensoriamento e processos que o produto se propõe a realizar e, estão destacados como a capacidade do produto e o plantio das sementes.

A quarta etapa prevista, de como ampliar de forma adequada o que é importante, apresenta quatro fatores determinantes para o funcionamento do equipamento, sendo eles: autonomia, sensoriamento, capacidade de armazenamento e realização do trabalho do plantio, características essas que se apresentaram como os princípios de soluções mais apropriados as etapas anteriores.

A quinta etapa, prioriza a busca de soluções para os problemas centrais, por isso, é possível observar que a realização do plantio de forma autônoma é a característica fundamental que deve ser trabalhada para se chegar ao objetivo do equipamento, chegando em uma formulação do problema de forma neutra com relação à solução.

Sendo assim, é possível observar que, através do auxílio da abstração, define-se o problema do projeto, “Realizar o plantio de forma autônoma”, e como mencionado por Pahl et al (2005), a descoberta da função central, com o ponto crucial da tarefa ficando mais claro, pode-se formular muito mais apropriadamente a tarefa global no contexto de subtarefas também claras.

#### 4.1.2 Elaboração da estrutura de funções

A elaboração da estrutura de funções de um produto tem por objetivo apresentar uma análise sistemática das funções, e se houver, de subfunções por ele exercidas, e de como elas são percebidas. Para essa análise é necessário que o engenheiro conheça muito bem o produto com o qual está trabalhando, pois é através da função global, requerida pela técnica de abstração, que toda essa estruturação é correlacionada, e seus resultados serão utilizados para a geração de conceitos e de elementos para posteriores análises, tendo como objetivo final a composição do produto.

##### 4.1.2.1 Função global

Com o problema definido pela técnica da abstração, focando nas principais funções do dispositivo, se estabelece a função global, que deve ser realizada por variáveis de entrada, conversão ou transformação de algum tipo de material, energia ou sinal e, posteriormente, por variáveis de saída.

De acordo com Pahl et al. (2005), os sistemas técnicos cujo fluxo principal constitui-se por sinais, são denominados dispositivos, justificando o caráter abordado para o produto em todo o trabalho.

Neste projeto, os critérios foram elaborados da seguinte maneira: a variável de entrada de matéria são os insumos do equipamento; de energia, é a elétrica; e de sinal são as informações. Já, a variável de saída, é a semente plantada, a transformação de energia cinética e os sinais que serão convertidos em controle de sistema. A forma esquemática é representada no Quadro 12.

Quadro 12 - Relação de entradas e saídas do processo

| <b>Análise Funcional</b> | <b>Entrada</b>   | <b>Saída</b>        |
|--------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Matéria</b>           | Insumos          | Semente plantada    |
| <b>Energia</b>           | Energia elétrica | Energia cinética    |
| <b>Sinal</b>             | Informações      | Controle do sistema |

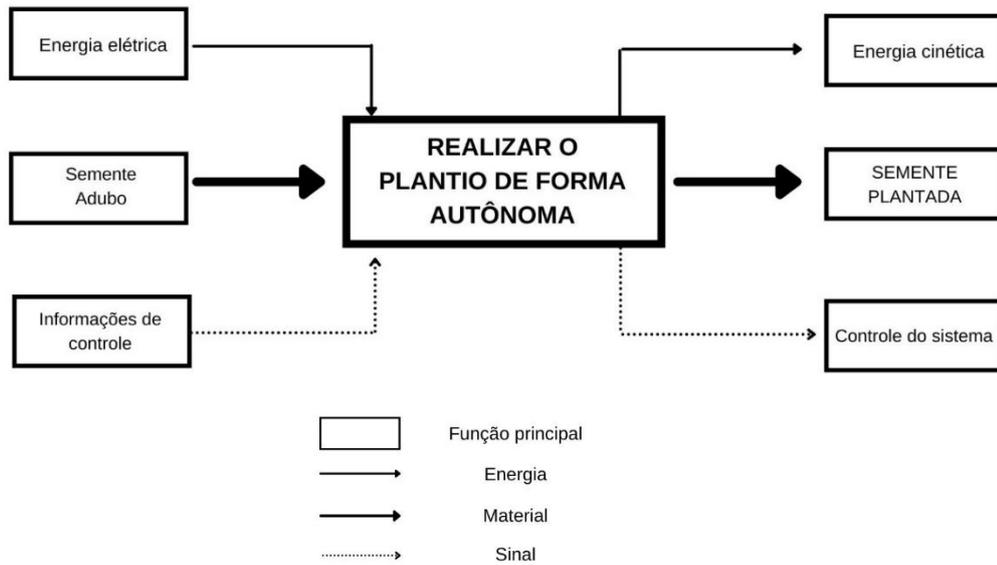
Fonte: Autor.

Pahl et al. (2005), cita que dependendo da complexidade da tarefa a ser solucionada, a função global resultante também será mais ou menos complexa, isto é, compreende-se por complexidade o grau de transparências das relações de entrada e saída, a multi estratificação dos processos físicos necessários, bem como o número final de subconjuntos e peças avulsas envolvidos.

Sendo assim, para o desenvolvimento do conceito da semeadora de precisão autônoma, elaborou-se da seguinte maneira, para o deslocamento do equipamento, foi referenciada a entrada de energia elétrica como a principal fonte de energia, na qual, durante o processo do plantio, se converte em energia cinética para a realização dos trabalhos no plantio e o deslocamento do equipamento autônomo na lavoura. Já, para a matéria, serão os insumos que irão sofrer a principal transformação no equipamento, a sua entrada é crucial para que o processo que se busca ocorra, sendo eles a semente e o adubo, finalizando o objetivo que é de estar no solo (solo adubado e semente plantada) para que essa etapa se conclua.

Para que todo o processo seja autônomo, o sinal se dá através das informações de controle do equipamento, que serão lidos por sensores, que enviarão sinais ao computador de bordo, que tomará as decisões e repassará ao operador, que irá interferir caso julgue necessário, para que tudo ocorra conforme o programado, conforme demonstra Figura 24.

Figura 24 - Função global da semeadora de precisão autônoma

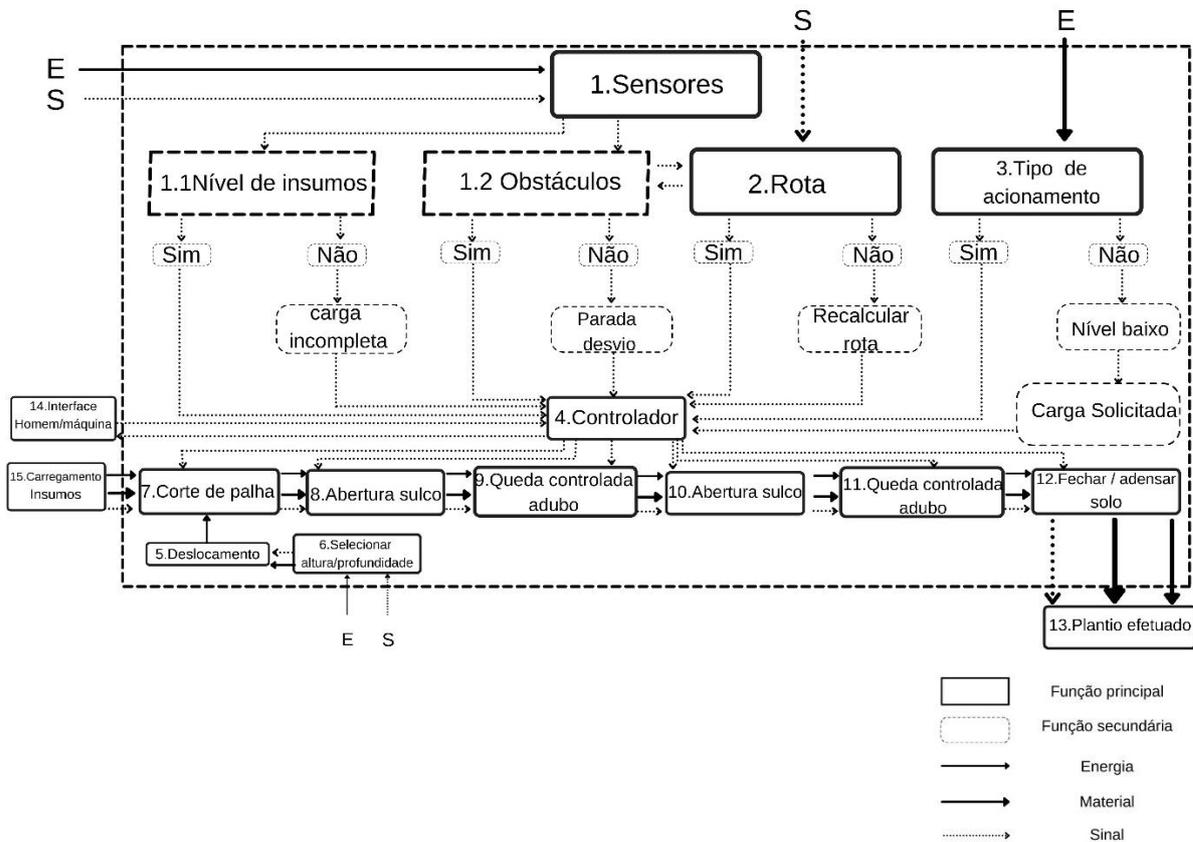


Fonte: Autor.

#### 4.1.2.2 Subfunções principais e auxiliares

Segundo Pahl et al. (2005), uma função global pode ser desdobrada em subfunções, que são estruturas arranjadas em série ou em paralelo, de menor complexidade. A interligação resulta na estrutura da função que representa a função global. Esta etapa objetiva simplificar a função global e interligar essas subfunções numa estrutura simples e inequívoca. Desse modo, chega-se a um fluxograma que classifica cada função do produto, relacionando a principal com suas subfunções, conforme demonstra Figura 25.

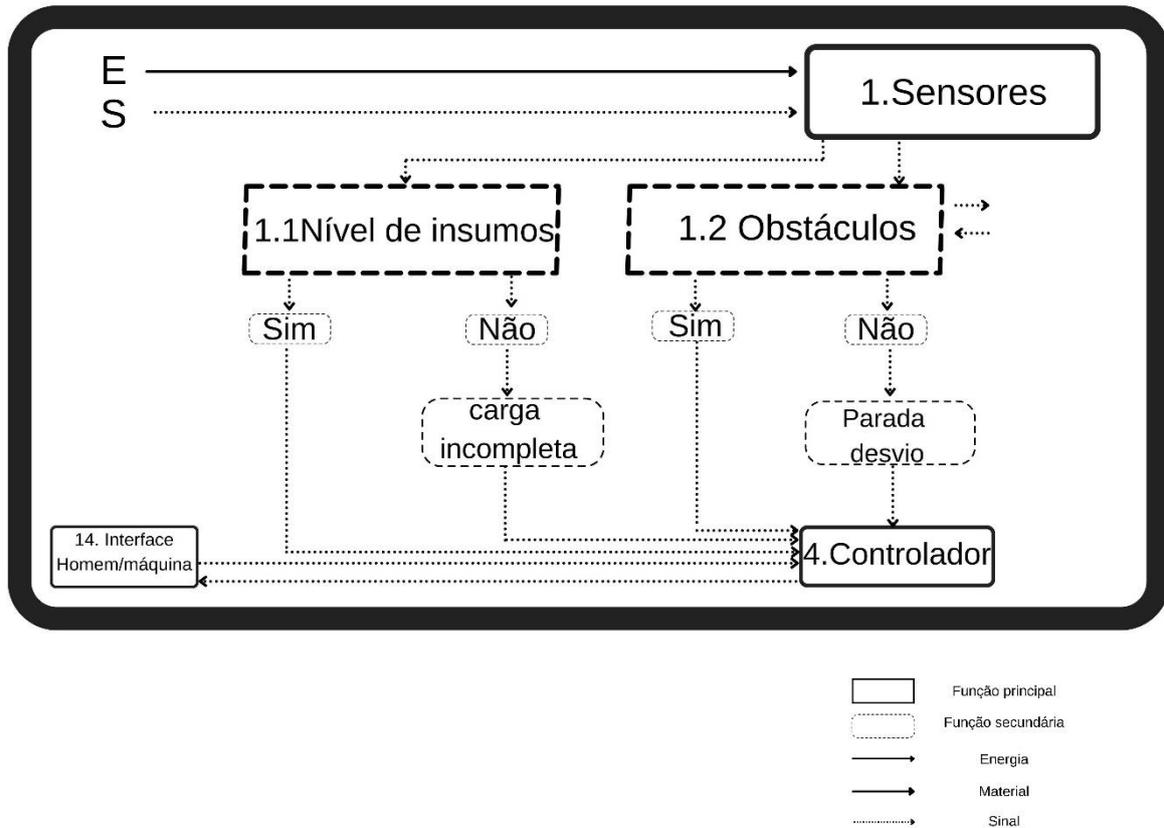
Figura 25 - Estrutura de funções: subfunções relacionadas ao projeto



Fonte: Autor.

Ao observar o fluxograma, nota-se que as funções principais (1 a 15), como: sensores, rota, tipo de acionamento, controlador, interface homem/máquina, carregamento de insumos, corte de palha, abertura do sulco (semente e adubo), queda controlada de adubo, queda controlada da semente, fechamento e adensamento do solo e plantio efetuado, são indispensáveis para o desenvolvimento e funcionamento do equipamento, e é através dessas funções que ocorrerão o plantio de forma autônoma, e as funções secundárias (1.1 e 1.2) visam o atendimento das principais, como o nível de insumos e os obstáculos que são totalmente dependentes dos modelos de sensores que se utilizará no projeto. Outros níveis secundários se fazem necessários, devido ao emprego da microeletrônica no projeto. Neste caso, foram considerados os fluxos de informações que irão ocorrer durante o processo do plantio. Todo esse fluxo depende de uma tomada de decisão por parte do controlador e/ou do usuário, que estará conectado ao equipamento por meio da interface homem/máquina. O exemplo desse processo no fluxograma é possível conferir na Figura 26.

Figura 26 - Funções secundárias devido ao emprego da microeletrônica



Fonte: Autor.

Portanto, a automação do plantio ocorre principalmente com o funcionamento correto dos sensores e seus comandos, e as tomadas de decisões ocorrem por meio da identificação de duas variáveis na programação (Sim ou Não), e em cada caso ocorrerá uma ação específica, para que não ocorra a parada do equipamento sem a real necessidade.

Definindo-se a função global, as suas principais funções e subfunções, pode-se caracterizá-las do seguinte modo:

**1 – Sensores:** peças primordiais para um equipamento autônomo, pois é neles que todas as informações serão coletadas e repassadas ao operador para o total funcionamento do produto.

**1.1 Nível de insumos:** medição dos níveis de sementes e adubo para a realização do plantio. Esses níveis devem ser condizentes com a quantia de trabalho que irá ser realizada, e quando estão abaixo ou faltantes, a informação é enviada para o controlador que irá decidir pela recarga ou pausa do equipamento.

- 1.2 Obstáculos:** leitura em tempo real para qualquer modificação no terreno que a rota foi estabelecida, para que não ocorram acidentes no percurso e o equipamento opere em segurança.
- 2 – Rota:** por ser um equipamento autônomo, a leitura do terreno deve ser efetuada para que o plantio seja realizado dentro dos padrões estabelecidos pelo operador.
  - 3 – Tipo de acionamento:** por trabalhar sozinho o equipamento deve ter um tipo de carga durável e, preferencialmente não poluente.
  - 4 – Controlador:** equipamento que processa todas as informações da semeadora e envia ao usuário para que possam ser tomadas decisões pontuais à distância, além de leituras do funcionamento da semeadora.
  - 5 – Deslocamento:** O equipamento deverá obedecer ao sentido da lavoura, sendo que ele nem sempre se dará em uma linha totalmente reta, além de realizar a volta para que ocorra o seu reposicionamento, esse deslocamento depende de uma fonte de energia para que ocorra.
  - 6 – Seleção altura/profundidade:** diferentes tipos de palhadas e solos são encontrados nas lavouras, por isso a semeadora deve trabalhar em variadas alturas, para que contemple a configuração total desejada.
  - 7 – Corte da palha:** por se tratar do sistema de plantio direto, a lavoura possui uma cobertura de vegetação seca (palha) que deve ser rompida para realizar o plantio.
  - 8 – Abertura do sulco adubo:** Conforme o equipamento se desloca, ocorre a abertura do sulco. Esse processo é o que determinam a profundidade do depósito, e é nesse sulco que o adubo será depositado.
  - 9 – Queda controlada adubo:** para que ocorra uma boa germinação da semente, o equipamento deve liberar quantidades pré-determinadas de adubo, e deverá entrar em contato com o solo.
  - 10 – Abertura do sulco semente:** Conforme o equipamento se desloca, ocorre a abertura do sulco. Esse processo é um dos que determinam a profundidade do depósito, é nesse sulco que a semente será depositada.
  - 11 – Queda controlada semente:** a semente deverá ter uma queda controlada, esse é outro fator que varia conforme a cultura que se está plantando e/ou o tipo de solo.
  - 12 – Fechamento e adensamento do sulco:** esse processo ocorre para que haja a cobertura total da semente, que após depositada no solo, é necessária à sua total cobertura e o adensamento para que se inicie o processo de germinação de maneira correta e segura.

- 13 – Plantio efetuado:** após o término do plantio, ou até mesmo devido algum outro fator, essa etapa compreende a parada do modo operacional do equipamento, seja ela para a finalização de trabalho ou para a realização de alguma logística que se faz necessária no momento.
- 14 – Interface homem/máquina:** aparelho que irá demonstrar o andamento do plantio, além de ser o local de interação entre homem e máquina para tomada de decisões durante o plantio.
- 15 – Carregamento de insumos:** as sementes, o adubo e/ou fertilizantes, serão carregados manualmente em caixas de cargas que farão a distribuição dos insumos no solo.

#### 4.1.3 Princípios de solução para as subfunções

Após a identificação das subfunções da semeadora autônoma, se inicia a busca de uma solução para cada uma delas, sendo que a união de todas essas soluções seja possível o funcionamento do conjunto completo. Aplicando o princípio da Matriz Morfológica, sugerida por Pahl et al., (2005) conforme demonstra o Quadro 13.

Quadro 13 - Matriz morfológica

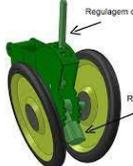
Continua

|     |                       | Solução   |   |  |
|-----|-----------------------|---|---|--|
|     | Função                | 1   | 2   | 3  |
| 1.1 | Sensores (insumos)    | Sensor de nível radar de onda guiada<br> | Infravermelho<br>           | Ultrassônico<br>            |
| 1.2 | Sensores (obstáculos) | Lidar ( light detection and ranging)<br> | Infravermelho reflexiva<br> | Ultrassônico<br>            |
| 2   | Rota                  | GPS<br>                                  | Programada<br>              | Controlada pelo usuário<br> |

Continua

|   |                                |  |   |  |
|---|--------------------------------|--|---|--|
| 3 | Carga de funcionamento         | Combustível<br>                                   | Elétrica + solar<br>                          |  |
| 4 | Controlador                    | Plataforma com computador de bordo NAV<br>        | Plataforma com computador de bordo NVIDIA<br> |  |
| 5 | Deslocamento                   | Pneus de borracha<br>                             | Esteiras<br>                                  | Rodas e esteiras<br>                            |
| 6 | Selecionar altura/profundidade | Pneumático<br>                                  | hidráulico<br>                              | Elétrico<br>                                  |
| 7 | Corte da palha                 | Disco simples rotativo durante deslocamento<br> | Disco simples acionado eletronicamente<br>  |  |
| 8 | Abertura do sulco adubo        | Bico riscador – sulcador<br>                    | Disco de mobilização localizada<br>         | Lâmina rotativa de mobilização localizada<br> |
| 9 | Abertura do sulco semente      | Bico riscador – sulcador<br>                    | Disco duplo<br>                             | Lâmina rotativa de mobilização localizada<br> |

## Conclusão

|    |                             |  |   |  |
|----|-----------------------------|--|---|--|
| 10 | Queda controlada do adubo   | Mecânica conforme deslocamento<br>                | Elétrica, rosca sem fim<br>         |  |
| 11 | Queda controlada da semente | Mecânico, conforme deslocamento<br>               | Pneumático<br>                      | Elétrica, disco seletor<br> |
| 12 | Fechamento Adensamento      | Roda de pressão<br>                               | Roda adensadora – recobridora<br>   |  |
| 13 | Interface homem/máquina     | Display próprio<br>                             | Celular / Tablet<br>              |  |
| 14 | Carregamento de insumos     | Caixas conjuntas (única dividida) 45 L cada<br> | Caixas separadas de 45 L cada<br> |  |

Fonte: Autor.

Para melhor entendimento, segue a descrição dos itens apresentados na matriz morfológica:

**Sensores insumos:** para o equipamento ser autônomo, há necessidade da conferência da quantidade de insumos, e o controle do andamento do seu consumo, por isso, são apresentadas 3 soluções para esse controle, sensor de nível de radar de onda guiada (A), sensor infravermelho (B) e sensor ultrassônico (C).

**Sensores obstáculos:** apesar de trabalhar em lavouras, em alguns casos podem aparecer obstáculos no caminho, como árvores, postes de luz, pessoas, caminhões etc., nesse caso o equipamento deve apresentar uma variada rede de sensores, para que a semeadora não provoque

eventuais acidentes que podem vir a causar danos, as soluções de sensoriamento que mais se adaptam a esse ambiente são: (A) Lidar, (B) infravermelho reflexiva e (C) ultrassônica.

**Rota:** A rota é um importante aspecto para que a semeadora funcione bem e cumpra o trabalho proposto, por isso, o posicionamento deve ser preciso para que o plantio ocorra corretamente nas linhas, e o equipamento siga o roteiro estabelecido. Nesse sentido, as soluções mais adequadas são: (A) GPS – *global position system*, (B) leitura e programação de rota e (C), controle a distância do equipamento.

**Carga de funcionamento:** para a semeadora ter energia para o deslocamento (sistema de propulsão), foram encontradas três alternativas. A solução “A” apresenta combustíveis (álcool, diesel, gasolina, etc.), sendo necessários motores a combustão no equipamento. A solução B ocorre por meio de carregamento elétrico com a energia provida da rede elétrica, e utiliza baterias e motores elétricos, além de auxílio de carga com energia solar.

**Controlador:** surgiram duas soluções para o controle autônomo do equipamento, na solução A, o computador de bordo NAV® e Mobius® que gerencia as funções do veículo e comunica todo o *status* em tempo real ao usuário remoto. Na solução B, é apresentado o NVIDIA DRIVE Hyperion Developer Kit®, um *software* configurado para aquisição de dados para automatização de veículos, sendo possível sua configuração para diferentes modelos de usabilidade.

**Deslocamento:** se tratando de diferentes tipos de solos, o equipamento necessita realizar o deslocamento de forma segura, e que não venha prejudicar o plantio. As soluções são: pneus de borracha (A), esteira de borracha (B) e pneus e esteira de borracha (conjuntos dos dois sistemas) (C).

**Seleção de altura/profundidade:** o tipo de solo, a semente que vai ser plantada, assim como o clima, são grandes influenciadores no momento do plantio, por isso a semeadora deve possuir diferentes configurações de altura do sistema de plantio, para que o mesmo ocorra de maneira correta. Por isso, aqui são apresentadas três propostas para realizar essa regulagem de altura nos pneus. Solução A com pistões pneumáticos, solução B com pistões hidráulicos e, solução C, sistema com atuador elétrico.

**Corte da palha:** as soluções encontradas para esse processo de cortar a palha antes de iniciar o plantio são: solução A - disco simples de corte, que realiza o corte na velocidade do deslocamento da semeadora e, solução B - disco simples de corte acionado eletronicamente, sem depender do deslocamento.

**Abertura do sulco adubo:** para abrir o sulco do adubo/fertilizante durante o processo do plantio, destacam-se as soluções que dependem do deslocamento para funcionar: A - bico

riscador sulcador, B - disco de mobilização localizada e C, lâmina rotativa de mobilização localizada.

**Abertura do sulco semente:** para abrir o sulco da semente durante o processo do plantio, destacam-se as soluções que dependem do deslocamento para funcionar: A - bico riscador sulcador, B - disco duplo desencontrado e C, lâmina rotativa de mobilização localizada.

**Queda controlada do adubo:** após realizada a abertura do sulco, o adubo e/ou fertilizante deve ser depositado em determinadas quantidades. Aqui foram selecionados dois sistemas que integram essa solução. A coluna A apresenta um sistema de rosca sem fim, onde se faz o giro de modo mecânico, que depende do deslocamento para ser acionado e, a coluna B, apresenta uma solução com motor elétrico para a rosca de descarga ser acionada, assim a quantidade pode ser ajustada conforme a necessidade, e não o deslocamento.

**Queda controlada da semente:** por se tratar de um sistema de plantio de precisão, o equipamento deve necessariamente colocar a semente no solo com uma determinada distância já estabelecida, e esse padrão deve ser mantido durante todo o plantio. As soluções encontradas que se adaptam nesse sistema são: A - mecânico conforme o deslocamento: depende do modelo de discos de sementes que são colocados no selecionador de sementes, esse sistema realiza a seleção conforme o deslocamento da semeadora, sendo que as distâncias dos furos que selecionam a semente, mais a velocidade do deslocamento são os fatores que determinam a rotação deste disco, essa seleção se faz por gravidade, e fazem com que as sementes são depositadas no solo de maneira controlada. Solução B - pneumático, é um sistema onde a semente se encaixa no disco através de um vácuo formado no momento da seleção da semente. Esses sistemas dependem de uma turbina de ar para que esse vácuo selecionador seja criado. O disco funciona conforme o deslocamento da semeadora, similar a solução A. Solução C - Sistema elétrico que funciona por meio de um motor movido a eletricidade, que realiza o giro do disco seletor de sementes. Esse sistema é independente do deslocamento e pode ser controlado através de seleção de sementes por metro.

**Fechamento do sulco e adensamento:** momento em que ocorre a compactação da semente depositada no sulco, após a terra ser recolocada. Pode ser realizada por três soluções. Solução A - Roda de pressão, que possui uma dimensão maior que a do sulco, que por meio de um peso, compacta a terra que está solta no sulco, sem puxar a sobressalente. Solução B - roda adensadora – recobridora simples –, que faz as duas funções, recolhendo a terra jogada na lateral, conforme deslocamento de maneira autônoma.

**Interface homem/máquina:** as alternativas para o usuário visualizar e comandar o equipamento quando necessário são: solução A - Celular ou tablet, possibilidade de baixar o

programa de lojas de aplicativos *on-line* e realizar a conexão. Solução B - *Display* próprio, sendo que o programa e o equipamento sejam fornecidos para o usuário somente pelo fabricante, não havendo a possibilidade da utilização de outros programas.

**Carregamento de insumos:** o carregamento será manual e, por isso, as caixas devem facilitar o processo. Portanto, foram apresentadas duas soluções: A - as caixas serão lado a lado (caixa única), somente com uma divisão interna. B - caixas separadas mantendo o atual sistema popular em semeadoras.

Para realizar a identificação das variantes de soluções compatíveis, e que satisfaçam a função global do novo produto, realizou-se a análise qualitativa, para descartar opções que não suprem os requisitos básicos elencados como fundamentais na semeadora de precisão autônoma. Por isso, as funções foram descritas no Quadro 14, sendo que cada uma foi avaliada individualmente, portanto, a localização de cada elemento é denominada pela letra L que corresponde a linha em que se encontra, e a letra C correspondendo a coluna de cada elemento, sendo que, “L1.1C1” corresponde ao elemento da primeira linha e primeira coluna, assim sucessivamente. A avaliação é realizada respondendo algumas questões como: se atendem a todos os objetivos do projeto, se é funcional, se atende aos requisitos de segurança, se há meios para fabricação imediata e, se os custos atendem as expectativas, as quais foram respondidas com (S) para sim, (N) para não, quando não atendem e, (?) interrogação quando ainda não está bem claro e são necessárias mais informações para a tomada de decisão.

Quadro 14 - Seleção das variantes de solução

| Avaliar alternativas de solução de acordo com os critérios e seleção |   |   |   |   |   |  |    |
|--|---|---|---|---|---|--|----|
|  | S - Sim                                 |   |   |   |   | Possíveis soluções                             |    |
|  | N - Não                                 |   |   |   |   |  |    |
|  | ? - Escassez de informações             |   |   |   |   |  |    |
|  | Atende a todos os objetivos do projeto? |   |   |   |   |  |    |
|  | É funcional?                            |   |   |   |   |  |    |
|  | Atende aos requisitos de Segurança?     |   |   |   |   |  |    |
| Há meios para fabricação imediata?                                   |   |   |   |   |   |  |    |
| O custo atende as expectativas?                                      |   |   |   |   |   |  |    |
|  | 1                                       | 2 | 3 | 4 | 5 | Observações                                    |    |
| L1.1C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L1.1C2   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L1.1C3   | N                                       | S | S | N | N | Não é funcional com sólidos                    |    |
| L1.2C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L1.2C2   | N                                       | ? | S | S | S | A detecção e tempo de respostas mais lentos    |    |
| L1.2C3   | N                                       | S | S | S | S | Não apresenta a efetividade esperada           |    |
| L2C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L2C2   | N                                       | S | S | S | S | Não atende aos objetivos propostos             |    |
| L2C3   | N                                       | N | N | S | S | Não atende aos objetivos propostos             |    |
| L3C1   | N                                       | S | S | S | S | Não atende a todas as exigências do projeto    |    |
| L3C2   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L4C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L4C2   | S                                       | N | S | N | N | Solução cara e complicada                      |    |
| L5C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L5C2   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L5C3   | S                                       | N | S | S | S | Muitos componentes diferentes                  |    |
| L6C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L6C2   | S                                       | N | S | S | S | Desvantagem em relação aos outros dois modelos |    |
| L6C3   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L7C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L7C2   | S                                       | S | N | S | N | Não é seguro                                   |    |
| L8C1   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L8C2   | N                                       | S | S | S | S | Não é apropriado para sulcos de fertilização   |    |
| L8C3   | N                                       | N | S | S | S | Não é apropriado para esse projeto             |    |
| L9C1   | N                                       | N | S | S | S | Modelo não é apropriado para sementes          |    |
| L9C2   | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L9C3   | N                                       | N | N | S | S | Sistema não efetivo                            |    |
| L10C1  | N                                       | N | S | S | S | Modelo antiquado e apresenta erros             |    |
| L10C2  | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L11C1  | N                                       | N | S | S | S | Modelo antiquado e apresenta erros             |    |
| L11C2  | S                                       | N | S | S | S | Necessita de mais componentes para funcionar   |    |
| L11C3  | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L12C1  | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L12C2  | N                                       | S | S | S | S | Necessita de dois conjuntos                    |    |
| L13C1  | S                                       | N | S | S | N | Há meios mais rápidos e baratos para o usuário |    |
| L13C2  | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L14C1  | S                                       | S | S | S | S |  | OK |
| L14C2  | S                                       | S | S | S | S |  | OK |

Fonte: Autor.

Após a análise qualitativa, as soluções são apresentadas no Quadro 15, para posteriormente seguirem para as próximas etapas, é por meio desse quadro que ocorrerão as combinações de soluções, resultado em diferentes conceitos de um mesmo produto.

É possível observar que, Pahl et al. (2005), o modelo de organização da matriz morfológica deve possibilitar combinações intuitivas e inequívocas de princípios de soluções, levando-se em conta variáveis físicas ou, outras variáveis acompanhantes das correspondentes características geométricas e materiais de soluções. Além disso, conforme Pahl et al. (2005), a identificação de soluções compatíveis é facilitada quando: as subfunções estão dispostas de acordo com a sequência em que ocorrem na estrutura da função, os princípios de soluções são convenientemente ordenados com a ajuda de parâmetros de colunas adicionais, quando os princípios de soluções apresentam palavras e esboços conceituais e, também, quando as propriedades e características mais importantes dos princípios de soluções forem registradas.

Sendo assim, as combinações encontradas para o conceito da semeadora de precisão autônoma, foram analisadas seguindo as recomendações da metodologia descrita, conforme demonstra o Quadro 15.

Quadro 15 - Matriz morfológica com encontro de soluções

|     | Função                         | Solução                                      |   |   |
|-----|--------------------------------|--|---|---|
|     |                                | 1  | 2   | 3   |
| 1.1 | Sensores (insumos)             | Sensor de nível radar de onda guiada         | Infravermelho                             | Ultrassônico                              |
| 1.2 | Sensores (obstáculos)          | Lidar ( <i>light detection and ranging</i> ) | Infravermelho reflexiva                   | Ultrassônico                              |
| 2   | Rota                           | GPS  | Programada                                | Controlada pelo usuário                   |
| 3   | Carga de funcionamento         | Combustível                                  | Elétrica + solar                          |   |
| 4   | Controlador                    | Plataforma com computador de bordo NAV       | Plataforma com computador de bordo NVIDIA |   |
| 5   | Deslocamento                   | Rodas de borracha                            | Esteiras                                  | Rodas e esteiras                          |
| 6   | Selecionar altura/profundidade | pneumático                                   | Hidráulico                                | Elétrico                                  |
| 7   | Corte da palha                 | Disco simples rotativo durante deslocamento  | Disco simples acionado eletronicamente    |   |
| 8   | Abertura do sulco adubo        | Bico riscador – sulcador                     | Disco de mobilização localizada           | Lâmina rotativa de mobilização localizada |
| 9   | Abertura do sulco semente      | Bico riscador - sulcador                     | Disco duplo.                              | Lâmina rotativa de mobilização localizada |
| 10  | Queda controlada do adubo      | Mecânica conforme deslocamento               | Elétrica rosca sem fim                    |   |
| 11  | Queda controlada da semente    | Mecânico, conforme deslocamento              | Pneumático                                | Elétrica, disco seletor                   |
| 12  | Fechamento/Adensamento         | Roda de pressão                              | Roda adensadora – recobadora              |   |
| 13  | Interface homem/máquina        | Display próprio                              | Celular / Tablet                          |   |
| 14  | Carregamento de insumos        | Caixas conjuntas (única dividida) 45 L cada  | Caixas separadas de 45 L cada             |   |

A

B

Fonte: Autor.

Duas variações de configurações foram encontradas para o conceito da semeadora de precisão autônoma. A variante de solução A, apresenta três diferenciais: sensoriamento de nível de insumos por radar de onda, as rodas de borracha para a locomoção e as caixas de insumos ficarem integradas, divididas apenas internamente. A variante de solução B, apresenta como característica o sensoriamento de nível de insumos via infravermelho, a locomoção com a utilização de esteiras de borrachas e as caixas de insumos serão separadas e distintas.

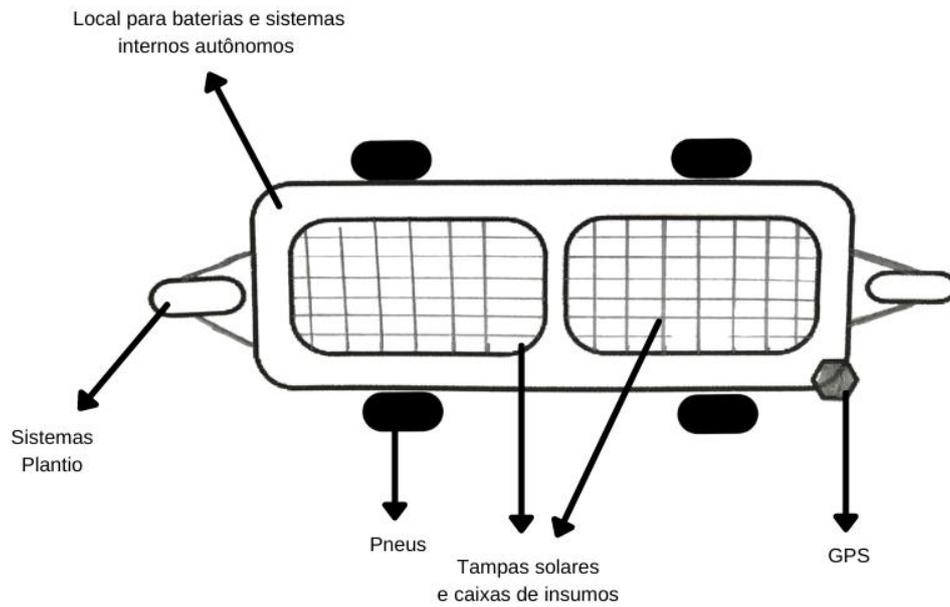
As demais características de sensoriamento, rota e sistema de plantio, são apresentadas nas duas variações, ficando definido que os sensores de obstáculos utilizarão câmeras 3D com sensoriamento, a rota será auxiliada por GPS, a carga de funcionamento será elétrica, com

opções de recargas na rede, e solar, o controlador funcionará por meio de um computador de bordo, o seletor de altura/profundidade para o plantio será elétrico, com deslocamento total da semeadora. Já o padrão do plantio utilizará o disco de corte único para cortar a palha, a abertura do sulco é por meio do bico riscador – sulcador e o sulco da semente por um disco duplo –. A queda do adubo é controlada por meio de uma rosca com acionamento elétrico, sistema parecido com a queda da semente, em que um dispositivo elétrico irá controlar a queda da semente conforme a rotação do disco. O fechamento e adensamento dos sulcos se darão conforme o deslocamento, por uma roda adensadora – recobridora – e os aplicativos para acompanhamento serão fornecidos via loja de aplicativos, sendo utilizados em tablets e/ou aparelhos celulares.

#### *4.1.3.1 Detalhamento e representação das concepções viáveis*

As variantes encontradas anteriormente foram detalhadas com representações por meio de esboços das vistas superiores, os quais demonstrarão melhor as estruturas descritas, a fim de realizar um estudo e selecionar a configuração que mais se enquadra no projeto desejado para a semeadora. A Figura 27 ilustra o esboço da variante A, sua estrutura é composta de uma caixa única dividida internamente para a colocação do adubo ou fertilizantes na parte frontal, e sementes na parte traseira da semeadora. O deslocamento é realizado por 4 rodas de borracha, e toda a estrutura do plantio será acoplada na parte interna dessa caixa, por isso, a altura e a profundidade serão selecionadas através de guias colocados nas quatro rodas, fazendo com que toda a estrutura abaixe ou levante, dependendo do modo que será operado, e da seleção realizada pelo operador. Além disso, as tampas serão compostas de placas solares para aproveitamento de espaço e sensores, câmeras e antena para o GPS serão acopladas na estrutura das caixas. Os motores elétricos e as baterias serão internos, para prevenir as intempéries do tempo e do local de trabalho.

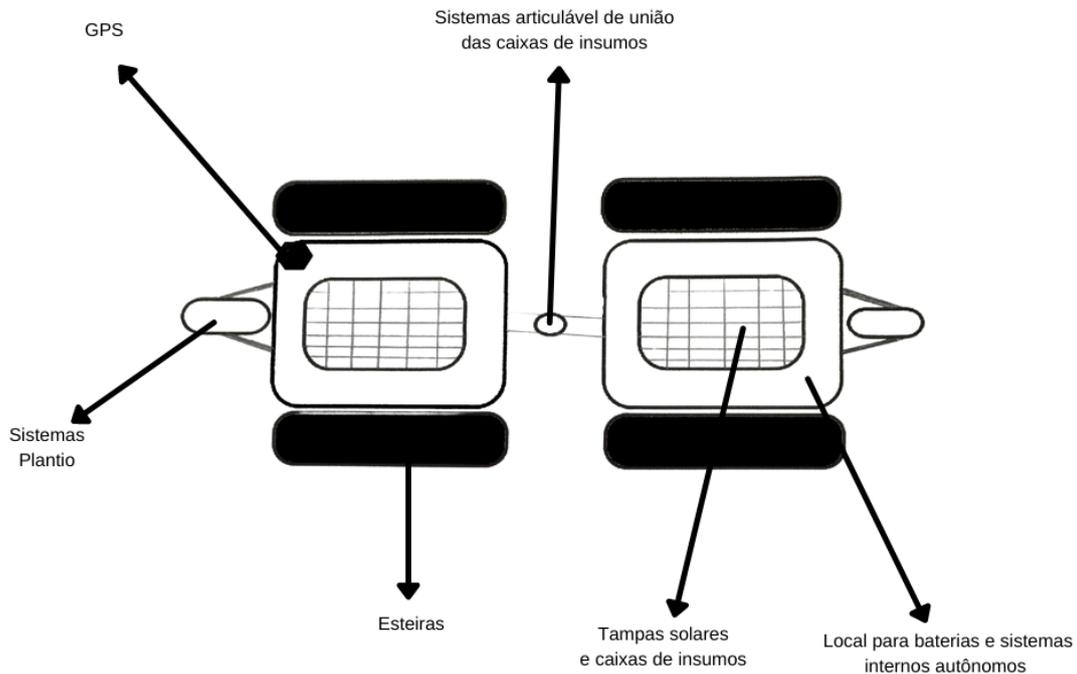
Figura 27 - Esboço variante de solução A



Fonte: Autor.

A solução B, representada na Figura 28, compartilha de alguns componentes com a variante A, porém, apresenta duas caixas de insumos separadas para que as estruturas funcionem separadamente, e a semeadora fica mais articulável, com o objetivo de se comportar melhor no terreno (copiando o solo), além de separar as seleções de altura e profundidade do adubo/fertilizante e da semente. O deslocamento se dará por esteiras emborrachadas ao invés de rodas, com o objetivo de reduzir a compactação e melhorar o equilíbrio das caixas durante o trajeto, além do sensoriamento de obstáculos ser apenas por infravermelho.

Figura 28 - Esboço variante de solução B



Fonte: Autor.

#### 4.1.3.2 Materialização das variantes básicas da solução

A solução ainda está voltada ao atendimento da função técnica, mas, para a analisabilidade é imprescindível uma materialização em um plano básico. Há a necessidade de asserções com relação ao princípio de funcionamento, suscetibilidade a possíveis falhas, além de relação ao encorpamento, como demanda de espaço, peso, tempo de vida útil e outros pontos que o desenvolvedor julgar importante.

Essas informações devem ser levantadas somente para as combinações que são julgadas mais promissoras, que nesse caso são as variantes de soluções A e B. Para se chegar a concretização dessas variantes, e realizar o processo avaliativo a fim de encontrar a mais promissora, foram analisados os seguintes parâmetros listados por Back et al. (2008):

1. **Atendimento a função:** foi avaliado se ambas as soluções cumprirão a função básica de realizar o plantio de forma autônoma, em uma lavoura que segue os atuais padrões de plantio direto.
2. **Tecnicamente viável:** apesar de ser uma avaliação de um conceito, é importante já pensar em variáveis para o momento em que o projeto estiver finalizado, tais como, materiais disponíveis para a fabricação, modelo de fabricação, logísticas, através das soluções presentes na matriz morfológica.

3. **Fácil manutenção:** todo o projeto deve ser pensado em maneiras de se realizar uma manutenção rápida e fácil, tanto por parte do usuário, quanto por parte do fabricante, além de manutenções preventivas e corretivas de baixo custo.
4. **Boa aparência:** realizar uma análise, mesmo que inicial, se as variantes possuirão aspectos qualitativos em relação ao formato e unidade de composição.
5. **Fácil uso:** produtos com uma usabilidade facilitada tem melhor aceitação no mercado, por isso, fatores como arranjos de controles, forças de acionamento, fácil leitura de mostradores, aprendizado de uso fácil, podem ser também avaliados.
6. **Alta inovação:** neste projeto, a alta inovação é um fator crucial, por isso é feita uma análise se possui uma diferenciação tecnológica adequada e, se as variáveis de solução são patenteadas.
7. **Segurança:** Fator importante que deve ser avaliado, principalmente se atende as normas vigentes de segurança, e se há um baixo risco para acidentes.

Para critérios de avaliação, utilizou-se escala de 0 a 10, sendo que 0 não atende aos critérios estabelecidos para a geração do conceito, e 10 atende totalmente. A avaliação geral das combinações encontradas é apresentada no Quadro 16.

Quadro 16 - Critérios avaliativos para a concretização das variantes

|                            |          |                         |                         |
|----------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|
| Variantes<br>de<br>solução | <b>A</b> | Atendimento a função 10 |                         |
|                            |          | Tecnicamente viável 10  |                         |
|                            |          | Fácil manutenção 10     |                         |
|                            |          | Boa aparência 10        |                         |
|                            |          | Fácil uso 10            |                         |
|                            |          | Alta inovação 10        |                         |
|                            |          | Segurança 10            |                         |
|                            |          | TOTAL 70                |                         |
|                            |          | <b>B</b>                | Atendimento a função 10 |
|                            |          |                         | Tecnicamente viável 10  |
| Fácil manutenção 10        |          |                         |                         |
| Boa aparência 10           |          |                         |                         |
| Fácil uso 09               |          |                         |                         |
| Alta inovação 10           |          |                         |                         |
| Segurança 10               |          |                         |                         |
| TOTAL 69                   |          |                         |                         |

Como as duas variantes de solução atenderam aos critérios gerais de forma satisfatória, sendo que somente a variante de solução B obteve em um item, uma nota menor que 10, decidiu-se então por seguir com ambos os conceitos, e realizar uma nova avaliação com base em critérios mais técnicos e específicos, a fim de focar nos principais diferenciais do conceito e optar por uma das variantes.

#### 4.1.4 Avaliação das variantes conceituais

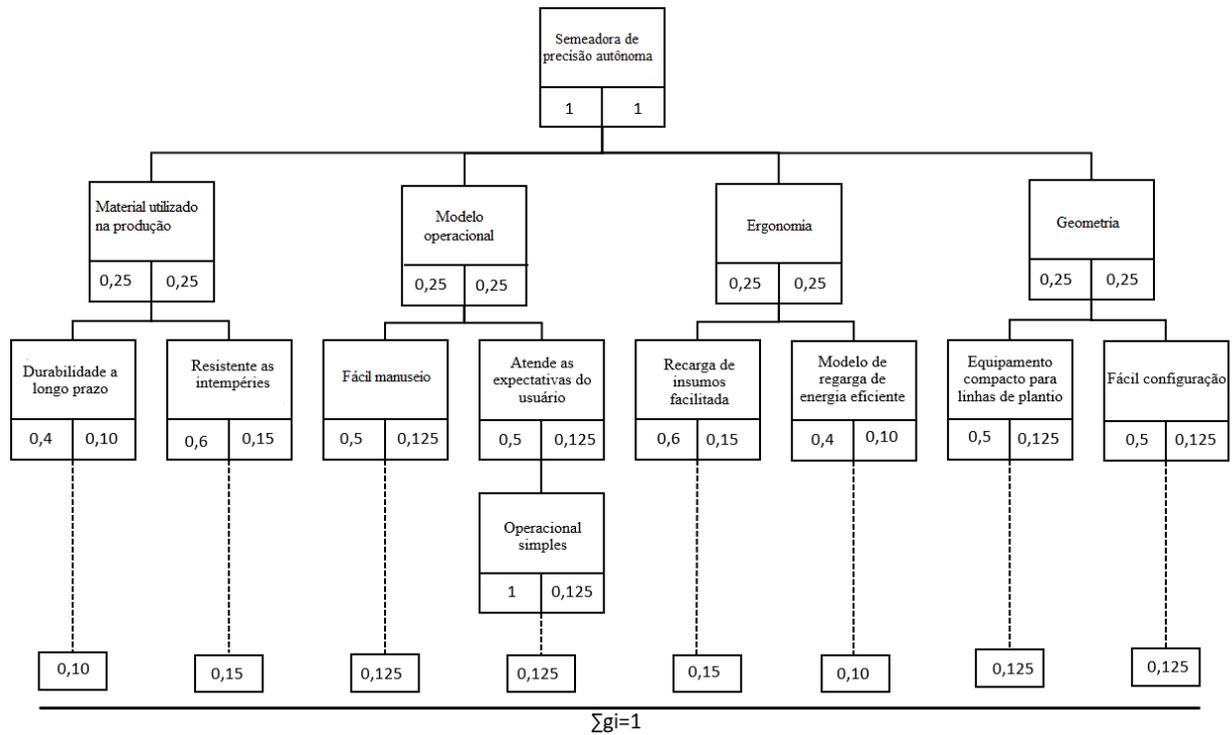
As duas soluções encontradas devem ser avaliadas com base em uma análise numérica. Por isso, deve-se determinar critérios de valor que são obtidos a partir das exigências da lista de requisitos, somados às características gerais técnicas para os princípios de funcionamento, onde se faz necessário atribuir um valor a cada característica desejada, considerando os maiores valores àqueles requisitos de grande importância.

O peso de cada característica foi estipulado levando em conta a funcionalidade prática do equipamento, além de critérios técnicos-econômicos, sendo atribuídos valores maiores àqueles requisitos de grande importância para a concepção final da semeadora de precisão autônoma.

Essa análise utilizou-se do método de comparação de pontos, em que a soma final de cada peso deve ser igual a 1 (um), e a solução que apresentar a maior pontuação é a ideal, conforme a metodologia proposta por Pahl. et al (2005).

A Figura 29 apresenta um organograma com os oito objetivos mais relevantes do projeto: durabilidade a longo prazo; resistente as intempéries; fácil manuseio; atende as expectativas do usuário; recarga de insumos facilitada; modelo de recarga de energia eficiente; equipamento compacto para linhas de plantio; fácil configuração e suas respectivas pontuações.

Figura 29 - Organograma de objetivos



Fonte: Autor.

Cada objetivo possui uma importância no equipamento e, para realizar a avaliação de cada concepção em relação a esses objetivos, as concepções devem ser consideradas quantitativamente. Essa relação pode ser realizada por dois métodos distintos: a análise de pontos ou as diretrizes da VDI225. Conforme Tabela 1, são apresentados os critérios de avaliação adotados para quantificar a funcionalidade teórica dos oito objetivos do equipamento.

Tabela 1 - Critérios de avaliação das soluções

| Escala de valores | Magnitude dos parâmetros |                |                            |                           |                |                                   |                               |  |   |                    |
|-------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|--|---|--------------------|
|                   | Análise de valor         | VDI 225 Pontos | Durabilidade a longo prazo | Resistente as intempéries | Fácil manuseio | Atende as expectativas do usuário | Recarga de insumos facilitada | Modelo de recarga de energia eficiente | Equipamento compacto para linhas de plantio | Fácil configuração |
| 0                 | 1                        | 0              | Muito ruim                 | Muito ruim                | Muito difícil  | Não atende                        | Muito difícil                 | Muito ineficiente                      | Não atende                                  | Muito difícil      |
| 1                 |                          |                | Muito ruim                 | Muito ruim                | Muito difícil  | Não atende                        | Muito difícil                 | Muito ineficiente                      | Não atende                                  | Muito difícil      |
| 2                 | 3                        | 1              | Ruim                       | Ruim                      | Difícil        | Atende parcialmente               | Difícil                       | Ineficiente                            | Atende parcialmente                         | Difícil            |
| 3                 |                          |                | Ruim                       | Ruim                      | Difícil        | Atende parcialmente               | Difícil                       | Ineficiente                            | Atende parcialmente                         | Difícil            |
| 4                 | 5                        | 2              | Regular                    | Regular                   | Regular        | Regular                           | Regular                       | Regular                                | Regular                                     | Regular            |
| 5                 |                          |                | Regular                    | Regular                   | Regular        | Regular                           | Regular                       | Regular                                | Regular                                     | Regular            |
| 6                 | 7                        | 3              | Boa                        | Boa                       | Fácil          | Atende                            | Fácil                         | Eficiente                              | Atende                                      | Fácil              |
| 7                 |                          |                | Boa                        | Boa                       | Fácil          | Atende                            | Fácil                         | Eficiente                              | Atende                                      | Fácil              |
| 8                 | 9                        | 4              | Muito boa                  | Muito Boa                 | Muito fácil    | Atende totalmente                 | Muito fácil                   | Muito eficiente                        | Atende totalmente                           | Muito fácil        |
| 9                 |                          |                |                            |                           |                |                                   |                               |  |   |                    |
| 10                |                          |                |                            |                           |                |                                   |                               |  |   |                    |

Fonte: Autor.

Em cada variante foi avaliada a funcionalidade para cada um dos oito objetivos. A avaliação está baseada na tabela de valores adotados (Tabela 2), na qual os critérios seguidos têm como referência as diretrizes de valores adotados, conforme VDI225, em que a escala de valores varia de 0 a 4 pontos, sendo zero o valor mínimo e insatisfatório e 4 o valor máximo.

A análise quantitativa das duas variantes, adotando os pesos mencionados na Figura 30 e as notas da Tabela 1, estão ilustradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Avaliação das variantes

| Critérios de avaliação |   |       | Parâmetros  | Variante A        |       |                 | Variante B  |       |                 |       |
|------------------------|---|-------|-------------|-------------------|-------|-----------------|-------------|-------|-----------------|-------|
| Nr.                    | Características                             | Fator | Nomes       | Propriedade       | Valor | Valor ponderado | Propriedade | Valor | Valor ponderado |       |
| 1                      | Durabilidade a longo prazo                  | 0,1   | Resistência | Boa               | 3     | 0,3             | Boa         | 3     | 0,3             |       |
| 2                      | Resistente as intempéries                   | 0,15  | Resistência | Boa               | 3     | 0,45            | Boa         | 3     | 0,45            |       |
| 3                      | Fácil manuseio                              | 0,13  | Usabilidade | Muito fácil       | 4     | 0,5             | Muito fácil | 4     | 0,5             |       |
| 4                      | Atende as expectativas do usuário           | 0,13  | Usabilidade | Atende            | 3     | 0,375           | Atende      | 3     | 0,375           |       |
| 5                      | Recarga de insumos facilitada               | 0,15  | Ergonomia   | Muito fácil       | 4     | 0,6             | Regular     | 2     | 0,3             |       |
| 6                      | Modelo de recarga de energia eficiente      | 0,1   | Segurança   | Eficiente         | 3     | 0,3             | Eficiente   | 3     | 0,3             |       |
| 7                      | Equipamento compacto para linhas de plantio | 0,13  | Custos      | Atende totalmente | 4     | 0,5             | Regular     | 2     | 0,25            |       |
| 8                      | Fácil configuração                          | 0,13  | Usabilidade | Fácil             | 3     | 0,375           | Regular     | 2     | 0,25            |       |
| Total                  |   | 1     |             |                   | 27    | 3,4             |             |       | 22              | 2,725 |

Fonte: Autor.

Após analisado numericamente, concluiu-se que a variante de solução “A”, foi identificada com uma maior pontuação, sendo assim, é a melhor opção para ser posteriormente aprimorada na próxima etapa do projeto, já que ela apresenta configurações que mais se aproximam dos requisitos estabelecidos para a elaboração do conceito desse equipamento, portanto, com essa definição da solução básica, tem-se o encerramento dessa fase e resultando em uma estruturação de funcionamento adequado para a semeadora de precisão autônoma.

## **5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

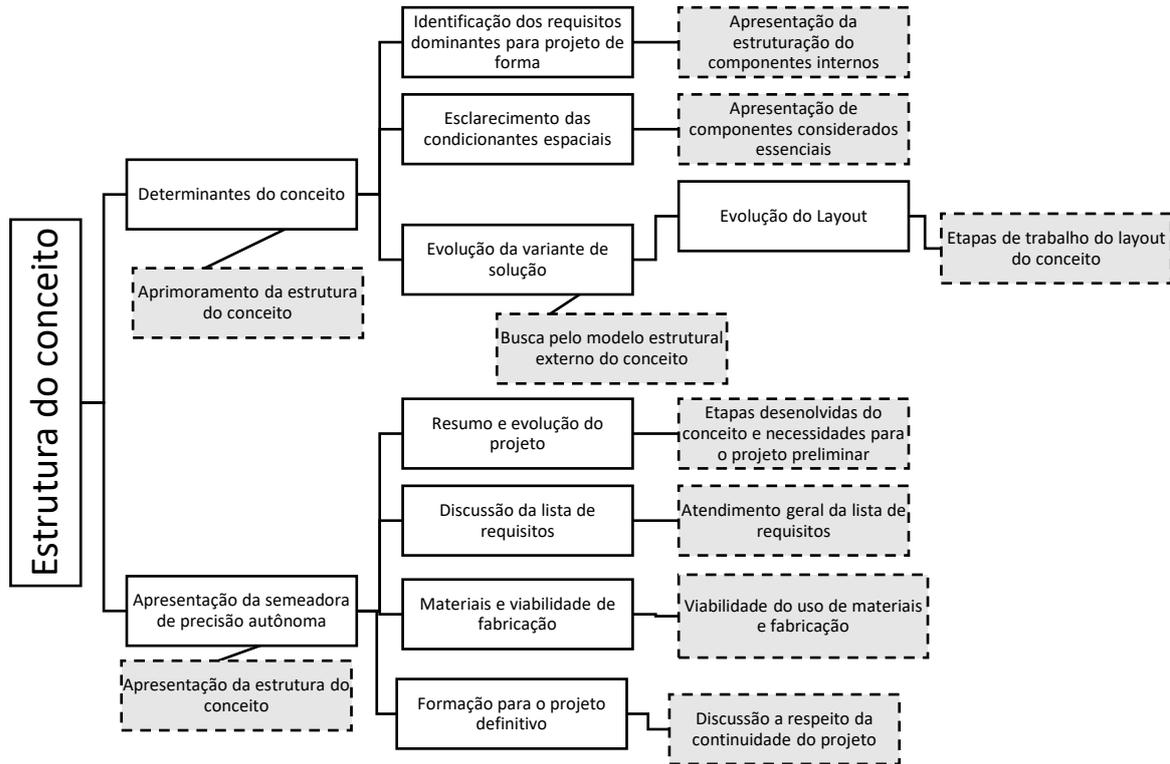
Nesta fase será apresentado o conceito de forma estruturada, isto é, após o desenvolvimento do projeto conceitual selecionado, serão apresentados resultados dos quais demonstram se há viabilidade de seguir adiante, com o auxílio de algumas diretrizes da metodologia de Pahl et al., (2005), para dar seguimento a este projeto, realizando a visualização e discussão de importantes características e, então, realizar o desenvolvimento do projeto preliminar e a criação de um protótipo.

### **5.1 Estrutura do conceito**

Após selecionada a variante de solução A no projeto conceitual, será realizada uma estruturação dessa variante por meio da metodologia apresentada no fluxograma da Figura 30. A estruturação nada mais é que uma apresentação das principais características desse equipamento, demonstrando a sua evolução dentro do conceito, apresentando primeiramente as determinantes, que tem por objetivo demonstrar melhor entendimento das suas funcionabilidades, por meio de identificação dos requisitos, do esclarecimento das condicionantes espaciais, e da evolução da variante de solução A.

Além disso, nesta metodologia há a apresentação da semeadora de precisão autônoma, que tem por objetivo demonstrar a estruturação deste conceito, e se dará por meio do resumo e evolução do projeto, de uma discussão da lista de requisitos, da projeção dos materiais e da viabilidade de fabricação e da formação para o projeto definitivo.

Figura 30 - Fluxograma das etapas da estrutura do conceito



Fonte: Autor.

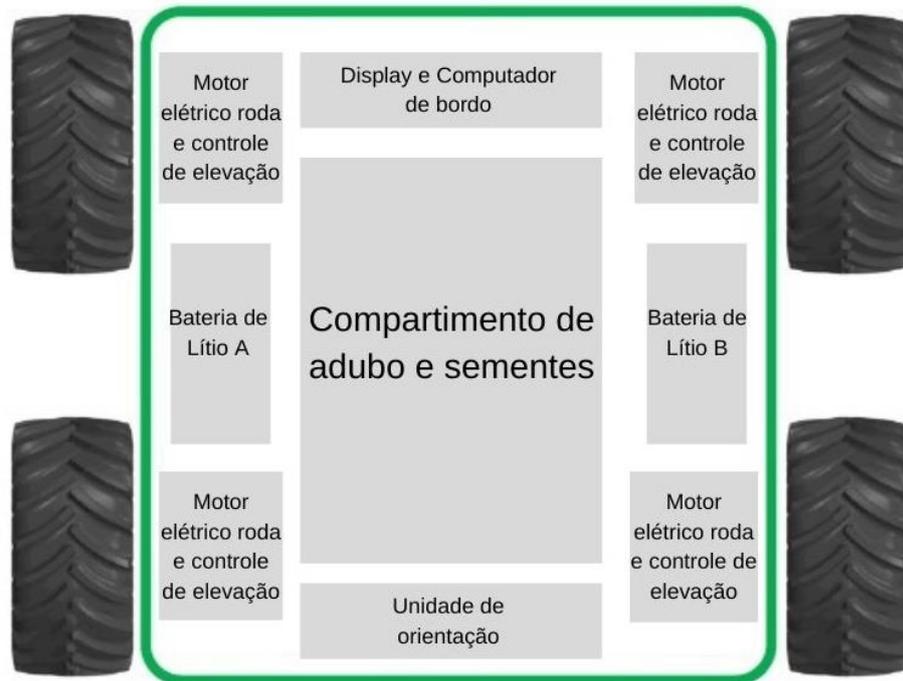
## 5.2 Determinantes do conceito

Finalizada a definição da solução inicial, de acordo com o desenvolvimento proposto por Pahl et al. (2005), a próxima etapa consiste no aprimoramento da estrutura de funcionamento, buscando assim soluções para os sistemas, subsistemas e os demais componentes, além da definição do projeto, de forma para que todo o conjunto cumpra a função na qual foi designada quando composta como projeto.

### 5.2.1 Identificação dos requisitos dominantes para o projeto de forma

Buscando definir as melhores soluções dos sistemas para o funcionamento da sementeira de precisão autônoma, apresenta-se de forma esquemática (Figura 31), o modelo de distribuição interno dos principais componentes que se farão necessários para entender o conceito a ser apresentado.

Figura 31 - Esquema de distribuição de componentes internos



Fonte: Autor.

- **Motor elétrico, roda e controle de elevação:** motor elétrico que aciona a roda e a base de guia para modificação de elevação de altura, para plantio ou modo de deslocamento.
- **Display e computador de bordo:** tela que exibe informações, além de receber alguns comandos, quando não disponível app e computador de bordo (controlador), dos quais distribui as funções e recebe os alertas de todo o equipamento.
- **Compartimento de adubo e sementes:** local de armazenagem e distribuição de adubos e sementes.
- **Bateria de lítio A e B:** localização das baterias que servirão para gerar energia para a semeadora, duas células que poderão ser recarregadas e/ou trocadas, conforme solicitação do usuário.
- **Unidade de orientação:** recebe sinais de posição por meio da antena, e calcula a posição precisa da semeadora. Também calcula a ação necessária do sistema de direção, de acordo com o próximo ponto.

### 5.2.2 Esclarecimento das condicionantes espaciais

A fim de compreender melhor o modelo do conceito, foram descritos alguns componentes essenciais do equipamento, que tem por objetivo esclarecer o funcionamento da semeadora de precisão autônoma. Foram descritas as suas características e até possíveis fornecedores para alguns componentes terceirizados, pois essa visualização colabora com o desenvolvimento de um *layout* definitivo.

Os acionamentos das rodas serão individuais, isto é, até quatro motores elétricos que farão o acionamento ao mesmo tempo, o motor selecionado para essa função é o *Brushless motor*, que é constituído por um rotor feito de ímãs permanentes e de um estator feito de bobinas.

O movimento do rotor em relação ao estator é feito por meio de atração e repulsão magnética, por intermédio de um controlador eletrônico de velocidade. O campo magnético da bobina exerce influência e gera movimento no rotor. A seleção desse modelo de motor, é por apresentar as seguintes vantagens: longa vida útil, pouca manutenção devido ao fato de não possuir escovas, potência maior por não ter atrito interno, tamanho e pesos reduzidos em relação a outros para mesma potência, maior economia de energia e tempo de funcionamento, driver de alimentação de 24 V a 48 V, maior conversão de energia elétrica em mecânica, e controle de rotação, velocidade e ângulo, por circuito integrado de altíssima precisão.

Para o controle de altura/profundidade, serão utilizados atuadores lineares elétricos, um dispositivo que converte o movimento rotacional em um movimento linear, são dispositivos de fácil instalação, tem alimentação de 12 V a 48 V, e ocupam pouco espaço, além de possuir as mais diversas capacidades de cargas, dependendo da necessidade do projeto.

Serão necessários 4 atuadores, instalados nos rodados da semeadora de precisão autônoma. Essa elevação para a seleção de altura de trabalho, ou para a modificação em modo (trabalho/transporte), deverá ocorrer de maneira sincronizada e, para isso, será utilizada uma placa de controle de sincronia para atuadores, que será responsável, após o comando, por modificar a altura de todo o equipamento.

Como principal fonte para o funcionamento da semeadora de precisão autônoma, o computador de bordo é o dispositivo que distribuirá todo o comando do equipamento, além de ser a ligação com o usuário, pois irá receber os comandos do operador remoto e os retransmitirá para o equipamento, além de executar verificações contínuas dos sistemas e enviar dados de integridade do veículo, como a detecção de obstáculos, ao centro de comando.

Com um processador veloz (processador Quadcore IMX6 ARM 1,2 GHz e memória de 2GB DDR3), ele gerencia e monitora rapidamente todos os sistemas da semeadora, permitindo a execução de comandos em tempo real com total segurança, e a fonte de alimentação é de 4,5 V. O tamanho pequeno de 230x158x37,52 mm, facilita a instalação do dispositivo, sem a necessidade de grandes alterações, além de ser à prova d'água, já que o equipamento irá trabalhar no tempo.

Além do envio de informações para o aplicativo que estará instalado em um *tablet* ou celular, o equipamento contará com um pequeno *display* de 7 polegadas, para o caso de ocorrer algum defeito com o recebimento de dados por parte do operador. É possível obter as informações de erros ou até mesmo realizar algum comando *in loco*.

Para o sensoriamento de obstáculos serão utilizados sensores Lidar (*Light detection and ranging*), o qual usa detecção remota para medir a propriedade da luz refletida, muito utilizado para obtenção de informações espaciais, ele obtém a real distância entre um objeto e outro, além de definir as medidas. A medição é feita através da luz, e quando está escuro, essa medição ocorre normalmente, já que a fonte luminosa é proveniente de feixes de laser na banda do infravermelho próximo (IV), emitidas pelo próprio sensor, sendo possível modelar a superfície do terreno tridimensionalmente. Com os mais variados tamanhos, sendo que hoje estão disponíveis até em celulares, o sensor é de fácil instalação no equipamento, e sua quantidade irá variar conforme testes de coberturas de área.

A utilização do Lidar também se dá por não exigir uma fonte de energia grande, o que facilita a sua utilização na semeadora de precisão, e esse modelo de sensor combina com o sistema de navegação global por satélites (GNSS) e, o sistema de navegação inercial (INS), sendo que o GNSS fornece a localização do equipamento para o operador, e com o Lidar informa também a exata localização dos objetos, e o INS informa o ângulo de altitude do que se está medindo. Ambos estão englobados no sistema mundialmente conhecido como GPS (*Global Position System*), que será utilizado para gerenciar a localização do equipamento na lavoura.

A solução oferecida pela empresa *Asirobots* já integra o GPS com o *software* de mobilidade, isto é, utilizando o computador de bordo e o *Spotpoint*, assim, é possível obter a autonomia do equipamento sem a necessidade de programações, pois esse sistema já contempla a transação de informações entre aplicativo e equipamento, por se tratar de uma antena que possui funções como GPS, antena de rádio e faróis de advertência.

Para que ocorra o deslocamento do equipamento e as demais funções autônomas funcionem corretamente, optou-se pela energia elétrica, que será provida tanto da rede elétrica,

quanto da energia solar. A energia solar será captada através de placas fotovoltaicas, que ficarão posicionadas na parte superior do equipamento, ficando expostas durante todo o trabalho no campo, captando assim a energia solar.

Essa energia ficará armazenada em baterias de lítio, as quais permitem carregar e descarregar completamente, utilizando 100% das cargas. Existem baterias de lítio que carregam através da energia solar, e caso o usuário necessite de mais carga, pode-se obter essa energia por meio da rede elétrica. São de fácil montagem e tem a possibilidade de intercambialidade, facilitando assim a troca e manutenção, caso necessário, sem parar o equipamento. Além disso tem alta eficiência, baixo peso quando comparada a outros modelos de baterias do mercado, não emitem gases nocivos ao meio ambiente, e possuem um rápido processo de carregamento.

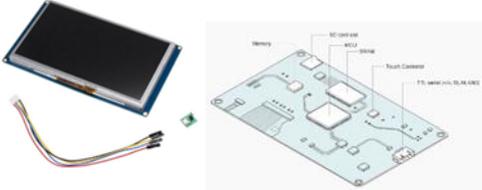
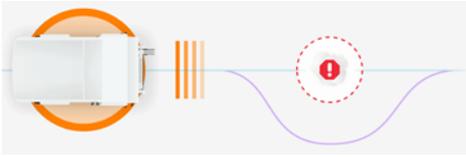
Para o conceito da semeadora de precisão autônoma, optou-se por um reservatório dividido em duas partes de 45 litros cada, medida usual em equipamentos presentes no mercado. Para o controle da quantidade de insumos em cada compartimento serão utilizados sensores de nível tipo radar de onda guiada, um em cada compartimento, que enviarão os comandos, no momento em que se faz necessária uma nova recarga.

O sistema da queda de adubo será através de uma rosca sem fim, essa rosca transportará o adubo até o tubo, que é usado como guia para o depósito no sulco, tudo isso tocado por um motor 12 Volts, que conforme a velocidade de rotação fará a seleção da quantidade de saída do adubo, e para que não ocorra entupimento do adubo no tubo guia, será colocado um sensor vibratório, sendo que quando a queda não ocorra corretamente, ele irá avisar o usuário.

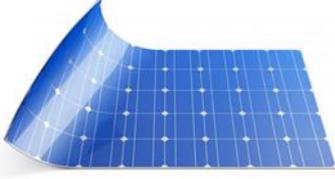
O sistema para a queda de sementes seguirá o mesmo padrão do adubo, será acionado por meio de um motor 12 Volts, que fará a rotação do disco seletor de sementes. É por meio dessa velocidade de rotação que irá ocorrer a seleção e a queda da semente no tubo condutor. Esse disco será totalmente independente do deslocamento do equipamento, por isso o usuário poderá selecionar vários padrões de distanciamentos de sementes, independentemente de como o equipamento se desloca, pois só irá mudar a rotação do disco para mais ou menos velocidade.

Quadro 17 - Catálogo de componentes

Continua

| Componentes                                   | Modelo   | Fabricante           |
|---|--|----------------------|
| Motor elétrico e controle de elevação         | <p data-bbox="687 367 852 389">Motor Brushless</p>      | Dunkermotoren        |
| Controle de altura e profundidade             | <p data-bbox="687 607 852 629">Atuador elétrico</p>     | Firgelli automations |
| Placa de controle de sincronia para atuadores | <p data-bbox="740 822 799 844">Placa</p>               | Firgelli automations |
| Computador de bordo                           | <p data-bbox="708 1039 831 1061">Computador</p>       | Asirobots            |
| Display                                       | <p data-bbox="746 1256 799 1279">Tela</p>            | Nextion              |
| Unidade de orientação                         | <p data-bbox="708 1503 831 1525">Sensor Lidar</p>    | Asirobots            |
| Unidade de orientação                         | <p data-bbox="687 1749 852 1771">Spotpoint (GPS)</p>  | Asirobots            |

## Conclusão

|         |   |         |
|---------|---|---------|
| Recarga | <p>Placas solares flexível</p>             | Bluesol |
| Bateria | <p>Bateria de lítio com recarga solar</p>  | Aldo    |

Fonte: Autor.

## 5.2.3 Evolução da variante de solução A

De acordo com Baxter (2011), os produtos devem ser concebidos para transmitir certos sentimentos e emoções, de acordo com o público-alvo que se pretende atingir com o produto, incorporando a este artefato características estéticas que traduzam valores importantes para o perfil de público almejado. Para o desenvolvimento do conceito da semeadora de precisão autônoma, buscou-se referências no mercado de robôs agrícolas e semeadoras autônomas (Figura 32), com o intuito de trazer ao usuário a alusão de algo moderno, inovador, além de ser um equipamento durável e resistente para se trabalhar no campo.

Figura 32 - Painel semântico



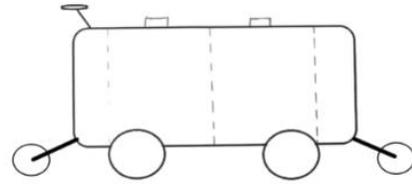
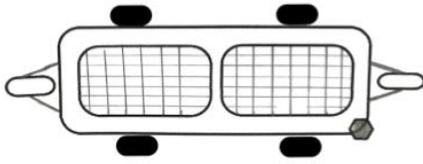
Fonte: Elaborada pelo autor a partir de imagens de internet (2021).

### 5.2.3.1 Evolução do Layout

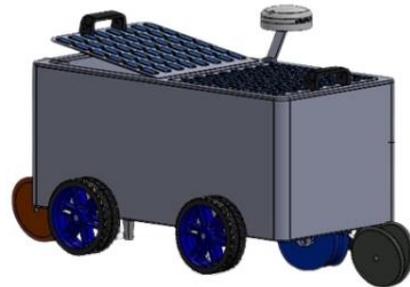
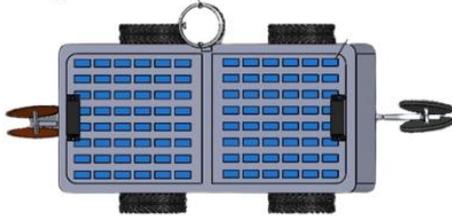
Após buscas para inspiração da semeadora de precisão autônoma, foram necessárias várias etapas do processo para chegar a um conceito que, acredita-se ser o ideal, além de apresentar todas as características anteriormente definidas para esse equipamento (Figura 33).

Figura 33 - Etapas do desenvolvimento do conceito final

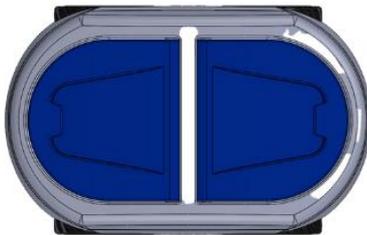
Etapa 01



Etapa 02



Etapa 03



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A criação foi dividida em 3 etapas, sendo que a primeira corresponde a um esboço de estudo prévio de forma em 2D. Nessa etapa é possível ter uma noção de qual caminho irá se seguir para dar continuidade ao desenvolvimento. A etapa 2, representa um estudo geral em 3D, onde foi realizada uma avaliação de volumetria, além de uma prévia de posicionamento de componentes, validando assim as características gerais do equipamento. Já a etapa 3, é o início da modelação final do conceito, tomando como base as ideias do painel semântico, além das adequações que vão surgindo para que se possa apresentar um conceito viável, isto é, um equipamento que seja possível prosseguir para as próximas fases de projetos.

### 5.3 Apresentação da semeadora de precisão autônoma

O conceito da semeadora de precisão autônoma seguiu uma configuração na qual se permite, em apenas um equipamento, realizar a adubação/fertilização do solo e o plantio das sementes graúdas no sistema de plantio direto. Priorizando fazer um equipamento o mais

compacto possível, seu sistema de combustão ficou por conta da eletricidade, podendo ser solar ou proveniente da rede elétrica, além da carga ficar armazenada em baterias de lítio.

Com capacidade de 45 litros de insumos cada (adubo e semente), o usuário vai conseguir controlar as saídas, independente da velocidade do equipamento, e a altura total da semeadora, que vai controlar a profundidade dos sulcos, e conseqüentemente do plantio. A locomoção será por intermédio de motores *brushless* elétricos, e a localização será por GPS, conforme demonstra Figura 34, que exibe uma visão geral da semeadora de precisão autônoma.

Figura 34 - Visão geral da semeadora de precisão autônoma



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A semeadora realizará o corte da palha, abertura do sulco de adubo, adubação, abertura do sulco da semente, queda da semente, fechamento e compactação do solo, por isso, o seu sentido de deslocamento é com a frente do equipamento no local do disco de corte, conforme demonstra Figura 35.

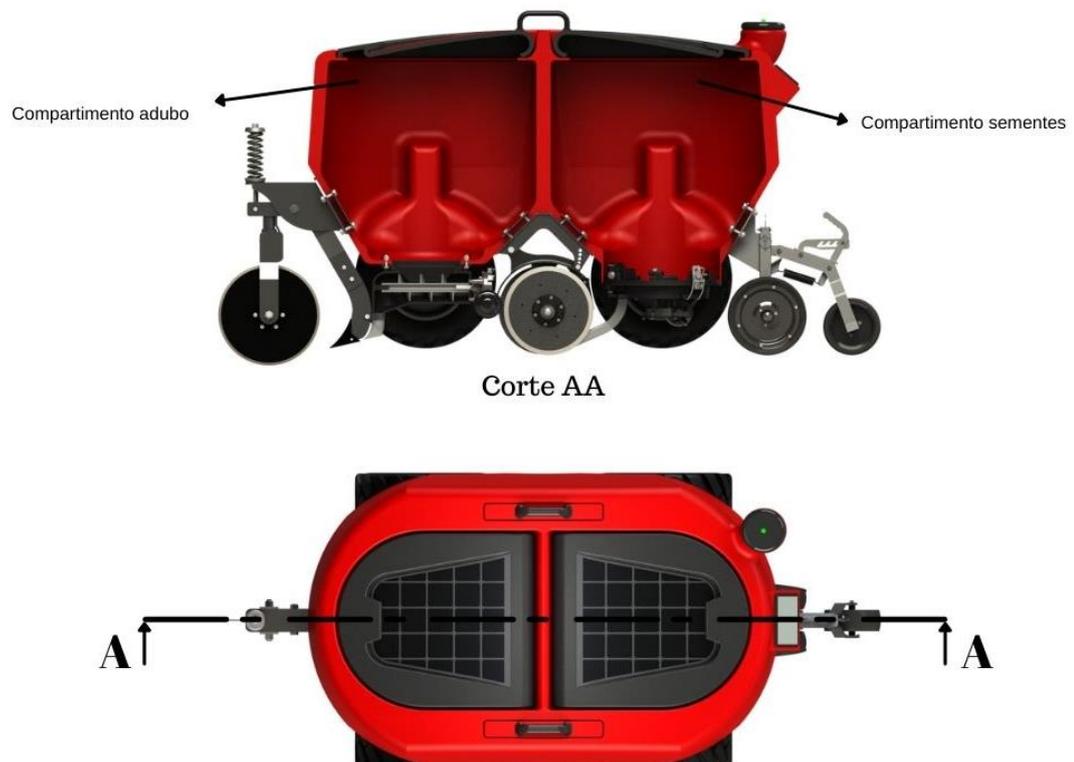
Figura 35 - Sentido do deslocamento da semeadora de precisão autônoma



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Para os insumos, os dois compartimentos internos ficarão isolados, para que não ocorra danos causados pelas exposições ao tempo. Na Figura 36, é possível observar, no corte AA realizado, como ficará a disposição interna do equipamento.

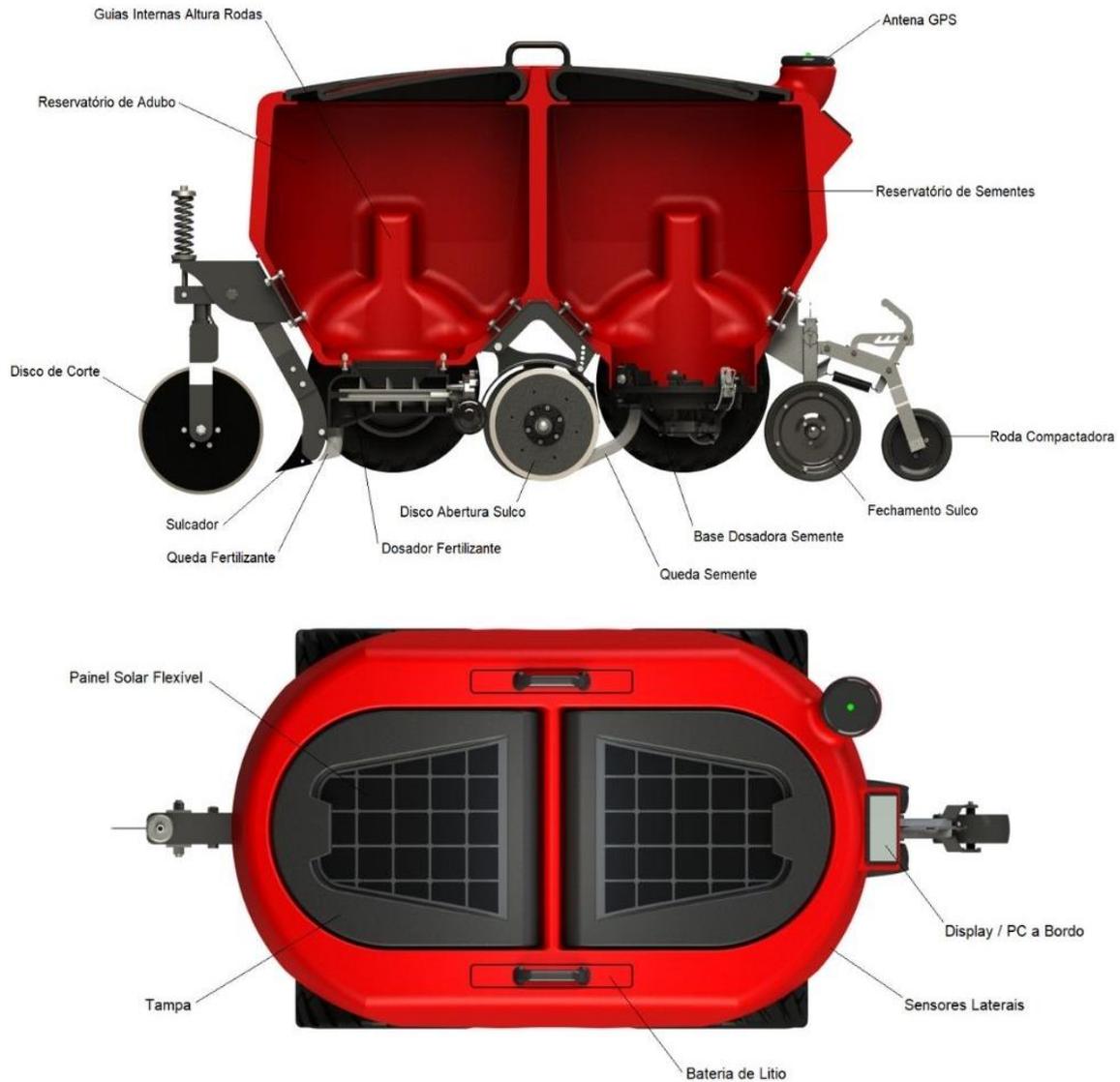
Figura 36 - Vista em corte total do equipamento



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

As configurações e características gerais do conceito do equipamento podem ser observadas na Figura 37.

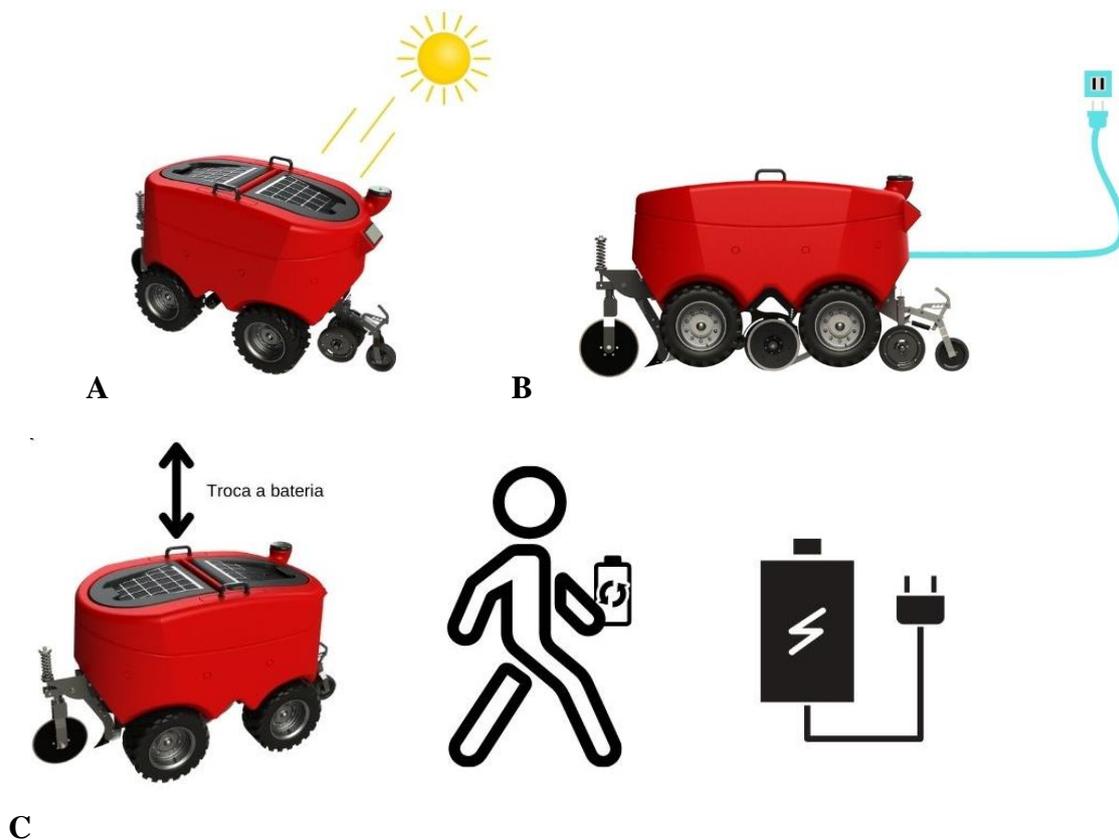
Figura 37 - Características gerais do equipamento



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Nesse conceito apresentado, é possível realizar 3 modelos de carregamento de energia no equipamento: A - através da carga solar, nas placas fotovoltaicas que são instaladas nas tampas. B - realizando o carregamento via energia elétrica, com o equipamento em repouso, e C, por meio da substituição da bateria de lítio, e renovando a carga enquanto o equipamento trabalha, e a energia solar não estiver disponível, conforme demonstra Figura 38.

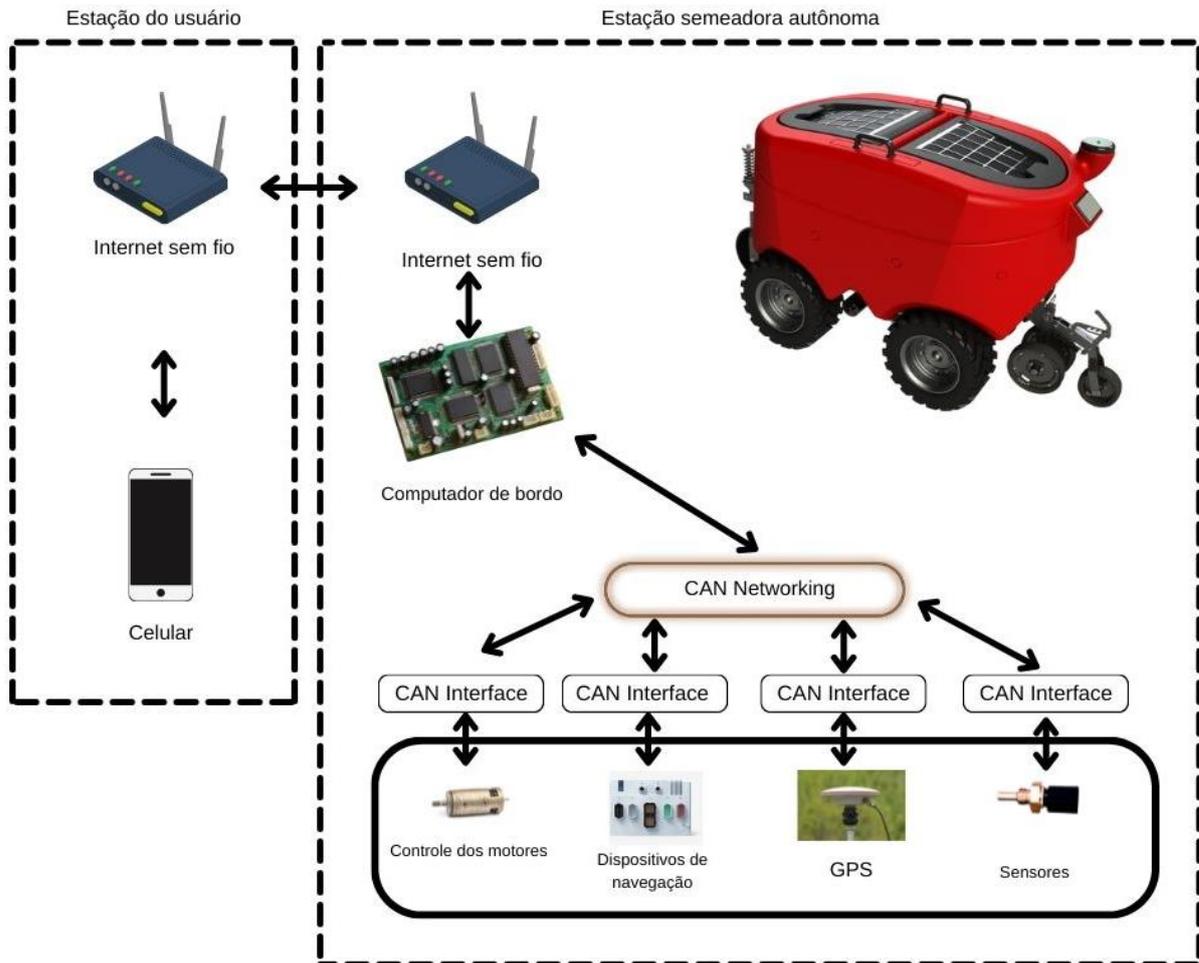
Figura 38 - Modelos de carga do equipamento



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

No esquema ilustrativo (Figura 39), é apresentada a arquitetura global do sistema, considerada para a criação desse conceito, que funcionará por meio de uma rede de internet sem fio, e todos os comandos necessários serão acionados por intermédio de um aplicativo no celular ou *tablet*, pelo usuário.

Figura 39 - Conceito da arquitetura global do sistema



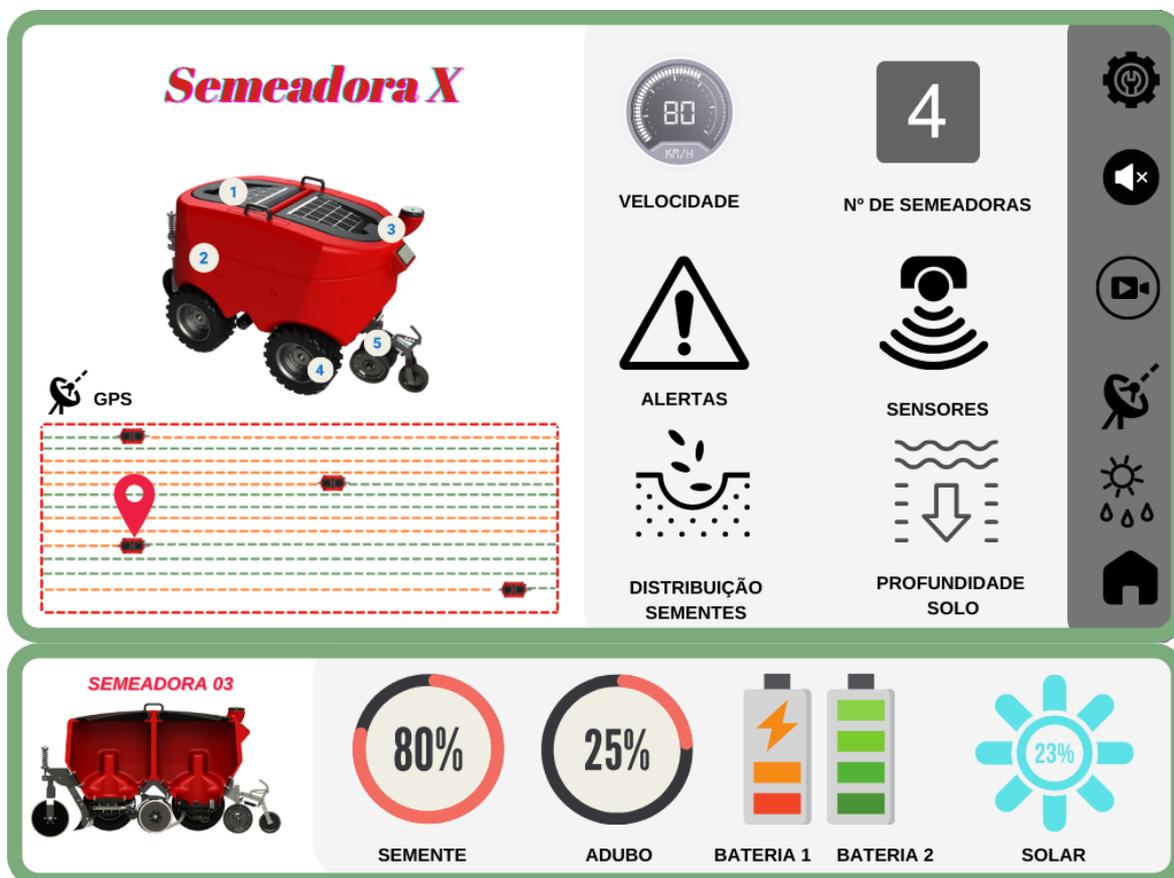
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A Figura 40 mostra a interface entre o dispositivo e o usuário, no qual ocorre da seguinte maneira: o menu principal mostra em seu lado esquerdo as semeadoras que estão realizando o trabalho na lavoura por meio do GPS. Neste campo é possível selecionar em qual equipamento deseja-se saber o *status*. Após a seleção, é possível entrar em menus específicos do equipamento, selecionando os pontos da semeadora que são representados por números, esse menu irá mostrar as peças específicas de cada ponto, e um guia rápido com as principais funções e peças. Ao lado direito, se tem acesso as principais informações do equipamento como: velocidade de deslocamento, quantidade de semeadoras em operação, histórico de alertas, funcionamento dos sensores, distanciamento da distribuição das sementes, e a profundidade que está ocorrendo o plantio no solo.

Além disso, esse menu contempla em seu lado direito, o acesso rápido as configurações, ao volume do menu, as imagens em tempo real da semeadora selecionada, ao menu principal do GPS, às estatísticas do tempo e ao retorno a tela inicial. Logo abaixo, é apresentado um

menu com a quantidade real dos insumos, cargas das baterias e o funcionamento das placas solares.

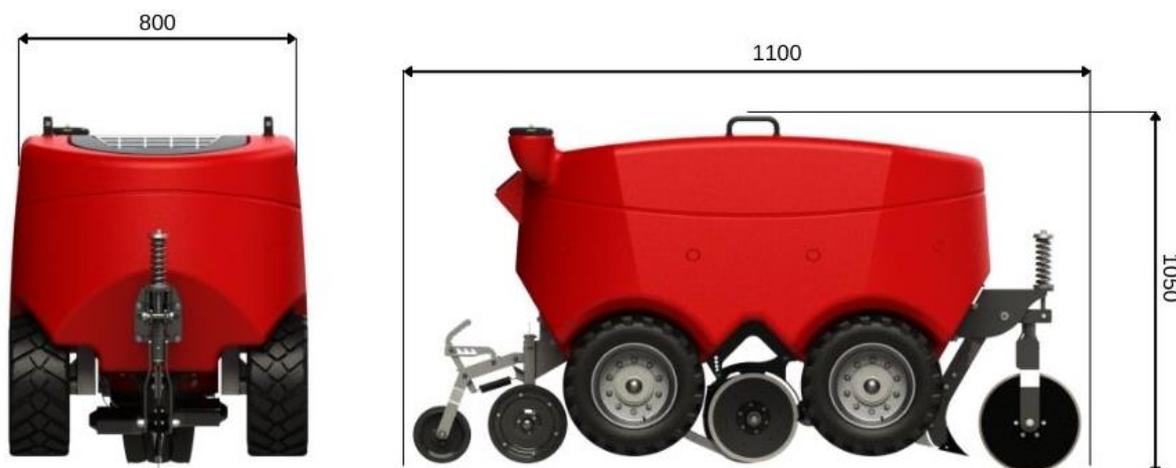
Figura 40 - Modelo de interface / menu do usuário/máquina



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Levando em consideração todas as características do equipamento, a Figura 41 mostra as dimensões da semeadora de precisão autônoma, sendo possível observar que ficou dentro dos padrões desejados pela lista de requisitos.

Figura 41 - Dimensões da semeadora de precisão autônoma



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

### 5.3.1 Resumo e evolução do projeto

O projeto conceitual da semeadora de precisão autônoma cumpriu seu objetivo que é a validação de uma ideia inovadora, e a confirmação de que é possível atender a uma necessidade que vem surgindo com o passar dos anos na agricultura mundial, sendo ela uma solução para equipamentos agrícolas cada vez mais autônomos.

Com o auxílio da metodologia desenvolvida por Pahl et al (2005), buscou-se o entendimento e/ou a formulação do problema, com a descrição clara da oportunidade escolhida. Após, com a coleta de informações, foi possível definir com maior precisão as necessidades técnicas, funcionais e construtivas, que podem ser adotados nesse produto, partindo então para a elaboração de possíveis soluções, que atendam aos requisitos. Posteriormente, foram estabelecidas algumas alternativas adotadas, passando por uma fase de verificação, das quais foram avaliadas todas as soluções e selecionada a melhor.

Em seguida, foram identificadas as características básicas do projeto, com a definição de elementos para a concretização do produto propriamente dito, como modelos de automação, soluções de controle, definição construtiva e posicionamento de soluções essenciais para que o equipamento desenvolva o seu propósito, que é a realização do plantio de sementes graúdas de forma autônoma.

Para a caracterização de um projeto definitivo, faltam o desenvolvimento técnico de elementos essenciais para o funcionamento da semeadora, como ligações elétricas definitivas, desenvolvimento final do software, bem como detalhes de programação para adequação da real viabilidade da adaptação do software de mercado, análises estruturais, além da a realização da

representação final com informações técnicas e detalhadas que facilitem o processo de prototipagem para aprovação e posterior fabricação desse produto.

### 5.3.2 Discussão da lista de requisitos

O principal objetivo do trabalho foi a elaboração de um conceito, cuja funcionalidade colaborasse para que o plantio de sementes graúdas ocorresse de forma autônoma, sem a interferência humana durante o processo. Durante a pesquisa bibliográfica, observou-se que existem grandes projetos para máquinas autônomas na agricultura sendo desenvolvidas dentro da comunidade científica, e para as mais variadas funções.

Com a premissa de que o produto aqui apresentado dispõe de aspectos inovadores na busca por soluções para os vários aspectos do projeto, será agora discutido o atendimento dos requisitos que este estudo se propôs a satisfazer.

Quadro 18 - Discussão da lista de requisitos

Continua

| <b>Linha mestra</b>  | <b>Requisito</b>  |
|----------------------|---|
| <b>Geometria</b>     | A geometria do equipamento exigia que a semeadora autônoma, no mínimo atendesse os padrões atuais de cargas de insumos e capacidades de plantio. Por isso utilizou-se os tamanhos padrões encontrados nesses equipamentos, como cargas de 45 litros de insumos e o tamanho total, possibilitando um carregamento adequado, além do seu deslocamento nas linhas atuais de plantio da soja e milho  |
| <b>Cinemática</b>    | Com relação a cinemática, a velocidade de plantio e o modelo de deslocamento que se desejava durante o seu trajeto foi atendido pelo modelo de energia utilizada, além dos modelos de rodados, por serem velocidades de até 6 km/h  |
| <b>Sensoriamento</b> | O requisito foi atendido, por ser crucial para o desenvolvimento do projeto, o sensoriamento de obstáculos, insumos, localização, e defeitos foram todos adicionados ao projeto de maneira que o usuário, mesmo não estando junto com o equipamento no momento do plantio, terá a possibilidade de saber como estão todos esses critérios da máquina, por meio de dados encaminhados à interface  |
| <b>Energia</b>       | A lista de requisitos exigia que os acionamentos fossem elétricos, e com energia fotovoltaica, por se tratar de uma fonte energética mais abundante nos locais de trabalho do equipamento, além de ser uma energia limpa na qual não irá contribuir com a poluição.   |
| <b>Material</b>      | Os materiais também foram atendidos, principalmente em critério de resistência, pois a maior parte do produto, quando fabricado, se prevê itens termoplásticos e estruturas em aços comuns na indústria metalmeccânica, não se diferenciando às semeadoras de precisão encontradas no campo atualmente.   |
| <b>Segurança</b>     | Quanto à segurança, a lista de requisitos exige que o usuário não corra riscos e a operação também não comprometa nada se algo sair fora do esperado. Além de ser um equipamento projetado totalmente dentro das normas de segurança, os níveis de sensoriamento apresentados para que não ocorram acidentes (parando em obstáculos e avisando ao operador se algo sair errado), foram todos pensados nesse requisito, tornando o equipamento com total segurança para o uso. |

## Conclusão

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Operação</b>              | A lista de requisitos é focada em uma operação totalmente autônoma de plantio de sementes graúdas, avisando ao usuário somente quando deve interferir no sistema, esse requisito foi atendido, pois engloba um dos principais objetivos do projeto.   |
| <b>Ergonomia</b>             | A lista de requisitos exigia algo simples de se operar, o que foi atingido, pois o reabastecimento do equipamento ficou funcional (com avisos) e a sua manutenção também foi um dos cuidados durante o desenvolvimento do conceito. Além do acesso remoto ao equipamento, por meio do aplicativo de celular e/ou <i>tablet</i> , para facilitar a usabilidade operador esteja em um local adequado. |
| <b>Custo</b>                 | Esse requisito foi atendido, pois todos os materiais necessários para o desenvolvimento deste equipamento já se encontram no mercado, desde a sua construção mecânica, até os componentes eletrônicos e os <i>softwares</i> , sem a necessidade de um desenvolvimento específico, sendo que muitas vezes, deixa o produto com um valor maior, tanto na compra quanto na sua reposição.              |
| <b>Produção</b>              | Como a fabricação simplificada do equipamento, é uma exigência da lista de requisitos, que todas as peças seriam projetadas da forma mais simples possível, de forma que uma empresa metalmecânica consiga fabricar o produto, tendo uma boa rede de fornecedores de componentes eletrônicos, além de uma parceria com empresa de rotomoldagem, pois todas as peças são encontradas no mercado.     |
| <b>Montagem</b>              | O requisito de montagem exigia ser algo rápido e simples, o conceito foi todo elaborado em propostas já existentes no mercado, para que não se trouxessem modelos de fabricação que não fossem possíveis adaptar em indústrias de máquinas e equipamentos agrícolas, sendo assim, esse requisito foi atendido.  |
| <b>Controle de qualidade</b> | A lista de requisitos exigia um controle de qualidade com testes a campo, revisão de sensores e inspeção de segurança, esses critérios são de extrema importância por se tratar de um equipamento autônomo e possuir muitos componentes eletrônicos, que se não testados antes do envio, podem não obter um bom funcionamento, ou até mesmo colocar os usuários em perigo.                          |
| <b>Forças</b>                | Os pneus de borracha são amplamente utilizados na agricultura para o deslocamento de equipamentos em lavouras nos mais diversos tamanhos, por sua durabilidade e desempenho, sendo esse requisito atingido pela semeadora de precisão autônoma.   |

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

### 5.3.3 Materiais e viabilidade de fabricação

Visando uma produção em uma indústria metalmecânica, a semeadora de precisão autônoma foi toda elaborada em cima da objetividade de se colocar materiais presentes nos equipamentos atuais. Por isso, grande parte do projeto foi elaborado em cima de uma estruturação de rotomoldados, por ser um modelo de rápido processo fabril, possibilitando assim, uma diminuição de custos quando produzido em largas escalas.

Os demais materiais presentes são componentes eletrônicos como: placas fotovoltaicas, baterias de lítio, placas eletrônicas, GPS, motores 12 e 24 volts, além de cabeamentos e sensores. As buscas por esses componentes, foram realizadas em fornecedores que os têm como padrões, sem a necessidade de desenvolvimentos especiais, o que muitas vezes encarecem o valor de um equipamento, ficando inviável a sua fabricação e dependente de prazos maiores.

Nos componentes mecânicos, também se buscou materiais padrões no mercado nacional, a estruturação pode ser desenvolvida toda em aço carbono de diferentes espessuras, dependendo do esforço realizado no local e os componentes de plantio que entram em contato com o solo. São em suma maioria obtidos através de ferro fundido, e os pneus são de borracha, assim como as rodas de compactação e fechamento do solo, conforme demonstra Figura 42, é demonstrado onde se encontram alguns desses materiais.

Figura 42 - Materiais para fabricação e dedução de custos



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Portanto, acredita-se que o conceito, apesar de inovador e diferenciado, fique competitivo dentro de sua categoria de equipamento agrícola, pois os materiais, *softwares* e modelos de operação são de componentes já presentes no mercado, por isso, estima-se que é possível progredir com o projeto definitivo e realizar testes com um protótipo, para que possa ser lançado no mercado.

#### 5.3.4 Formação para o projeto definitivo

Com base na estruturação do conceito apresentada, é possível visualizar o desenvolvimento do equipamento em um projeto definitivo. Para futuros trabalhos, alguns passos essenciais se fazem necessários para a sua concretização, tais como: o dimensionamento

das principais estruturas mecânicas do equipamento, o cálculo estrutural para suportar a carga e realizar o deslocamento, a programação do *software* e a seleção da linguagem mais apropriada para a automatização, estudos de consumo de energia em diferentes regiões e climas, estudos em modelos diferente de aclives e declives nas lavouras e dos mais variados solos, cálculos com diferentes densidades de sementes, modelos de plantios etc.

Portanto, observa-se que ainda há muitos caminhos a se seguir para se chegar a um equipamento real vindo desse conceito, mas também, nota-se que a partir do modelo do conceito apresentado, seguindo uma metodologia comprovada, é possível facilitar esses caminhos, já que o conceito, apesar de ser o ponto mais inicial do projeto, é o que torna essa visualização muito mais fácil, e sem ele se está muito mais suscetível a erros. Sem o desenvolvimento sucinto das etapas iniciais, os próximos passos demandarão mais tempo e gastos, pois com um início bem estruturado, tornam-se mais fáceis e econômicas as modificações, além de agilizar o desenvolvimento do projeto definitivo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo irá abordar a conclusão do trabalho sobre os seguintes aspectos: atendimento aos objetivos, contribuição científica do projeto conceitual e trabalhos futuros.

### 6.1 Análise dos objetivos

Tendo este estudo como objetivo principal o desenvolvimento conceitual de uma semeadora de precisão autônoma, considera-se alcançado, pois o conceito desenvolvido tem a capacidade de realizar o plantio de sementes graúdas de forma autônoma.

Quanto aos objetivos específicos, pode-se afirmar:

- 1 – O desenvolvimento de novos produtos para a atual agricultura foca em aplicações de tecnologias que não dependam da mão de obra humana para a sua utilização, quanto menor for a ação do homem durante o processo, melhor para o gestor da lavoura. Essa é uma tendência mundial, pois além de escassa, está ficando cada vez mais cara. Esse objetivo foi alcançado, pois além de realizar a maior parte do trabalho com independência, possibilita que um único usuário monitore vários equipamentos ao mesmo tempo na lavoura, cooperando com esse novo modelo de trabalho na agricultura. Além disso, o objetivo de compreender novas tecnologias e sistemas autônomos também foi alcançado, pois, por meio desses novos modelos, avistou-se a possibilidade da criação do equipamento que irá realizar o plantio de sementes de forma autônoma, tendo a possibilidade de controlar mais de um equipamento ao mesmo tempo e com modelos de recargas diferentes para o funcionamento e deslocamento.
- 2 – Esse conceito é totalmente baseado em um modelo elétrico que não polui o meio ambiente, tendo em vista que cada vez mais tecnologias tem surgido com esse intuito. O conceito da semeadora de precisão autônoma conta com a eletricidade para o total funcionamento, além de utilizar a recarga através da energia solar, sendo essa uma tecnologia mais econômica e não poluente.
- 3 – No Brasil e no mundo, existem diversos modelos de sistemas de plantio de sementes graúdas, como soja e milho. O sistema presente nessa plantadeira é o do plantio direto, um modelo novo quando comparado a outros, porém difundido principalmente na região sul do Brasil. O estudo desse sistema possibilitou a sua

implantação no sistema autônomo, alcançando assim o objetivo que era manter o modelo atual do plantio.

- 4 – O emprego do procedimento metodológico para o desenvolvimento do projeto conceitual da semeadora de precisão autônoma foi eficaz, pois com ele foi possível organizar o processo do projeto, buscando soluções por meio de métodos já estabelecidos e alcançando o atendimento dos objetivos iniciais.

Sendo assim, somando o cumprimento do objetivo principal e dos demais objetivos propostos no decorrer do trabalho, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados e obteve-se como resultado a criação de um conceito de uma semeadora de precisão autônoma.

## **6.2 Contribuição científica**

A agricultura vem evoluindo com o passar do tempo, e as tecnologias de automação tem se mostrado cada vez mais eficazes. Muitas pesquisas estão surgindo dentro desses novos padrões tecnológicos, a fim de contribuir com a indústria de máquinas e equipamentos agrícolas.

O processo do plantio é crucial para que ocorra o ciclo da soja e do milho, e ainda depende muito da mão de obra humana, principalmente quando se utiliza o sistema do plantio direto. Alguns modelos de máquinas agrícolas autônomas estão presentes na literatura, porém a semeadura no sistema de plantio direto de forma autônoma ainda não é um assunto pontuado no meio científico, demonstrando que há a possibilidade desse sistema ser trabalhado sem a interferência do homem, em um modelo de máquina diferente do que se trabalha atualmente.

Portando, esse modelo aqui apresentado, pode ser um passo inicial para que futuramente seja possível observar esses equipamentos a campo, contribuindo para a aquisição de dados e melhorando o atual modelo de trabalho, cooperando assim para a erradicação da fome com máquinas mais eficientes, produzindo mais, sem a necessidade do aumento de áreas plantadas.

### 6.3 Sugestão de trabalhos futuros

Para a continuidade deste projeto, apresenta-se algumas sugestões de futuros trabalhos:

- 1 - Aplicar as demais etapas de projeto de acordo com a Metodologia de Pahl et al. (2005): anteprojeto e o projeto executivo.
- 2 - Realizar o protótipo do dispositivo.
- 3 - Realizar testes e análises dos sistemas autônomos e dos modelos de trabalhos.
- 4 - Analisar a viabilidade real financeira e fabril de desenvolvimento do produto.
- 5 – Estudar sistemas que possam vir a melhorar a autonomia do produto.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (Rio de Janeiro, RJ). **NBR 9743 – Semeadora de fluxo contínuo em linha – ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro, 1987. 17p.
- ABNT (Rio de Janeiro, RJ). **Projeto de norma 04.015.06 – 004 – Semeadora de precisão – ensaio de laboratório - método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994. 7p.
- AGHKANI M.H, ABBSAPUR-FARD M.H. **Automatic off-road vehicle steering system with a surface laid cable: concept and preliminary tests**. Bio-syst Eng 2009;103:265–70.
- ANDERSON I. P., et al. **An autonomous forest robot that uses a hierarchical, fuzzy logic controller**. Trans ASAE 2005;48(4):1603–17
- ANDREW F.W. **Automatic tractor control**. U.S. Patent No. 2259193; 1941
- ALI ROSHANIANFAR, et.al. **"A 4-DOF SCARA Robotic Arm for Various Farm Applications: Designing, Kinematic Modelling, and Parameterization"** Acta Technologica Agriculturae, vol.24, no.2, 2020, pp.61-66
- BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo - SP: Manole, 2008. 9788520452646. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520452646/>. Acesso em: 17 jun. 2021.
- BAKKER, T. et al. **Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field**. Biosyst. Eng. 109, p. 357-368. 2011.
- BAKKER T, et. al. **Systematic design of an autonomous platform for robotic weeding**. J Terramech 2010;47(2):63–73.
- BAKKER T, et al. **A vision based row detection system for sugar beet**. Comput Electron Agric 2008;60(1):87–95
- BARES, K. C., LOFREN J. B. **Plataforma robótica e método para executar múltiplas funções em sistemas agrícolas**. Depositante: Kent Cavender Bares, Joseph B. Lofren. BR n. BR 112016011577-5 B1. Depósito: 20 nov. 2014. Concessão: 12 jan. 2021. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1382975&SearchParameter=VE%20CDCULO%20AUT%D4NOMO%20AGR%20CDOLA%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 02 fev. 2021.
- BASSETT, J. D.; ARTHUR, R. J. **Modular autonomous farm vehicle**. Depositante: Joseph D. Basset, Rodney J. Arthur USA n. US 10,485,153 B2. Depósito: 27 fev. 2017. Concessão: 26 nov. 2019. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US10485153B2/en?q=modular+autonomous+farm+vehicle&oq=modular+autonomous+farm+vehicle>. Acesso em: 02 fev. 2021
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3ª ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BLACKMORE, B. S. **New concepts of agricultural automation.** HGCA conference Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, UK, 28 and 29 October, 2009.

BRUEGGEN, S. J. et al. **Autonomous agricultural vehicle assembly.** Depositante: Deere & Company. USA n. US D808,448 S. Depósito: 21 nov. 2016. Concessão: 23 jan. 2018. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/USD808442S1/en?q=Autonomous+agricultural+vehicle+assembly&oq=Autonomous+agricultural+vehicle+assembly>. Acesso em: 02 fev. 2021

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Causas da compactação do solo.** 2006. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2021.

CAMPBELL, J. et al. **Light detection and ranging-based terrain navigation - a concept exploration.** Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS/GNSS 2003), Portland, OR, September 2003, p. 461-469.

CHATEAU, T. C. et al. **Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor.** Computers and Electronics in Agriculture 28. p. 243-257. 2000.

DAVIES, D. B.; FINNEY, J. B.; RICHARDSON, S. J. Relative effects of tractor weight and wheel-slip in causing soil compaction. **Journal of Soil Science**, London, v. 24, n. 3, p. 399-409, 1973

DE-AN, Z., et. al. **Design and control of an apple harvesting robot.** Biosyst. Eng. 110, 112–122. 2011

DIAS, A. H. et al. **Robô autônomo aplicado na agricultura.** Depositante: Universidade Estadual de Ponta Grossa. BR, n. BR 102014008515-7 A2. Depósito: 09 abr. 2014. Concessão: 22 dez. 2015. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=974039&SearchParameter=ROB%D4%20AGRICULTURA%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 02 fev. 2021

DOERR Z, Lague C. **Evaluating the ability to detect foreign objects in crops using laser range scanners mounted on agricultural vehicles.** ASABE annual international meeting, Nevada; 21–24 June, 2009.

DONG, F. et. al. **Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting.** Comput. Electron. Agric. 79, 216–225. 2011

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Dados econômicos.** 2019 a 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 03 ago. 2020.

EIZICOVITS, D. et. al. **Integration of perception capabilities in gripper design using graspability maps.** Biosyst. Eng. 146, 98–113. 2016.

Farmers Weekly. **Driverless tractor picture during a demonstration in 1958**. Disponível em: <https://www.fwi.co.uk/machinery/tractors/machinery-milestones-driverless-tractors> Acesso em: 22 de jun. de 2020.

Farmfor. **DOT Seed Master**. Disponível em: <https://www.farmfor.com.br/posts/seed-master-dot-a-plantadeira-robo/>. Acesso em: 22 de jun. de 2020.

FAO. **FAO. 2018. World food and agriculture – statistical pocketbook, 2018**. Rome. 254 p. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Fendt. **2 Fendt Xaver**. Disponível em: <https://www.fendt.com/br/2-fendt-xaver> . Acesso em: 22 de jun. de 2020

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio**. 5. ed. Rio de Janeiro: Positivo. 2010.

GUO L.S. et. al. **A low-cost integrated positioning system of GPS and inertial sensors for autonomous agricultural vehicles**. In: ASAE annual international meeting, Las Vegas, Nevada, USA; 27– 30 July, 2003

HORSCH, M. **Veículo de tração agrícola autônomo**. Depositante: Michael Horsch. BR n. BR 112020020352-1 A2. Depósito: 04 abr. 2019. Concessão: 10 out. 2019. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1591023&SearchParameter=VE%20CDCULO%20AUT%D4NOMO%20AGR%20COLA%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 02 fev. 2021.

HACKENHAAR, N. M. et. al. **Robótica na agricultura. Interações (Campo Grande)**, Campo Grande , v. 16, n. 1, p. 119-129, June 2015 . Disponível em: <[http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S151870122015000100011&lng=en&nrm=iso](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151870122015000100011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 25 Abr. 2021. <https://doi.org/10.1590/1518-70122015110>.

HSIA, K.; SU, J. G. K. Motion guidance of mobile robot using laser range finder. 2013. **International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY)**, Taipei, Taiwan, 2013, p. 293-298, doi: 10.1109/iFuzzy.2013.6825453.

HAUSCHILD, M. JESWIET, J. **EcoDesing and future environmental impcats. Materials and Design**, n. 26 p. 629 – 634. 2005.

INPI – **Instituto Nacional da Propriedade Industrial**. Disponível em: [https://registrar.direcaoconsultoria.com.br/registro-de-marcas-e-patentes?gclid=Cj0KCQjwr-SSBhC9ARIsANhzu140kuz4IYM3pB\\_JLJvRKNWcbnXQ9IAH-Ra1YvWbl9CDIsDuOQGFMqgaAsclEALw\\_wcB](https://registrar.direcaoconsultoria.com.br/registro-de-marcas-e-patentes?gclid=Cj0KCQjwr-SSBhC9ARIsANhzu140kuz4IYM3pB_JLJvRKNWcbnXQ9IAH-Ra1YvWbl9CDIsDuOQGFMqgaAsclEALw_wcB). Acesso em: 03 mar. 2021.

JACKSON, D. S. G. **Veículo autônomo, veículo agrícola autônomo e sistema de veículo**. Depositante: Dwayne St. George Jackson. BR n. BR 102017012258-1 A2. Depósito: 08 jun. 2017. Concessão: 19 dez. 2017. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1420673&SearchParameter=VE%20CDCULO%20AUT%D4NOMO%20AGR%20COLA%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 02 fev. 2021

KISE M, et al. **Enhancement of turning accuracy by path planning for robot tractor**. In: Proceedings of the ASAE conference in automation technology for off-road equipment, Chicago, Illinois, USA; July 26–27, 2002. p. 398–404.

KOHNO, Y. et. al. **Development of a mobile grading machine for citrus fruit**. Eng. Agric. Environ. Food 4, 7–11. 2011

LEE KH, et al. **Forward movement synchronization of two vehicles in parallel using a laser scanner**. Appl Eng Agric 2007;23(6):827–34.

LEIF, J. **Implementing DFM in nordic industry**. 1997. Capítulo 4: The Product Planning Process: The Swedish Institute of Production Engineering Research (IVF)”. Disponível em URL: <http://www.sintef.no/units/matek/projects/dfm/4kap.htm>. Acesso em: 08 jul. 2021.

LUO X, ZHANG Z. **DGPS navigation control system for rice transplanter**. In: ASABE annual international meeting, Minnesota; 17–20 June, 2007

MARTINESCO, A. **Veículos autônomos: uma visão complementar associada a tecnologia, direito e políticas públicas**. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3571836>. Acesso em: 8 ago. 2020.

MASNELLO O. D., MOLIN J. P. **Tipos de piloto automático para máquinas agrícolas**. 2021 Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/tipos-de-pilotos-automaticos-para-maquinas-agricolas>. Acesso em: 20 de jan. de 2021

MAZIERO, J. V. G. et al. **Efeito da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo**. Bragantia, Campinas, v. 56, n. 1, p. 191-197, 1997. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87051997000100020&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051997000100020&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 20 mar. 2021.

MENDES, L. G. **Semeadoras plantio direto: como encontrar a melhor para sua fazenda**. Lavoura, 2018. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/plantadeira-plantio-direto/>. Acesso em: 06 ago 2020.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2018. 266p

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas para plantio**. São Paulo: Millennium. 623p 2012.

MING, L. et al. Review of a research on agricultural vehicle autonomous guidance. **International Journal of Agricultural & Biological Engineering**, v. 2, n. 3, 2009.

MIZUSHIMA, A.; NOGUCHI, N.; ISHII, K. Monitoring system of peat areas using agricultural robot. In: Automation Technology for Off-Road Equipment Proceedings of the 2004 Conference. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004. p. 467.

MOUSAZADEH, H. **A technical review on navigation systems of agricultural autonomous offroad vehicles**. Journal of Terramechanics, p. 211-232, 2013.

NAGASAKA, Y. et al. **Development of AGBO, A Laser Scanner Guided Autonomous Crop Scouting Robot. The 2nd Field Robot Event**, p. 1-9. 2004.

NOGUCHI, A. R.; OKAMOTO, N. H.; ISHII, K. A review of autonomous agricultural vehicles (The experience of Hokkaido University). **Journal of Terramechanics**, v. 91, 2020, p. 155-183. ISSN 0022-4898. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2020.06.006>.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**. 6. ed. São Paulo - SP: Blucher, 2005.

PLANTADEIRA Quality. Grazmec, 2020. Disponível em: <https://www.grazmec.com.br/plantadeira-quality-9-linha>>. Acesso em: 22 de jun. De 2020.

PORTELLA, J. A. **Mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes em máquinas agrícolas**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997. 40p.

RAMOS, A. N. C. M. Obstacle detection using a 2D LIDAR system for an autonomous vehicle. 2016. 6th IEEE **International Conference on Control System**, Computing and Engineering (ICCSCE), Penang, Malaysia, 2016, p. 441-445, doi: 10.1109/ICCSCE.2016.7893614.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

RICHMOND, R. D.; CAIN, S. C. **Direct-Detection LADAR System**. Washington: SPIE, 2010.

ROSHANINFARD, A. et. al. **A 4-DOF SCARA Robotic Arm for Various Farm Applications: Designing, Kinematic Modelling, and Parameterization**. *Acta Technologica Agriculturae*. 24. 61-66. 10.2478/ata-2020-0010.

ROVIRA-MÁS, F. Recent innovations in off-road intelligent vehicles: Field automatic navigation. **Recent Patents on Mechanical Engineering**. v. 2, n. 3, p. 169-178, 2009.

STENTZ A, et al. **A system for semi-autonomous tractor operations**. *Auton Robots* 2002;13(1):87–104

SUBRAMANIAN, A.; BURKS, T. F.; AROYYO, A. A. **Development of Machine Vision and Laser Radar Based Autonomous Vehicle Guidance Systems for Citrus Grove Navigation**. *Computers and Electronics in Agriculture* 53, p. 130-143. 2006.

TAMAKI, K. et. et al. **A robot system for paddy field farming in japan**. *IFAC Proceedings*. v. 46, p. 143-147. 2013.

TOLEDO, A. **Semeadora, semeadeira ou plantadeira?** Entenda as diferenças entre os termos técnicos e as máquinas. *Mecaniza.org*, 2015. Disponível em: <https://mecaniza.org/semeadora-semeadeira-plantadeira-diferencas/>. Acesso em: 06 ago. 2020.

VAN HEMTEM, E.J. et. al. **Optimal manipulator design for a cucumber harvesting robot**. *Comput. Electron. Agri*. 65, 247–257 2009

VENZKE, C. S. **O EcoDesign no setor moveleiro do Rio Grande do Sul.** Revista eletrônica de administração. Edição especial 30, v.8, n. 6, 2002.

WEISE G, et. al. **An investigation of the turning behaviour of an autonomous rice transplanter.** J Agric Eng Res 2000;77(2):233–7

WIDYARTONO, R.; RAHMADIAN, M. Autonomous Robotic in Agriculture: A Review., 2020 **Third International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)**, Surabaya, Indonesia, 2020, p. 1-6, doi: 10.1109/ICVEE50212.2020.9243253.

WILLRODT FL. **Steering attachment for tractors.** U.S. Patent No. 1506706; 1924.

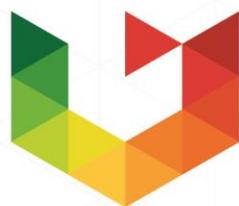
WILSON, J. N. **Guidance of agricultural vehicles a historical perspective, Computers and Electronics in Agriculture**, v. 25, Issues 1 2, p. 3-9, January 2000.

XIONG, Y. G. Y., GRIMSTAD, L. An autonomous strawberry-harvesting robot: Design, development, integration, and field evaluation. **Journal of Field Robotics**, p. 202-224. 2020. doi:10.1002/rob.21889.

XUE J, Zhang L, Grift TE. **Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot.** Comput Electron Agric 2012;84:85–91.

YOKODA M, et al. **3-D GIS map generation using a robot tractor with a laser scanner. In: ASAE annual international meeting.** Tampa, Florida; 17–20 Julio, 2005

ZION, B.et. al. **Harvestorder planning for a multiarm robotic harvester.** Comput. Electron. Agric. 103, 75–81. 2014



# UPF

UNIVERSIDADE  
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José  
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900  
(54) 3316 7000 - [www.upf.br](http://www.upf.br)